

Парадигма развития науки

Методологическое обеспечение

А. Е. Кононюк

**ОБОБЩЕННАЯ ТЕОРИЯ
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Книга 3

**Величины как количественные
характеристики свойств моделей**

Часть 2 (начало)

**Система физических величин,
понятий и обозначений**

Киев

«Освіта України»

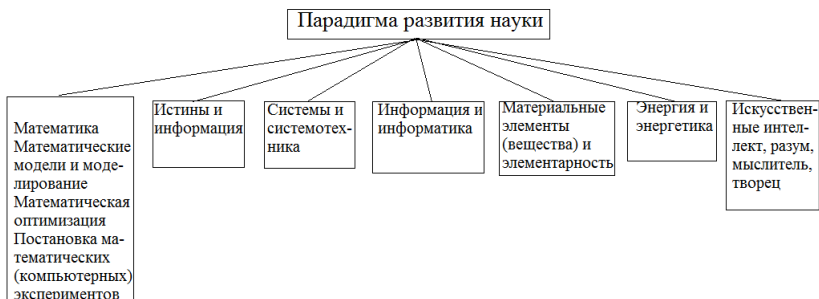
2018



Кононюк Анатолий Ефимович



Структурная схема парадигмы развития науки



УДК 51 (075.8)

ББК В161.я7

К 213

Рецензент: *Н.К.Печурин* - д-р техн. наук, проф. (Национальный авиационный университет).

Кононюк А. Е.

К65 Обобщенная теория моделирования. К.3. Ч. 2 (начало)

К.4: "Освіта України", 2018. - 522 с.

ISBN 978-966-7599-50-8

Настоящая работа является систематическим изложением обобщенной теории моделирования. Основное внимание уделяется идейным основам теории моделирования, их сравнительному анализу и примерам использования. Рассмотрен значительный круг задач моделирования — от общих задач моделирования до частных задач моделирования, а именно: моделирование объектов по выполняемым функциям, по составу, по структуре, по форме, по организации, по управлению. Обсуждается методика постановки и решения проблем моделирования. Рассматриваются средства математического описания объектов и процессов моделирования. Описываются системы автоматизированного моделирования.

Работа предназначена для магистров, аспирантов, докторантов, инженеров, экономистов, статистиков, вычислителей и всех тех, кто сталкивается с задачами моделирования, прежде всего, математического.

ББК В161.я7

УДК 51 (075.8)

ББК В161.я7

ISBN 978-966-7599-50-8 (многотомное издание) © Кононюк А. Е., 2018

ISBN 978-966-373-694-16 (книга 3, ч.2 (начало) © Освіта України, 2018

Оглавление

Предисловие.....	9
1. История систематизации физических величин.....	13
1.1. Краткая история унификации единиц измерения.....	13
1.2. “Принцип виртуальной работы” Ж.Лагранжа.....	17
1.3. Естественные системы единиц и постоянная Планка.....	18
1.4. О корректности термина “абсолютная система единиц“.....	23
2. Создание теории физических (динамических) аналогий.....	25
2.1. Краткая история создания теории физических аналогий.....	25
2.2. Электротепловые аналогии А.Эйнштейна и Л.Инфельда и электродинамические аналогии В.Фёрнера.....	30
2.3. Развитие теории физических аналогий.....	33
2.4. Переход от физических аналогий к систематизации физических величин.....	39
2.5. Система физических величин Р.О. ди Бартини.....	41
2.6. Взгляды последователей Р.О. ди Бартини на ЛТ-систему размерностей.....	50
3. История появления систем физических величин разных авторов.....	57
3.1. Значение теории А.Вейника для проблемы систематизации величин.....	57
3.2. Система физических величин Н.Плотникова.....	65
3.3. “Единая математическая формула законов природы” М.Вудынского.....	68
3.4. Система физических величин И.Когана.....	70
3.5. Система физических и экономических величин Д.Конторова.....	77
3.6. Развитие энергодинамики В.Эткиным.....	79
3.7. Система физических величин и закономерностей А.Чуева.....	84
3.8. Система физических величин Д.Ермолаева.....	94
3.9. Системы электромагнитных величин Г. Трунова.....	97
3.10. Введение Г.С.Голицыным энергии как основной величины.....	100
3.11. Системы физических величин - тенденции развития.....	103
3.12. Причины систематизации величин.....	111
4. Основы обобщения и систематизации физических величин и понятий.....	114
4.1. Основные обобщающие понятия.....	114
4.1.1. Что понимается под обобщением и систематизацией физических величин и понятий?.....	114
4.1.2. Системный подход и методы познания в физике.....	119

4.1.3. Физическая система и ее свойства.....	121
4.1.4. Что означает состояние физической системы?	125
4.1.5. Что такое физическая модель.....	128
4.1.6. Окружающая среда и контрольная поверхность системы с точки зрения физики.....	130
4.1.7. Что такое материя, движение, среда, вещество?	132
4.1.8. Структурные уровни физической материи.....	139
4.1.9. Взаимосвязь энергии и материи.....	151
4.1.10. Что такое координата состояния формы движения?.....	157
4.1.11. Перенос энергии в физической системе	160
4.1.12. Названия и обозначения энергоносителей при переносе энергии.....	168
4.1.13. Кпд физической системы.....	172
4.1.14. Потенциал системы и разность потенциалов между системой и средой	174
4.1.15. Процесс обмена энергией между физической системой и средой.....	181
4.1.16. Обобщенное уравнение состояния.....	185
4.1.17. Сколько значений у слова “сила“?.....	189
4.1.18. Что понимается под работой и мощностью?	194
4.1.19. Как понимать термин “момент“ в физике?	198
4.2. Физические величины, их классификация, размерности, единицы	201
4.2.1.Что такое физическая величина?.....	201
4.2.2. <u>Что такое основная физическая величина?</u>	207
4.2.3. Каким должен быть комплект естественных основных величин?	212
4.2.4. Обобщенная координата состояния как условно принятая основная величина.....	220
4.2.5. Понятие "движение" в физике.....	222
4.2.6. Что такое единица физической величины?	225
4.2.7. Что такое размерность физической величины?	228
4.2.8. Энергия, а не масса, является естественной основной величиной.	232
4.2.9. Число структурных элементов (количество считаемых величин) –основная физическая величина.....	236
4.2.10. Производные физические величины и их классификация.....	248
4.2.11. Условные основные величины.....	253
4.2.12. Что такое система физических величин?	258
4.2.13. Сравнение систем физических величин и систем единиц.....	262
4.2.14. Реальные и абстрактные физические величины	269
4.2.15. Размерность и единица числа пи в физике.....	272

4.2.16. Физика и метрология аргументов тригонометрических функций.....	277
4.3. Физическое содержание векторных величин.....	279
4.3.1. В чем особенности применения векторных величин в физике?.....	279
4.3.2. Существует ли поток вектора?	284
4.3.3. Поворот вектора и производная вектора по модулю.....	288
4.3.4. Есть ли источник у физического поля?	292
4.3.5. Векторные величины в уравнении непрерывности.....	293
4.4. Виды энергии и законы сохранения.....	297
4.4.1. Энергия в физике – скалярная или векторная величина?	297
4.4.2. Классификация определений энергии в термодинамике	303
4.4.3. Формы энергии и виды энергии и энергообмена.....	308
4.4.4. Закон сохранения энергии.....	319
4.4.5. Определяющие уравнения разных видов энергии.....	323
4.4.6. Физические аналогии – законы природы	327
4.4.7. Физическое содержание физической величины “действие”.....	333
4.4.8. Обобщенное уравнение для расчета мощности.....	338
4.4.9. Систематизация законов сохранения.....	340
4.5. Физические поля.....	345
4.5.1. Физические поля (поля взаимодействия и поля переноса).....	345
4.5.2. Определение и содержание понятия "заряд"	351
4.5.3. Структура элементарного электрического заряда.....	355
4.5.4. Терминология зарядов физического поля.....	360
4.5.5. Закон сохранения заряда физической системы	365
4.5.6. Диполи – системы из двух зарядов.....	367
4.5.7. Классификация форм описания физического поля.....	372
4.5.8. Энергия центрального поля взаимодействия.....	378
4.5.9. Что такое энергия вихревого физического поля?	387
4.5.10. Потенциал физического поля.....	393
4.5.11. Что такое напряженность физического поля?	399
4.5.12. Силы взаимодействия заряженных систем в разных формах поля.....	407
4.5.13. Единица заряда физического поля.....	412
5. Условия успешной систематизации физических величин.....	415
5.1. Принцип причинности.....	417
5.2. Условие аналогий и обобщенная физическая система.....	419
5.3. Примеры бессистемного применения понятий и терминов в физике и технике.....	424

5.4. Условие отсутствия абстракций в физике при систематизации величин	430
5.5. Условие применения приращений величины.....	436
5.6. Перемещение энергоносителей – векторная физическая величина.....	439
5.7. Условие показателей размерности.....	444
6. Классификация физических систем и уравнения динамики.....	446
6.1. Классификация термодинамических систем.....	446
6.2. Классификации физических систем.....	448
6.3. Классификация физических систем на реальных примерах.....	454
6.4. Анализ применения понятия “динамика” в физике.....	461
6.5. Обобщенное уравнение динамики системы.....	464
6.6. Анализ переходного процесса в физической системе.....	469
6.7. Виды движения и формы движения в механике.....	474
6.8. Переходный процесс при изменении состояния системы.....	485
6.9. Процесс переноса энергоносителей через физическую систему.....	491
6.10. Переходный процесс в обобщенной физической системе.....	497
6.11. Обобщенное уравнение переноса энергоносителей через систему.....	500
7. Таблицы физических величин.....	502
7.1. Иерархия уровней систематизации физических величин.....	503
7.2. Основное содержание системы физических величин ЭСВП.....	507
7.3. Конструкция таблиц физических величин и пояснения к ним.....	512
7.4. Принципы систематизации обозначений полевых величин.....	514
7.5. Описание таблиц величин физического поля.....	517

Предисловие

Практика задает теоретикам-физикам все более сложные вопросы, на которые никак не находятся простые ответы. И тогда физики решили привлечь себе на помощь достижения математики. Вообще-то физики всегда призывали математику на помощь, но относились к этому по-разному. Одни не забывали сверять выводы математики с физическим содержанием, другие оставляли это занятие на потом, точнее говоря, потомкам.

А в математике все логично, если $a = b$, то $b = a$. **Мир в математике симметричен.** Но вот в физике это не так, потому что есть такой закон – **причина всегда предшествует следствию**. То есть, **если a является следствием b , то b никогда не станет следствием a .** И еще есть в жизни мудрая пословица: не верь глазам своим. Верили же в древности, что Солнце вращается вокруг Земли, а оказалось совсем наоборот.

Так вот те, кто ставит телегу впереди лошади, сиречь, **математику впереди физики** они честно верят в свою правоту. Им даже удается нередко приходиться к выводам, из которых практики извлекают колоссальную пользу для техники. Практиков же меньше всего беспокоит, каким путем приходят теоретики к этим выводам. А теоретиков удачные находки убеждают в том, что они на верном пути. **И они не всегда задумываются над тем, что к любым выводам можно придти на основании разных предположений, и даже более верных, чем те, которые существуют.**

Постепенно теоретики стали элитой физики, стали членами всех Академий, преподавателями всех университетов, под их диктовку стали писаться учебники, в том числе, школьные. И подрастающей молодежи ничего не остается, как не сомневаться и верить, чтобы их не считали ничего не понимающими дураками и выдали бы им аттестаты зрелости и дипломы. Да и самим теоретикам всё это выгодно, ведь разумные властители государств на науку и образование денег не жалеют, хотя в самой науке мало что понимают.

Иногда, правда, встречаются "наивные" люди или просто сомневающиеся. Они даже упорствуют в своей наивности до такой степени, что отправляют статьи в научные журналы. Но там в редакциях сидят те самые теоретики, которые не то, что подобные мысли на порог не пускают, но даже стараются подчас не замечать результаты экспериментов, которые не укладываются в общепризнанные теории. А слишком настырным сомневающимся приклеивают ярлык лжеученых, потому что называть их дураками оснований все же не хватает. Между прочим, делиться правительственными субсидиями с инакомыслящими тоже никому не

хочется.

И постепенно как-то незаметно оказалось, что мир за пределами Солнечной системы и за пределами того, что наблюдается даже в самых сильных микроскопах, не всегда хочет подчиняться всем нашим проверенным на Земле законам. И что все-таки не стоит всегда пытаться лезть в чужой монастырь со своим уставом. Таким вот образом, к концу XX века теоретическая физика оказалась в состоянии глубокого кризиса.

Впрочем, в жизни часто бывает, как в сказке. Появляется добрый волшебник или милая фея, и тыква превращается в карету, а Золушка – в принцессу. **Таким волшебником оказался в наше время Интернет.** Войти в него никому не запретишь, можно писать, что угодно, и читать, что угодно. Читатель сам выбирает, что ему интереснее и чему он больше верит. И теперь с помощью Интернета стал намечаться выход из тупика.

Одним из таких сомневающихся является И.Коган, автор излагаемой ниже работы в области физических величин. Именно И.Коган взялся за решение важнейшей задачи в области физики – **обобщить и систематизировать физические величины.** Когда И.Коган стал вникать вглубь проблемы, то он обнаружил, что **в современных учебниках по физике причинно-следственная связь нарушается довольно часто. И всё в угоду математике и во вред педагогике.**

И.Коган по опыту своей практической деятельности тесно соприкасался с метрологией, и та его приучила с почтением относиться к **понятиям и обозначениям.** Но, вникая в современную физику, он обнаружил, что **систематизировать физические величины очень трудно, если вообще возможно, без приведения понятий и символики в физику в какую-то систему.** И именно в этом вопросе он столкнулся с профессиональным сленгом, своеобразным жаргоном, используемым физиками и в физике. А при использовании любого жаргона, как известно, его обладателям наплевать на то, понимают ли их окружающие. Лишь бы они друг друга понимали.

Тем не менее, в результате кропотливой работы с понятиями и символами у И.Когана стало получаться что-то обнадеживающее. Если ему удавалось в каких-нибудь разделах физики успешно **систематизировать физические величины, понятия и обозначения,** то оказывалось, что эти разделы после систематизации становились логичнее, понятнее, а иногда и просто вернее. Ему давно хотелось высказаться об этом, да коллеги-физики над ним лишь подтрунивали: куда, мол, ты прешь со своим инженерным

рылом. Он и стеснялся, как те подданные андерсеновского королевства.

И тут подоспел Интернет. Стал И.Коган почитать работы таких же, как он, сомневающихся, но при этом весьма квалифицированных физиков, и увидел – **не все так мрачно, как кажется. Среди самих физиков тоже имеются сомневающиеся, и их даже очень немало.** Возникла даже такая оптимистическая мысль: **когда количество альтернативных работ перейдет в качество, физика сможет выйти из нынешнего кризиса.** Надо только не бояться сомневаться и не тратить попусту время на то, чтобы пробивать лбом стенку, выстроенную апологетами современной теоретической физики. Главной особенностью работы является то, что **И.Коган не собирается предлагать вниманию читателя новые научные принципы, гипотезы и постулаты.** Напротив, он старательно опирается на то, что уже имеется в физике и метрологии. Только смотрит он на это, как будто видит в первый раз, стремясь **увидеть во всем систему**, а не беспорядочный набор знаний, подчас не очень-то старательно увязанных друг с другом. Единственный принцип, которого И.Коган придерживается неукоснительно, – это **принцип причинно-следственной связи (принцип причинности).** Но этот принцип не нов, он известен очень-очень давно.

И.Коган поставил себе целью, опираясь на многочисленные частные сведения о физических величинах, **прийти к чему-то общему, а точнее сказать, к обобщенному.** Он твердо уверовал в то, что природа для построения нашего многокрасочного Мира **пользуется очень небольшим набором приёмов.** Правда, **она их комбинирует в колоссальном количестве сочетаний,** почему Мир и предстает перед нашим взглядом таким **многокрасочным.** В историческом споре Н.Бора и А.Эйнштейна по поводу того, кто "празднует" в нашем Мире: **случай или порядок,** по-видимому, правы оба. При охлаждении материи беспорядочное движение самоорганизуется в такие формы упорядоченного движения, которые становятся стабильными образованиями. Но эти стабильные образования под влиянием привнесенного извне нагрева теряют свою стабильность, переходя в неупорядоченное движение. Так что вышеупомянутый спор чем-то напоминает дискуссию о том, что было раньше: курица или яйцо.

Но, независимо от этого спора, следует **обязательно выявлять те общие приемы природы, к которым она прибегает при переходе от неупорядоченного к упорядоченному движению.** Как мы полагаем, **обобщение и систематизация физических величин, понятий и символов и являются важной частью такого поиска.**

На пути своего поиска И.Коган постоянно **натывается на очевидные нарушения в физике принципа причинности.** Натывается он и на факты, когда принятые в физике и метрологии понятия и обозначения явно противоречат тому, для чего они предназначены, когда лексическое значение понятия, особенно в переводе на русский язык, оказывается тавтологией, а то и просто бессмыслицей. Не случайно ведь он назвал предмет своего научного поиска **не просто системой величин, а системой величин и понятий.** Можно было бы добавить – и **обозначений.**

Поясним, почему И.Коган назвал свою систему величин и понятий энергодинамической. Потому что она опирается на новое научное направление – **энергодинамику**, которая по определению В.Эткина (**энергодинамика** - синтез теорий переноса и преобразования энергии) является "**фундаментальной дисциплиной, изучающей общие закономерности реальных (протекающих с конечной скоростью) процессов переноса и преобразования любых форм энергии независимо от их принадлежности к той или иной области знания**".

В то же время, несмотря на очевидное стремление И.Когана найти то, что должно быть общим, обобщающим, И.Коган является убежденным противником идеи о разумном конструировании нашего Мира, той идеи, которая, в конечном счете, приводит к идее о существовании Бога. Вера в Бога – это всего лишь вера. А любая слепая вера, не требующая доказательств, убивает стремление к познанию непознанного, считая всё вокруг творением высшего существа. **Для ученого верить в Бога – значит проявлять малодушие.**

Конечно, вера в Бога для человеческого общества полезна в психологическом плане, полезна для душевного здоровья людей. Она устанавливает нормы нравственности и морали общества, если только не превращается в фанатизм и радикализм. **Но к процессу познания природы вера в Бога отношения не имеет**, как бы ни старались богословы и некоторые представители науки обосновать существование Бога теми или иными успехами науки.

1. История систематизации физических величин

(Аналитический обзор работ по проблеме)

1.1. Краткая история унификации единиц измерения

ПРИМЕЧАНИЕ: Для получения краткой справки по поводу недостаточно ясных, редко применяемых или введенных автором сайта терминов пройдите по ссылке Предметный указатель ([от А до О](#) и [от П до Я](#)), а по поводу примененных обозначений – по ссылке Символьный указатель ([латинские буквы](#) и [греческие буквы](#)).

1. Первоначальная унификация единиц измерения.

Унификация мер и единиц измерения началась еще в глубокой древности, когда физика, по сути дела, наукой еще не была. Понятие о физической величине еще отсутствовало, так что систематизировать еще было нечего, а необходимость унификации единиц измерений была продиктована практическими требованиями развивающейся международной торговли. Естественно, что теми физическими величинами, единицы измерений которых нуждались в унификации в первую очередь, были длина, объём, время, угол и вес. Подробный и интересный обзор этого длительного процесса унификации единиц в историческом разрезе дан в монографии А.Власова и Б.Мурина (1990).

Процесс унификации единиц постепенно распространялся и на единицы таких производных физических величин, как площадь, скорость, давление, момент силы. По мере становления крупных государств в них вводились измерительные эталоны длины, времени и веса, а развитие международной торговли требовало сверки этих эталонов между собой. Того же требовало и быстрое развитие науки и техники. Стала рождаться новая наука **метрология** – **наука об измерениях**. Все это привело к тому, что в конце XVIII века во Франции была предложены в виде закона и зафиксированы первые единицы измерений самых важных физических величин, которыми были длина, вес и время.

Единица времени секунда (с) существовала с древних времен, с

момента изобретения часов, а в 1789 г. были утверждены единицы длины и веса, которые сейчас кажутся нам существовавшими всегда. Это были метр (м) и грамм (г). Эти три единицы определили с той точностью, которую позволяла техника того времени.

2. Создание систем единиц измерения.

В 1832 г. К.Гаусс сформулировал научные основы построения системы единиц, поделив физические величины на основные и производные, и предложил в качестве основных физических величин длину, массу и время. В связи с тем, что в XVII веке И.Ньютон ввел понятия об инертной и гравитационной массах и провозгласил принцип эквивалентности этих масс, за измерительный эталон массы приняли гравитационную массу измерительного эталона веса, считая инертную массу равной гравитационной. С тех пор новые открытия в физике неперестанно обновляли метрологию и системы единиц и уточняли измерительные эталоны. В наше время в связи с увеличением требований к точности измерений решено определять основные единицы не по природным эталонам, а по **фундаментальным физическим константам**, чем рассказано в разделе о переопределении единиц.

После К.Гаусса в других системах единиц менялись значения основных единиц длины и массы, в первой системе единиц были миллиметр (мм) и миллиграмм (мг), лет через 30 их сменили сантиметр (см) и грамм (г), а в начале XX века – метр (м) и килограмм (кг). Несмотря на это, сами длина и масса оставались в качестве основных величин. Не исключено, что секунду сменила бы декасекунда, если бы такая единица была бы введена вместо минуты, или килосекунда вместо часа, но сказалась инерция веков, с древности привыкли измерять время не в десятичном счислении. Со временем системы единиц стали называть по первым буквам основных единиц, например, СГС – это сантиметр-грамм-секунда, МКС – это метр-килограмм-секунда. И только в XX веке в связи с появлением дополнительных основных единиц появилась систему единиц назвали СИ (от английского SI - System International, по русски Международная Система).

Поскольку значения основных единиц менялись, в XIX веке было решено каждой основной физической величине присвоить размерность, на зависящую от единицы измерений. Эти размерности

стали обозначать символами (например, М - масса, L - длина, Т - время (от английских слов mass, length, time). Соответственно, первые системы единиц были MLТ-системами. За различными вариантами MLТ-систем на целый век закрепилось название "абсолютных систем единиц". По мере увеличения числа основных единиц слово "абсолютные" в XX веке в применении к системам единиц перестало применяться. Появились также естественные системы единиц с другими значениями основных единиц. Попытка заменить в середине XX века единицу массы единицей силы (с единицей измерений килограмм-сила) успеха не имела. **Набирает вес идея считать основной величиной энергию, а массу перевести в разряд производных величин.** Но пока эта идея не осуществляется.

3. Развитие электромагнетизма потребовало новую единицу измерения.

Гораздо сложнее обстояло дело (да и сейчас тоже обстоит) с **единицами измерений электрических и магнитных величин.** Интересен обзор процесса унификации единиц электрических и магнитных величин в монографии Г. Трунова (2006). Многочисленные изменения единиц измерений этих величин отражали изменение объёма знаний ученых об электромагнетизме. Только через массу, длину и время выражать их единицы было трудно, а понятия о физических величинах первого порядка и второго порядка еще не существовало. Поэтому ученых и инженеров очень смущали появившиеся дробные степени в показателях основных единиц. В значительной мере этим и вызвано было появление разных систем единиц электрических и магнитных величин (более десятка).

Наконец, в XX веке было решено ввести **в систему единиц в качестве условной основной величины электрическую величину первого порядка.** Для ее единицы выбрали единицу электрического тока ампер А (символ размерности I), потому что создать измерительный эталон этой единицы оказалось легче и дешевле, чем для единиц других электрических величин. Новую систему единиц, названную СИ, дополнили еще 3-мя единицами условных основных величин: **единицей термодинамической температуры кельвин К, единицей силы света кандела кд и единицей количества вещества моль.** Метрологов это решение удовлетворило, а физики не совсем этим довольны, и причины для этого имеются

4. Параллельно с системами единиц появились системы физических величин.

Система единиц измерения СИ внедрена настолько успешно, что о необходимости обобщения и систематизации самих физических величин до последнего времени вообще не вспоминали, считая, видимо, проблему решенной. Понимая, что комплект основных единиц должен быть следствием комплекта основных величин, метрологи создали международную систему величин ISQ (International System of Quantities), комплект основных величин в точности стал соответствовать комплекту основных единиц, так что стало непонятно, зачем понадобилась ISQ. Дело дошло до того, что даже в современных поисковых системах при поиске по ключевым словам “система физических величин” выдаются источники со словосочетанием “система единиц измерения”. В статье, посвященной различию между системами величин и системами единиц, показано, в чем состоят их главные различия. И эти различия существенны.

Кроме того, как пишет Г. Трунов (2006), *“по мере накопления новых научных знаний и фактов могут быть уточнены фундаментальные законы и пересмотрены исходные уравнения, что может привести к необходимости изменения системы единиц”*. И физики XX века стали задумываться над тем, чтобы не оказаться заложниками этого неизбежного процесса, чтобы не зависеть от практической целесообразности метрологов. Они стали создавать такие системы физических величин, которые бы не зависели от систем единиц.

В работе И. Когана (2007) доказано, что системы физических величин и системы их единиц – независимые друг от друга понятия. Как будет показано в данном разделе, ученые все чаще начинают понимать, что удачное решение по унификации систем единиц не заменяет необходимости поиска решения проблемы систематизации физических величин. Это сравнительно новая проблема, и она не связана напрямую причинно-следственной цепочкой с унификацией единиц. Решение этой проблемы развивается своим путем, и об истории этого развития говорится далее в статьях данного раздела.

Литература

1. Власов А.Д., Мурин Б.П., 1990, Единицы физических величин в науке и технике. – М., Энергоатомиздат, 176 с. 94.

2. Коган И.Ш., 2007, Системы физических величин и системы их единиц – независимые друг от друга понятия. - <http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/8792.html>
3. Трунов Г.М., 2006, Уравнения электромагнетизма и системы единиц электрических и магнитных величин. – Пермь, ПГТУ, 130 с.

1.2. “Принцип виртуальной работы” Ж.Лагранжа.

Первые попытки систематизации физических величин восходят еще к XVII веку, когда голландским физиком С.Стевином был установлен **принцип возможных перемещений**, а великий Г.Галилей на основе этого принципа дал формулировку “золотого правила” механики. Дальнейшее развитие науки привело к появлению **принципа виртуальной работы**, который, по-видимому, явился **первым принципом обобщения физических величин**. Он позволил обобщить физические величины в разных механических формах движения. Со временем это указало на принципиальную возможность обобщения и систематизации физических величин и в других формах движения.

Впервые принцип виртуальной работы был сформулирован без доказательства швейцарским механиком Д.Бернулли в начале XVIII века, а затем был четко изложен и доказан в 1788 г. французским физиком Ж.Лагранжем. Приводим уравнение Ж.Лагранжа:

$$\sum_k \delta A_{ka} = \sum_k (F_{ka} \delta s_k) = 0, \quad (1)$$

где δA_{ka} – виртуальная элементарная работа активной силы F_{ka} , действующей на i -ую материальную точку на виртуальном перемещении δs_k . Форма записи этого уравнения взята из монографии С.Тарга (1995). Уравнение (1) является, по-видимому, первой обобщенной записью закона сохранения энергии в механике.

Доказательства Ж.Лагранжа базировались на механических формах движения, соответственно звучали и введенные им понятия: “обобщенная сила” для обозначения F_{ka} , “обобщенная координата состояния” для обозначения δs_k и “обобщенная работа” для обозначения δA_{ka} . Русский физик М.Остроградский распространил в 1838-1842 г.г. уравнение Ж.Лагранжа на немеханические формы движения.

Гениальное предвидение Г.Галилея, Д.Бернулли и Ж.Лагранжа давно могло бы послужить основой для обобщения и систематизации физических величин. Но этому помешало то, что так называемый “здоровый смысл” рассматривал только одну причинно-следственную цепочку “сила – работа“, в которой причиной является сила. Прояснение физического содержания понятия “сила“ продолжает вызывать споры до сих пор. **Действительно, работа над физической системой зависит от прилагаемой силы. Но от чего зависит сама сила?** Это стало становиться ясным лишь в XX веке.

В XIX веке при создании теории автоматического регулирования был введен **принцип малых отклонений** координат состояния, позволивший распространить принцип виртуальной работы на любые формы движения независимо от того, линейны ли их характеристики или нелинейны. Это, в свою очередь, позволило линеаризовать дифференциальное уравнение динамики и решить с его помощью и с использованием теории комплексного переменного многие практические задачи, возникшие при автоматизации производственных процессов. А принцип виртуальной работы имеет и сейчас практическое применение при решении ряда задач в механике. Да и сама идея Г.Галилея, Д.Бернулли и Ж.Лагранжа 250 лет спустя после своего провозглашения стала одной из основ решения проблемы обобщения и систематизации физических величин.

1.3. Естественные системы единиц и постоянная Планка

ПРИМЕЧАНИЕ: Для получения краткой справки по поводу недостаточно ясных, редко применяемых или введенных автором сайта терминов пройдитесь по ссылке Предметный указатель (от А до О и от П до Я), а по поводу примененных обозначений – по ссылке Символьный указатель (латинские буквы и греческие буквы).

1. Главная идея естественных систем единиц.

Идеи создания систем единиц, зависящих только от **фундаментальных физических констант (ФФК)** и не зависящих ни от каких измерительных эталонов, возникли еще в XIX веке. История их возникновения подробно описана в работе К.Томилина (2006), в которой указано, что существование ФФК "*открывает возможность перехода от произвольных мер к абсолютным мерам Природы, т.е. к мерам, имеющим абсолютную собственную точность*". Первым предложил две "универсальные системы единиц" в 1870 и 1873 г.г. английский физик Дж.Максвелл, а первую естественную систему единиц, основанную только на ФФК, предложил в 1874 г. ирландский физик Дж.Стони. **Система Стони базировалась на скорости света c , гравитационной постоянной G и элементарном электрическом заряде e .** В настоящее время "*развитие метрологии можно описать как переход от измерения фундаментальных постоянных к измерению фундаментальными постоянными*".

Наиболее популярной оказалась предложенная немецким физиком М.Планком в 1897 г. **естественная система единиц**, базировавшаяся на постоянной Планка h , электродинамической постоянной s , гравитационной постоянной G и постоянной Больцмана k . Постоянные h и k были введены М.Планком впервые. **Постоянная Планка h** представляет собой элементарный квант физической величины, которую впоследствии американский физик Р.Фейнман назвал "**действием**".

Кроме системы единиц М.Планка известны **система атомных единиц Хартри**, в которой основными являются единицы электрического заряда, массы и углового момента электрона, и **система релятивистских единиц**, где вместо единицы электрического заряда фигурирует единица скорости света.

2. Цель создания естественных систем единиц и естественных систем величин.

Цель создания естественных систем единиц предельно четко описана самим М.Планком (издание на русском языке 1975 г.). Эта цель заключается в том, чтобы **естественные единицы** "*сохраняли своё значение для всех времен и для всех культур, в том числе, и взятых, и нечеловеческих*". В настоящий период метрологическая общественность нацелена на переопределение основных единиц СИ на базе ФФК. Однако единицы ФФК привязаны к основным единицам

СИ, установленным на Земле, в том числе, и к условно принятым основным единицам.

Значение основных единиц в естественных системах единиц определяется косвенным путем. Для **планковских основных единиц (ФФК) нет и не может быть измерительных эталонов, так как сами ФФК должны служить измерительными эталонами.** Именно на это нацелена сейчас метрология, внедряющая переопределение основных единиц СИ с помощью ФФК. Однако единицы ФФК в настоящее время привязаны к СИ. А это уже не совсем совпадает с целью, провозглашенной М.Планком.

Поэтому идея опоры на явления природы, а не на измерительные эталоны, должна иметь в своей основе системы физических величин с размерностями основных величин, не привязанными к размерностям существующих основных единиц. Если размерности основных единиц в естественных системах единиц XX века совпадают с размерностями основных единиц в СИ, то размерности основных величин в естественных системах величин не обязаны совпадать с размерностями основных единиц СИ. Какие преимущества это дает, рассказано в разделе, посвященном различию между системами величин и системами единиц.

3. Планковские величины или планковские единицы.

Со временем постоянную Планка h в его системе единиц заменили так называемой **редуцированной постоянной Планка** или **постоянной Дирака** $\hbar = h/2\pi$. Тем самым в систему единиц М.Планка внесли еще одну 5-ую константу (2π). В разделе, посвященном числу 2π , показано, что введение числа 2π при введении в физику математических методов вынуждает присваивать этой геометрической константе размерность и единицу.

Из указанных пяти констант (или четырех, если \hbar заменить на h) были выведены так называемые **планковские единицы (планковские величины)**. Ниже приведены определяющие уравнения для планковских величин и значения этих величин в единицах системы СИ:

планковская масса $m_{pl} = (\hbar c/G)^{1/2} = 2,176 \cdot 10^{-8}$ кг,

планковская длина $l_{pl} = (\hbar G/c^3)^{1/2} = 1,616 \cdot 10^{-35}$ м,

планковское время $t_{pl} = (\hbar G/c^5)^{1/2} = 5,391 \cdot 10^{-44}$ с,

планковская энергия $E_{pl} = (\hbar c^5/G)^{1/2} = 1,956 \cdot 10^9$ Дж,

планковская температура $T_{pl} = (\hbar c^5/k^2G)^{1/2} = 1,417 \cdot 10^{32}$ К.

Для получения планковского заряда в систему единиц Планка ввели электрическую постоянную ε_0 , после чего уравнение связи для планковского заряда приобрело вид $q_{pl} = (4\pi\varepsilon_0 \hbar c)^{1/2} = 1,876 \cdot 10^{-18}$ Кл. Эти численные значения могут измениться при замене \hbar на h .

Как видим, планковские единицы далеки по своему значению от единиц системы СИ, то есть непрактичны для современной техники. Но они играют большую роль в теоретической физике.

4. В планковской системе единиц энергия заменяет массу как основная величина

Главной метрологической **особенностью системы единиц М.Планка в современном виде является то, что длина, время, масса, энергия, температура, электрический заряд являются в ней производными физическими величинами, а основными являются ФФК, единицы которых являются комбинациями единиц энергии, длины, времени, температуры.**

Важной особенностью системы М.Планка является то, что единицы ее констант при выражении их через единицы СИ включают в себя единицу энергии джоуль. Например, единицей постоянной Планка является Дж с, единицей постоянной Больцмана k является Дж К⁻¹, а единицей массы является 1 кг = 1 Дж м⁻² с². Это говорит о том, что в системе единиц М.Планка единица массы является производной по отношению к единице энергии. В квантовой механике массу элементарных частиц измеряют в электрон-вольтах (точнее в эВ/с², где с – электромагнитная постоянная), а электрон-вольт является единицей энергии.

Идея опоры на энергию, как основную физическую величину, была высказана в начале XX века французским физиком А. Пуанкаре: **"Поскольку мы не в состоянии дать общее определение энергии, закон сохранения энергии следует рассматривать просто как указание на то, что существует нечто, остающееся постоянным (в любом физическом процессе). К каким бы открытиям не привели нас будущие эксперименты, мы заранее знаем, что и тогда будет нечто, обладающее способностью сохраняться, и это нечто мы**

можем называть энергией."

Еще чаще эта идея стала появляться в научной литературе с середины XX века. Подробно это описывается в разделах, посвященных естественной системе величин и необходимости замены массы энергией в качестве основной физической величины.

5. Недостатки естественных систем единиц

Главная цель естественных систем единиц, продекларированная М.Планком, о сохранении значения основных единиц для всех времен и для всех культур не может быть осуществлена, пока единицы базовых ФФК этих систем базируются на основных единицах, принятых на Земле.

Например, в разделе, посвященном размерным коэффициентам, показано, что **гравитационная постоянная G является не физической константой, а размерным коэффициентом в законе всемирного тяготения Ньютона**. К тому же, истинным размерным коэффициентом является $\gamma_0 = 4\pi G$. Не случайно, видимо, в современной физике элементарных частиц в знаменатель планковской массы перед G введен коэффициент 8π . Размерным коэффициентом в законе Кулона является и электрическая постоянная ϵ_0 , входящая в выражение для планковского заряда.

Как в электромагнитном поле фундаментальной константой является электромагнитная постоянная c (скорость распространения электромагнитных волн в вакууме), так и в гравитационном поле фундаментальной константой должна, по-видимому, являться c_g (скорость распространения гравитационных волн в вакууме), численное значение которой пока определено весьма приблизительно. **Но именно фундаментальная константа c_g должна войти во все планковские единицы вместо G , как она вошла в "единую математическую формулу законов природы" М.Вудынского**. И тогда изменятся все определяющие уравнения для планковских величин и все их численные значения.

Далее. Постоянная Планка при расчете планковских величин заменена в современной физике редуцированной постоянной Планка $\hbar = h/2\pi$, получившей распространение вследствие широкого использования в физике математического метода векторных диаграмм. А это вынуждает

придавать размерность множителю 2π , как это пояснено в разделе, посвященном размерности числа π .

Важно добавить, что в разделе, посвященном числу структурных элементов (количеству считаемых величин), как новой основной физической величине со своей собственной размерностью, показано, что единица постоянной Планка h равна фактически Дж с квант⁻², а не Дж с.

Литература

1. Планк М. 1975, Избранные труды. – М.: Наука.
2. Томилин К.А., 2001, Планковские величины, <http://www.ihst.ru/personal/tomilin/papers/tom00phil.pdf>
3. Томилин К.А. 2006, Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах, – М.: Физматлит. 368 с.

1.4. О корректности термина “абсолютная система единиц“

ПРИМЕЧАНИЕ: Для получения краткой справки по поводу недостаточно ясных, редко применяемых или введенных автором сайта терминов пройдите по ссылке Предметный указатель (от А до О и от П до Я), а по поводу примененных обозначений – по ссылке Символьный указатель (латинские буквы и греческие буквы).

1. Термин “абсолютная система единиц“ не адекватен

Ко второй половине XX века метрологам стало ясно, что применение термина “абсолютная” по отношению к существующим системам единиц, в которые входят в качестве основных единиц единицы массы, длины и времени, не имеет достаточных оснований. **Если длина и время действительно являются общими и основополагающими физическими величинами для всех разделов физики, и в этом**

смысле они могут быть абсолютизированы, то это нельзя сказать о массе. Метрологи до сих пор не уточнили определения инертной и гравитационной масс и не уточнили, единица какой именно массы положена в основу унификации единиц измерений.

Во-вторых, как показано в разделе, посвященной инертной и гравитационной массам, понятие об инертной массе применяется лишь в механической прямолинейной форме движения, да и в ней оно является не адекватным. В атомной физике масса, например, измеряется в единицах энергии (в электрон-вольтах). Масса как физическая величина применяется не повсеместно, в релятивистской механике вместо массы применяют импульс. Более того, не стихает полемика относительно того, справедлив ли принцип эквивалентности инертной и гравитационной масс. Появляется все больше работ, приводящих доказательства надуманности или, по крайней мере, ограничению условий применения этого принципа.

Таким образом, для абсолютизации систем единиц, в которых основной единицей является единица массы, уже нет достаточных оснований. Отметим также, что термин “абсолютная” в применении к системам единиц измерений был долгое время связан преимущественно с системой единиц СГСМ.

Сейчас, в связи с созданием СИ, термин “абсолютная” выходит в метрологии из употребления. Приходит пора отказаться и от обязательного условия считать единицу массы единицей основной физической величины. Тем более, что существуют различные естественные системы единиц, в которых среди основных единиц нет единицы массы.

2. Другие применения термина “абсолютная система единиц”.

В работе В.Ерохина (2008) был применен термин “абсолютная система единиц”, но по отношению к ЛТ-системе величин, родоначальником которой является Р. ди Бартини. В ЛТ-системе величин действительно нет единицы массы. В.Ерохин, впрочем, входит в противоречие с самим собой, когда он пишет, что “размерность всех без исключения физических величин должна выражаться через L и T ”, и тут же оговаривается, что “мы не вправе искусственно назначить эти параметры на роль основных и единственных”.

В работах И.Когана (2003, 2007) показано, что системы физических величин и системы их единиц – понятия разные. Единица массы может продолжать оставаться основной единицей в СИ, но при систематизации физических величин массу можно вводить в качестве основной физической величины лишь условно. Приведена естественная система величин, в которой масса заменена энергией в качестве естественной основной физической величины.

Видимо, именно несоответствие между систематизацией физических величин и унификацией единиц измерений не дало возможности теории физических аналогий охватить обобщением и систематизацией как можно большее число физических величин. Правда, похоже, что такая задача в этой теории и не ставилась.

Литература

1. Ерохин В.В., 2008, Абсолютная система физических единиц. – <http://new-idea.kulichki.net/?mode=physics&pn=1>
2. Коган И.Ш., 2003, Пути решения проблемы систематизации физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7073.html>
3. Коган И.Ш., 2007, Системы физических величин и системы их единиц – независимые друг от друга понятия. – <http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/8792.html>
4. Коган И.Ш., 2011, Система величин на основе длины L и времени T : pro et contra. Законодательная и прикладная метрология, № 3, с.с. 50-57.

2. Создание теории физических (динамических) аналогий

В физике часто случалось, что существенный успех был достигнут проведением последовательной аналогии между несвязанными по виду явлениями.

А.Эйнштейн, Л.Инфельд

2.1. Краткая история создания теории физических аналогий.

Впервые проблема обобщения и систематизации физических величин оказалась актуальной в 30-х годах XX века в связи с успехами прикладной акустики. **В излучателях и приемниках звука “на узком пяточке” сошлись проблемы механики, электротехники, аэродинамики, акустики и теории колебаний.** Они не могли быть успешно разрешены без создания обобщенной теории, исследующей колебания и волновое движение в различных средах и в различных устройствах и перенос энергии волнового движения из одного устройства в другое.

Быстрое развитие в этой связи получила **теория физических (динамических) аналогий (далее – ТФА)**, которая стремилась систематизировать именно физические величины, а не их единицы измерений. Пионерские работы по этой теме появились практически одновременно во Франции (М. Дарриус, 1929), в Германии (В. Ханле, 1932), в США (Ф. Файрстон, 1933) и в СССР (Г. Гамбурцев, 1935). По **ТФА** опубликовано очень большое количество статей и монографий. В разделе, посвященном одному из основных условий успешной систематизации физических величин, отмечено, что основы этому заложила **ТФА**.

Наибольшую известность приобрела монография американского акустика Г. Ольсона (1943, 1966), которая обобщила физические аналогии. В монографии Г. Ольсона особо следует отметить высокую степень наглядности таблиц и иллюстраций, не в последнюю очередь обеспечившую популярность его книгам. Таблица физических аналогий из этой монографии заслуживает того, чтобы ее показать

отдельно (см. Таблицу 1).

Таблица 1 Таблица динамических аналогий Г.Ольсона

Элементарные формы движения											
Электрическая			Механическая линейная			Механическая вращательная			Акустическая		
Величина	Размерность		Величина	Размерность		Величина	Размерность		Величина	Размерность	
Индуктивность	L	L	Масса	m	M	Момент инерции	I	$M L^2$	Акустич. инертность	M	$M L^4$
Электрический заряд	q	$M^{1/2} L^{1/2}$	Линейное перемещение	x	L	Угловое перемещение	φ	1	Объемное перемещение	X	L^3
Время	t	T	Время	t	T	Время	t	T	Время	t	T
Ток	i	$M^{1/2} L^{1/2} T^{-1}$	Линейная скорость	v	$L T^{-1}$	Угловая скорость	θ	T^{-1}	Объемный ток	U	$L^3 T^{-1}$
Электродвижущая сила	e	$M^{1/2} L^{3/2} T^{-2}$	Сила	f_M	$M L T^{-2}$	Вращающий момент	f_R	$M L^2 T^{-2}$	Звуковое давление	p	$M L^{-1} T^{-2}$
Электрич. сопротивление	r_e	$L T^{-1}$	Механич. сопротивление	r_M	$M T^{-1}$	Угловое сопротивление	r_R	$M L^2 T^{-1}$	Акустич. сопротивление	r_A	$M L^4 T^{-1}$
Электрич. ёмкость	C_e	$L^{-1} T^2$	Податливость	C_M	$M^{-1} T^2$	Угловая податливость	C_R	$M^{-1} L^{-2} T^2$	Акустич. ёмкость	C_A	$M^{-1} L^4 T^2$
Энергия	W_e	$M L^2 T^{-2}$	Энергия	W_M	$M L^2 T^{-2}$	Энергия	W_R	$M L^2 T^{-2}$	Энергия	W_A	$M L^2 T^{-2}$
Мощность	P_e	$M L^2 T^{-3}$	Мощность	P_M	$M L^2 T^{-3}$	Мощность	P_R	$M L^2 T^{-3}$	Мощность	P_A	$M L^2 T^{-3}$

В основе теории физических аналогий лежит уравнение динамики.

Прежде всего, обратим внимание на то, что в таблице Г.Ольсона отсутствуют единицы измерений, а присутствуют только размерности.

В основу **ТФА** положено уравнение динамики, отсюда и термин “**динамические аналогии**”. Уравнение динамики у Г.Ольсона выглядит так:

$$a_0 y + a_1 (dy/dt) + a_2 (d^2y/dt^2) = x, \quad (1)$$

где a_0 , a_1 и a_2 – внутренние параметры исследуемой системы;
 y – отклонение координаты состояния системы от ее значения при равновесном состоянии;
 x – отклонение внешнего воздействия на систему от его значения при равновесном состоянии системы.

При использовании принципа малых отклонений параметры a_0 , a_1 и a_2 считаются величинами постоянными, что линеаризует уравнение (1). Эти параметры имеют общепринятые названия и обозначения: a_0 называют жесткостью, обозначая буквой D , a_1 называют сопротивлением, обозначая буквой R , a_2 называют инертностью, обозначая буквой I . В электродинамике параметр a_0 записывают в

виде $1/C$, где C - ёмкость системы.

Размерностями основных физических величин у Г.Ольсона являются размерности массы, длины и времени, они соответствуют размерностям основных единиц существовавших в то время систем единиц СГСЕ и СГСМ.

Содержание таблицы динамических аналогий.

За основу таблицы Г.Ольсон взял электрическую форму движения и записал 9 наиболее часто применяемых в ней физических величин. В остальных трех формах движения (механической прямолинейной, механической вращательной и акустической) показаны аналоги вышеперечисленных электрических величин. Как можно заметить из таблицы, в последовательности расположения величин по строкам не видна какая-либо закономерность.

Г.Ольсон применял вместо термина “форма движения” термин “степень свободы системы”. Термин “форма движения” появился позже, его положил в основу своей “Общей теории” А.Вейник. При взгляде на таблицу Г.Ольсона бросается в глаза идентичность размерностей энергии и мощности во всех четырех формах движения. И это при том, что размерности всех остальных физических величин зависят от выбора формы движения. **Именно энергию положил впоследствии как основу для обобщения А.Вейник, а далее идею А.Вейника расширили дополнили В.Эткин и И.Коган.**

Г.Ольсону осталось сделать один шаг до использования, подобно Ж.Лагранжу, обобщенных физических величин, но этот шаг сделан не был. Возможно, потому что сам Г.Ольсон не считал аналогии какой-либо закономерностью. Он так и писал “*Аналогии могут быть полезны, когда необходимо сравнить неизученную систему с системой более изученной*”. Но сравнить – это еще не значит отождествить.

Продолжающееся развитие теории физических аналогий.

Интерес к **ТФА** не угасает, она по-прежнему остается популярным и распространенным инструментом для расчета и моделирования многих инженерных систем. Например, А.Эйнштейн и Л.Инфельд (1965) предложили электротепловые аналогии, а В.Фёрнер (1965) - электрогидравлические аналогии. В разделе о развитии теории

аналогий другими авторами описываются современные усовершенствования этой теории.

Со временем теория физических аналогий получила солидное теоретическое подтверждение в виде **теории электрических цепей (Г.Атабеков, 1969), теории механических цепей (И.Дружинский, 1977) и системотехники (В.Дружинин, Д.Конторов, 1985)**. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что **ТФА**, пользуясь обобщающей в масштабах всей физики методологией, вошла в жизнь сугубо утилитарно и продолжает жить, обслуживая конкретные запросы конкретных отраслей техники. За пределами этого она остается мало применяемой, хотя и обсуждаемой. Возможно, поэтому **ТФА** занимает пока скромное место в школьных и вузовских учебниках по физике. Так что нет ничего удивительного в том, что и преподаватели физики уделяют ей пропорциональное внимание, считая **ТФА** подчас не более чем “красивой игрушкой” для иллюстрации отдельных тем при изучении физики.

Это можно понять, **любая аналогия не может служить доказательством истины, пока под нее не подведено строгое теоретическое обоснование**. Однако в конце XX века в некоторых университетах развитых стран (например, в Нидерландах) **появились учебные специальности, посвященные применению электрической теории цепей для моделирования динамических систем в разных отраслях промышленности, чему посвящена работа Дж. ван Амеронгена и М.Костера (1997)**. Встречаются в литературе и ошибочные по содержанию физические аналогии. Например, в статье И.Львова (2003) аналогом массы, коэффициента a_2 при третьем слагаемом в уравнении динамики в механике, предлагается считать электрическую ёмкость, являющуюся величиной, обратной жёсткости, то есть коэффициенту a_0 при первом слагаемом в уравнении динамики в механике.

Литература

1. Атабеков Г.И., 1969, Основы теории цепей. – М.: Энергия.
2. Гамбурцев, Г.А., 1935, О составлении электромеханических аналогий. – Доклады АН СССР, т. 4, № 8/9, с. 303-306.
3. Дружинин В.В., Конторов Д.С., 1985, Системотехника.– М.: Радио и связь. 200 с.
4. Дружинский И.А., 1977, Механические цепи. – М.: Машиностроение.

5. Львов И.Г., 2003, Что такое энтропия? – <http://www.sciteclibrary.ru/pages/6653.html>
6. Эйнштейн А., Инфельд Л., 1965, Эволюция физики. М.:Наука.
7. Amerongen J. van, M.P. Koster, 1997, "Mechatronics at the University of Twente" in Proceedings American Control Conference (AAC), Albuquerque, New Mexico, U.S.A, pp 2972-2976
8. Darrieus, M., 1929, – Bull. Soc. Franc. Elec. v. 96, 794.
9. Firestone, F.A., 1933, – Journ. Acous. Soc. Amer., v. 4, No. 3, p. 249.
10. Förner V., 1965, Analogien zwischen Electrotechnik und Niederdruckpneumatik. – "Feingerätetechnik", 14, №1, p.24-30.
11. Hahnle, W., 1932, – Wissen. Veroff. Siemens-Konzern, v. 11, p. 1.
12. Olson H.F., 1943, Dynamical analogies. – New York, D. Van Nostrand Co. (Русский перевод: Ольсон Г., 1947, Динамические аналогии. –М.: ИЛ.)
13. Olson H.F., 1966, Solution of Engineering Problems by Dynamical Analogies. – New York, D. Van Nostrand Co.

2.2. Электротепловые аналогии А.Эйнштейна и Л.Инфельда и электрогидромеханические аналогии В.Фёрнера.

Имеются различные варианты распространения теории физических аналогий (ТФА) на тепловую, гидродинамическую и аэродинамическую формы движения.

Электротепловые аналогии

Развитие теории электромеханических аналогий в первой половине XX века и их успешное практическое применение привело физиков к попыткам включить в эти аналогии и тепловые величины. В этом смысле выделяются подробные рассуждения об электротепловых аналогиях А.Эйнштейна и Л.Инфельда (1965). Эти ученые провели **прямую аналогию между такими ключевыми электрическими и тепловыми понятиями, как электрический потенциал и температура, электрический заряд и количество теплоты, электрическая емкость и теплоемкость.** Вот как это выглядело в первоисточнике.

Электричество

Два изолированных проводника, имеющих вначале различные электрические потенциалы, очень скоро после того, как они приведены в соприкосновение, достигают одного и того же потенциала. Равные величины электрических зарядов производят различные изменения электрических потенциалов в двух телах, если электрические емкости тел различны.

Теплота

Два тела, имеющих вначале различную температуру, спустя некоторое время после того, как они приведены в соприкосновение, достигают одной и той же температуры. Равные количества теплоты производят различные изменения температуры в двух телах, если теплоемкости этих тел различны.

О практическом применении этих аналогий сведения не найдены. В хронологически первую систему физических величин Р. ди Бартини (1966) тепловые величины не включены. Более подробный анализ электротепловых аналогий появился лишь в начале XXI века в работах И.Львова (2004), Д.Ермолаева (2004) и И.Когана (2006). Их выводы привели к совершенно новому взгляду на теорию теплопередачи, на размерности и единицы тепловых величин, что описывается в разделе "Новый взгляд на тепловую форму движения".

Электрогидромеханические аналогии

Помогли физические аналогии и в гидроаэромеханике. В научных публикациях на эту тему в начале 60-х годов XX века сложилась непростая ситуация, связанная с многообразием единиц измерений.

Исторически в гидроаэромеханике сложились три разные сочетания единиц физических величин. **В гидродинамике это единицы перепада давлений, объема и объемного расхода, в практической гидравлике – единицы напора, веса и весового расхода, в аэродинамике – единицы удельной потенциальной энергии, массы и массового расхода.** Каждое из этих сочетаний единиц само по себе давало непротиворечивые результаты. Но во многих первоисточниках бытовало смешение этих трех сочетаний единиц, что приводило к появлению в формулах большого количества пересчетных

коэффициентов, затуманивавших физическую природу явлений. Эта путаница нередко приводила к несопоставимости результатов экспериментов и технических данных, приводимых в разных публикациях, и требовала сложного манипулирования размерными коэффициентами.

Электрогидромеханические аналогии, разработанные в монографии В.Фёрнера (1965), помогли преодолеть этот серьезный недостаток. Благодаря этому теория физических аналогий (ТФА) была распространена на гидродинамику несжимаемой жидкости и на аэродинамику при малых давлениях и малых скоростях, что способствовало быстрому развитию струйной техники (она же флюидика, пневмоника), пневмогидропривода и пневмоакустики.

Развитие **ТФА** в пневмоавтоматике привело к созданию пневматической аналоговой вычислительной техники. Однако последняя, несмотря на ее экономичность и пожаро- и взрывобезопасность, не смогла из-за своего низкого быстродействия выиграть конкуренцию с быстро развивающейся электрической аналоговой вычислительной техникой. Впрочем, и последняя, в свою очередь, уступила лидерство дискретной электронно-вычислительной технике.

Литература

1. Ермолаев Д.С., 2004, Обобщенные законы физики применительно к теплофизике. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7442.html>
2. Коган И.Ш., 2006, Терминология и единицы измерений тепловой формы движения <http://physicalsystems.narod.ru/index07.06.3.html>
3. Львов И.Г., 2004, Что такое тепловой заряд? – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7339.html>
4. Эйнштейн А., Инфельд Л., 1965, Эволюция физики. М.:Наука.
5. Förner V., 1965, Analogien zwischen Electrotechnik und Niederdruckpneumatik. – “Feingerätetechnik”, v. 14, No. 1, 24-30.

2.3. Развитие теории физических аналогий

ПРИМЕЧАНИЕ: Для получения краткой справки по поводу недостаточно ясных, редко применяемых или введенных автором сайта терминов пройдите по ссылке Предметный указатель (от А до О и от П до Я), а по поводу примененных обозначений – по ссылке Символьный указатель (латинские буквы и греческие буквы).

Использование физических аналогий для систематизации физических величин проявилось уже в известной монографии Г.Ольсона (1966).
Время от времени появляются новые работы, авторы которых стремятся расширить масштабы применения теории физических аналогий (ТФА) и решить с помощью этой теории проблему обобщения и систематизации физических величин. Остановимся на нескольких интересных работах.

Прообраз системы физических величин П.Бридфельда

П.Бридфельд (1984) на базе теории физических аналогий составил прообраз системы физических величин в виде небольшой таблицы аналогий между разделами физики и термодинамическим методом графов связи.

Раздел физики	Переменная состояния	Усилие	Поток
Механика - перемещающий			

потенциал	перемещение	сила	скорость
- вращающий потенциал	угловое перемещение	 вращающий момент	угловая скорость
- перемещающее движение	импульс	скорость	скорость изменения импульса
- ...			
Термодинамика	энтропия	температура	поток энтропии
Электричество	заряд	напряжение	ток
Магнетизм	поток	ток 	напряжение

В таблице П.Бриджфелда четко проявляется тенденция к обобщению различных разделов физики на базе различимости форм движения, которая была обоснована еще А.Вейником (1968) и с которой П.Бриджфельд не знаком. Направление исследования аналогичное, особенно это заметно в столбике "переменная состояния" (у А.Вейника она называется "координатой состояния").

Междисциплинарные аналогии К.Гольберта

В работе К.Гольберта (2003) приведена другая таблица, которую ее автор назвал таблицей "междисциплинарных аналогий". В эту таблицу он впервые в истории развития **ТФА** ввел колонку обобщенных величин и обобщенных закономерностей. В таблице К.Гольберта 8 строк отведено для обобщенных величин и 2 строки – для обобщенных закономерностей. По сравнению с таблицей Г.Ольсона (1966) в таблице К.Гольберта единицы СГСЕ заменены единицами СИ, нет колонки акустических величин, но имеется колонка гидравлических величин, а также добавлена колонка тепловых величин (см. также электротепловые и электрогидромеханические аналогии).

За основу междисциплинарных аналогий К.Гольберт взял теорию электрических цепей, в связи с чем в его таблице появились законы неразрывности Кирхгофа. Эти законы применены впоследствии

Д.Ермолаевым (2004) применительно к тепловой форме движения. Работы П.Бриджфелда и К.Гольберта сближают **ТФА** с работами авторов, развивающих энергодинамический подход при систематизации физических величин.

Существенное развитие физических аналогий П.Пирнатом

В 2005 г. появилось электронное учебное пособие П.Пирната, адресованное, по мнению его автора, тем, кто работает с физическими аналогиями, но взгляд П.Пирната на проблему шире. **Его работа оказалась не очередной новой электронной программой по работе с системами единиц измерений, какими изобилует Интернет, а серьезной научной публикацией с интересными новыми идеями.** По сути дела, **представлена система физических величин со всеми признаками не только их систематизации, но и обобщения.**

П.Пирнат ввел в свою программу 19 обобщенных физических величин и 8 форм движения. Его смущает лишь то, что тепловая форма движения обобщенным уравнениям не поддается. У П.Пирната резко увеличено **количество рассматриваемых (как он выражается – отобранных) физических величин.** Их у него **около сотни.** **Это явилось следствием того, что П.Пирнатом в уравнении динамики учтена (впервые в истории систематизации физических величин) производная величина третьего порядка по времени.**

Жаль, что идея обобщения физических величин не доведена П.Пирнатом до своего логического завершения. Он пишет, например: *“Обобщенные уравнения – это объективная истина лишь на уровне единиц. Некоторые обобщенные уравнения верны во всех системах, а некоторые – нет”.* В последовательности расположения физических величин у П.Пирната также не просматривается какая-либо последовательность, связанная с принципом причинности.

В рассуждениях о количестве основных физических величин П.Пирнат входит в противоречие с самим собой. В начале описания своей программы он перечисляет **6 основных физических величин: массу, длину, время, силу, энергию и мощность,** не замечая при этом, что мощность можно рассчитать по энергии и времени, а силу – по энергии (работе) и длине. И тогда количество основных физических величин сократилось бы до 4. Ни слова не сказано о размерностях физических величин, использованы только единицы СИ. П.Пирнат отходит от них лишь в отношении единиц угла, угловой скорости и углового

ускорения, заменяя единицу радиан просто числовой единицей 1. При этом он уподобляет угол *“величине без единицы измерений”*. Тогда как угол поворота должен быть основной величиной с основной единицей.

П.Пирнат указывает на некоторые издержки СИ. В частности, на то, что с^{-1} является и единицей угловой скорости, и единицей частоты, и единицей расхода одновременно, а также на то, что джоуль является и единицей энергии, и единицей теплоты, и единицей вращающего момента, и единицей константы упругости при кручении. Но, указав на издержки СИ, П.Пирнат не предлагает ввести в эту систему единиц какие-либо коррекции. Он считает, что *“для правильной интерпретации результатов и обобщенных формул требуется хорошее знание физики”*. И просто советует *“...знать, какая физическая система и какая величина являются основными”*. В настоящей работе эти недостатки устранены путем представления нового комплекта основных величин.

Работа П.Пирната рассчитана не на тех, кто только начинает изучать физику. Это мнение подтверждается обилием новых терминов (34% терминов введены заново) и непривычной символикой. К недостаткам работы П.Пирната можно отнести и то, что количество названий физических величин у П.Пирната на 40% превышает количество приведенных им физических величин, то есть, многие физические величины имеют по два, а то и по три названия. П.Пирнат впервые вводит новые обобщенные физические величины с необычным сочетанием названия и единицы измерений и с необычными названиями. Интересно, что у П.Пирната термодинамическая температура в четвертой степени становится самостоятельной физической величиной при рассмотрении теплового излучения.

Физические аналогии в трактовке В.Костышина

В понятиях, близких к энергодинамике, изложил теорию динамических аналогий В.Костышин (2000). У него поведение каждой формы движения *“характеризуется парой сопряженных фазовых переменных (ФП), которые имеют соответственно «силовой», типа потенциала (Ф_с), и «скоростной», типа потока (Ф_п), характер, произведение которых равно мощности N”*. В.Костышин приводит такое определяющее уравнение для мощности, используя введенные им обозначения:

$$N = \Phi_c \Phi_p, (1)$$

$$\text{где } \Phi_C = dA/d\xi \quad (2)$$

$$\text{и } \Phi_{II} = d\xi/dt. \quad (3)$$

В уравнениях (2) и (3) ξ – обобщенная координата формы движения. Уравнение (1) в физике и технике обычно выглядит так:

$$P = \mathbf{U} \mathbf{I}. \quad (4)$$

Это уравнение наиболее хорошо знакомо в механике в виде $P = \mathbf{F}\mathbf{v}$, где \mathbf{F} – сила, а \mathbf{v} – скорость тела, и в электротехнике в виде $P = UI$, где U – электрическое напряжение, а I – электрический ток. Однако первичным для определения мощности является уравнение

$$P = dW/dt, \quad (5)$$

где dW – приращение энергетического воздействия на систему, а dt – элементарный промежуток времени. Уравнение (5), определяемое по основным физическим величинам, первично. Недостатком уравнения (4) является то обстоятельство, что в теории физических аналогий бытует неверная тенденция, описанная ниже.

Неверная тенденция, встречающаяся при практическом применении физических аналогий

Эта тенденция сформулирована П.Пирнатом (2005) так: *“Существуют два возможных подхода к представлению аналогий между механической и электрической системами. Если аналогией потоку выбрана сила, то в механической цепи, например, момент инерции (масса) аналогичны емкости, (демпфирующий коэффициент)⁻¹ аналогичен сопротивлению и (упругость)⁻¹ аналогична индуктивности. Другой подход состоит в том, чтобы выбрать силу аналогией потенциалу. В этом случае момент инерции (масса) аналогичны индуктивности, (упругость)⁻¹ аналогична емкости, а демпфирующий коэффициент аналогичен сопротивлению“.*

Подобная неверная тенденция базируется на обобщенном уравнении для мощности (4) $P = UI$. Само по себе это уравнение верно. Но возможность двух подходов к представлению физических аналогий, указываемая в вышеприведенной цитате, является теоретически ошибочной. Она вытекает из теории электрических цепей, но в других разделах физики такая возможность имеется не всегда. Н.Хоган и

П.Бриджфелд (1999) приводят 6 аргументов в пользу того, что релевантной физической аналогией является аналогия «масса-индуктивность», вытекающая из аналогии «сила-напряжение», а не аналогия «масса-ёмкость», вытекающая из аналогии «сила-ток». Но ни один из этих 6 аргументов не сопровождается доказательством.

На базе уравнения (4) $P = UI$ это и не удастся доказать, потому что мощность следует определять по уравнению (5) $P = dW/dt$, то есть **первичной физической величиной является приращение энергии dW . Именно на этой базе построена теория А.Вейника и энергодинамическая система величин И.Когана.**

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, Изд. Рассвет, 207 с.
3. Костишин В.С., 2000, Застосування теорії розмірностей для встановлення точних фізичних аналогій. – Івано-Франківськ, Методи та прилади контролю якості. №6.- с. с. 69-72.
4. Breedveld, P.C., 1984, Physical Systems Theory in Terms of Bond Graphs. Ph.D. Thesis. Enschede, Twente University of Technology.
5. Hogan N., Breedveld, P.C., 1999, The physical basis of analogies in network models of physical system dynamics. - http://www.ce.utwente.nl/rtweb/publications/1999/pdf-files/010_R99.pdf
6. Holbert, K.E., 2003, Interdisciplinary Electrical Analogies. – http://www.eas.asu.edu/~holbert/images/math_integ.gif
7. Olson H.F., 1966, Solution of Engineering Problems by Dynamical Analogies. – New York, D. Van Nostrand Co.
8. Pirnat P., 2005, Physical Analogies. – <http://www.ticalc.org/cgi-bin/zipview?89/basic/science/physanal.zip;physanal.txt>

2.4. Переход от физических аналогий к систематизации физических величин

Переход от таблиц физических аналогий к системе физических величин

В разделе, посвященном развитию физических аналогий, показано, как различные авторы, посвятившие свои статьи теории физических аналогий, закономерно приходят к необходимости составления таблиц физических величин. В работах И.Когана эта тенденция привела к **созданию развитой теории систематизации физических величин**.

Первый опыт построения системы физических величин, базирующейся на физических аналогиях и отличающейся от любой системы единиц, появился в 1971 г. в диссертационной работе И.Когана, однако эта тема встретила прохладное отношение со стороны коллег-физиков, и дальнейшая работа по этой теме продолжалась в замедленном темпе. Первая система физических величин появилась в составе небольшой монографии в 1993 году. Представленная в ней Таблица аналогий была по своей сути Таблицей физических величин. В ней понятие "обобщенные физические величины", введенное еще Ж.Лагранжем, было объединено с величинами обобщенного уравнения динамики.

Фактически это был комплекс таблиц. Сначала предлагалась Таблица обобщенных физических величин, а затем, на базе этой таблицы в качестве клише были представлены таблицы физических величин разных форм движения. Всего в первоначальном варианте оказалось 10 отдельных таблиц, посвященных различным формам движения. **Впоследствии стало ясно, что систематизация физических величин – более широкое понятие, чем физические аналогии, и это было опубликовано в 1998 г.**

В дальнейшем стало ясно, что систематизация физических величин требует серьезной коррекции в отношении названий ряда величин. Поэтому в **2003 г. комплекс таблиц физических величин базе был назван Энергодинамической системой физических величин и понятий ЭСВП**.

Новый взгляд на сущность физических аналогий

Таблица обобщенных физических величин была построена на базе идеи из теории автоматического регулирования о рассмотрении любой

физической системы в качестве так называемого "черного ящика". На входе в "черный ящик" присутствует воздействие на систему (аналог обобщенной силы или обобщенной разности потенциалов), а на выходе из "черного ящика" существует отклонение системы (аналог приращения обобщенной координаты состояния). В качестве единицы отклонения было предложено ввести новую внесистемную единицу – долю, равную десятой доле от диапазона изменения рассматриваемой физической величины, полагая, что такая единица имеет не меньше прав на существование, чем такие внесистемные единицы СИ, как сотая доля (процент) или тысячная доля (промилле).

Одновременно еще в 1993 г. были составлены методические рекомендации по применению системы физических величин при изучении физики и техники в школе и вузе. Применять систематизацию физических величин в педагогике ставил целью еще Н.Плотников в 1978 г. Но разработка методических рекомендаций по применению систематизации физических величин в педагогике была сделана, по-видимому, впервые.

Изменения в комплекте основных физических величин

В качестве основной физической величины в статье 1998 г. было впервые предложено ввести обобщенную работу, которая получила свою размерность и символ размерности Е. Поскольку работа является физической величиной той же природы, что и энергия, то можно констатировать, что энергия впервые получила свою собственную размерность и символ размерности Е. В статье, посвященной энергии, как основной величине, показано, что в настоящее время имеется уже немало предложений подобного рода.

Было предложено считать угловое перемещение основной физической величиной. Впрочем, это предложение уже не раз публиковалось в литературе (например, в статье В.Эдера, 1982). Единица углового перемещения приняла участие в образовании единиц всех производных физических величин при вращательном движении (включая вращающий момент, момент импульса, момент инерции тела, угловую жесткость и угловое сопротивление). В СИ единица радиан пока участвует только в образовании единиц угловой скорости и углового ускорения.

В качестве координаты состояния колебательных процессов было

предложено ввести **число периодов** колебательного процесса. Для этой физической величины была предложена единица под названием **период** (пер). В современной физике термин "период" ассоциируется с физической величиной "период колебаний", измеряемой в секундах, то есть фактически отражает длительность периода, а не сам период колебаний, как структурный элемент периодического процесса. В настоящее время уже общепризнана необходимость включения в состав комплекта основных величин количества считаеваемых величин, частным вариантом которого является количество периодов колебаний и количество волн.

Литература

1. Коган И.Ш., 1993, Основы техники. Киров, КГПИ, 231 с.
2. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
3. Коган И.Ш., 2003, Пути решения проблемы систематизации физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7073.html>
4. Eder W.E., 1982, A viewpoint on the quantity “plane angle“. Metrologia, 18, p.p. 1–12

2.5. Система физических величин Р.О. ди Бартини

История появления ЛТ-системы величин Р. ди Бартини

В 1873 г. Дж. Максвелл в своем “Трактате об электричестве и магнетизме“ предложил две “универсальные системы единиц“, где он опирался на единицы длины, времени и массы. Там же была высказана со ссылкой на третий закон Кеплера идея о том, что массу можно измерять единицей m^3/c^2 . Но сама ЛТ-система величин была теоретически обоснована выдающимся авиаконструктором Робертом Орос ди Бартини (1965, 1966), в работах которого представлен оригинальный взгляд на проблему систематизации физических величин.

Р. ди Бартини провел эту систематизацию в сетке координат “длина-время” и назвал свою систему “кинематической системой размерностей LT”, исключив, таким образом, из перечня единиц основных физических величин единицу динамической величины, какой является масса. В целом с помощью LT-системы можно формально проводить те же самые операции, что и с помощью MLT-систем величин, к которым принадлежит СИ. Но при применении LT-системы поставлена в зависимость от пространства и времени не только масса, но и энергия, как количественная характеристика движения, то есть, по сути дела, вся динамика.

LT-система Р. ди Бартини вследствие красивой формы ее таблиц, внешней простоты и наглядности, возможности формальной систематизации физических закономерностей привлекает к себе внимание многочисленных исследователей. Некоторым из них (Г.Смирнову, В.Новицкому, В.Ерохину, В.Викунину, А.Чуеву) посвящены отдельные статьи или разделы статей в историческом обзоре данного раздела. Правда, А.Чуев (1999) показал, что систематизация физических закономерностей не зависит от того, какой системой размерностей пользоваться: LT или MLT.

Суть LT-системы размерностей Р. О. ди Бартини

Основываясь на теории множеств, Р. ди Бартини (1965, 1966) показал возможность существования “(3+3)-мерного комплексного образования, состоящего из произведения трехмерной пространствоподобной и ортогональной к ней трехмерной времяподобной протяженности”. Ключевыми для его теории являются следующие три фразы:

*“Уравнения физики принимают простой вид, если в качестве системы измерений принять кинематическую систему LT, единицами которой являются два аспекта радиуса инверсии областей пространства R_n : l – элемент пространствоподобной протяженности подпространства L и t – элемент времяподобной протяженности подпространства T . “
“Элементарный (3+3)-мерный образ A можно рассматривать как волну и как вращающийся осциллятор, попеременно являющийся стоком и источником... “
“Элементарный осциллятор является зарядом, создающим вокруг себя и внутри себя поле...”*

Время в системе Р. ди Бартини перестает быть скалярной величиной, оно не одинаково в “*продольном*” и “*поперечном*” направлениях. На основании трех приведенных предположений Р. ди Бартини построил таблицу физических величин в ортогональной сетке координат LT.

Творческое содружество Р.ди Бартини и П.Кузнецова (1974, 1978) привело их к такому методологическому вопросу: “...*превратится ли современная математическая физика в одну из разновидностей геометрии или развитие науки приведет к пониманию физики, как множества разных физик?*” И авторы приходят к выводу “...*физика завтрашнего дня будет вынуждена в большей мере считаться с методологическими принципами потенциального единства физического знания, симметрией процессов природы, самодвижения и ее уровневого строения, которое раскрывается через исторически ограниченную общественную практику*”.

Указанное предвидение единства физического знания и уровневого строения физики оправдывается современными исследованиями. Однако вопреки приведенному утверждению о “*потенциальном единстве физического знания*”, авторы включили в заголовок статьи понятие “*множественность физик*”. По мнению И. Когана, в статье речь идет скорее о многовариантности физических теорий, чем о множественности физик.

Основные новшества в статьях Р. О. ди Бартини

1. Проведен расчет фундаментальных физических постоянных.

Р. ди Бартини (1966) предпринял попытку систематизации физических констант. В его работе предложена единая формула для определения физических констант. Она состоит из четырех сомножителей, возведенных в различные целые степени (первые два сомножителя – это число 2 и величина π). Р. ди Бартини представил таблицу, содержащую 21 физическую константу (в современной физике их насчитывается гораздо больше). В своей таблице констант Р. ди Бартини сравнивает значения констант, вычисленные по его формуле, со значениями этих же констант в системе СГС. Совпадение численных значений наблюдается только в 4 случаях.

По этому поводу в весьма информативной монографии К.Томилина (2006, с.268) сказано, что “*в XX веке получило распространение “угадывание” формул для величин тех или иных безразмерных*

постоянных или формул, связывающих размерные постоянные, без их какого-либо обоснования“. И далее сказано, что авторы подобных теорий “представили таблицы физических постоянных, как безразмерных, так и размерных, как вычисленные ими в рамках их теорий. Такая форма представления является псевдонаучной, поскольку проблемы вычисления численных значений размерных постоянных в физике не существует, так как они зависят от выбора единиц измерения“. По этой причине теория расчета физических констант ди Бартини отнесена К.Томилиным к категории “наиболее известных спекулятивных теорий“.

2. Предложено считать размерности любого заряда одинаковыми.

Р. ди Бартини (1965) предложил революционную для своего времени идею: утверждение о том, что размерность статического заряда физического поля (и электрического, и гравитационного) одинакова и равна

$$\dim m = \dim e = L^3 T^{-2}. \quad (1)$$

В статье, посвященной размерности статического заряд поля и в статье В.Сотущенко (2010) показано, что эта идея оправдывается при систематизации физических величин. В энергодинамической системе величин размерности и единицы у электрического, и у гравитационного зарядов системы действительно одинаковы, но единицей является не $m^3 c^{-2}$, а $Dж^{1/2} m^{1/2}$. Подстановка такой единицы заряда системы в законы Ньютона и Кулона, в которых заряды перемножаются, приводит к исчезновению дробных степеней в показателях единиц. Но значения единиц этих зарядов в СИ (килограмм и кулон) разные. Из статей В.Уральцева (2009) и В.Викулина (2011) следует, что после пересчета этих единиц в ЛТ-системе получается равенство $1 \text{ кг} = 8,617 \cdot 10^{-11} \text{ Кл}$. Имеется и другая точка зрения, согласно которой 1 кулон должен быть равен $1 \text{ кг}/c$ (А.Чуев, 1999, В.Ащюковский, 2004, В.Пакулин, 2011).

Обратим внимание на то, что в уравнении (1) не разъясняется, о какой массе идет речь. То есть имеется в виду принцип эквивалентности масс, согласно которому гравитационная и инертная массы эквивалентны. В статье, посвященной принципу эквивалентности масс, показано, что справедливость этого принципа ограничена макромиром, подвергается сомнению необходимость выделения такой величины, как инертная масса. Указывается на то, что приравнивание силы инертного противодействия по второму закону Ньютона силе

взаимодействия двух гравитационных зарядов по закону всемирного тяготения применимо только при прямолинейном движении тела без его деформации и без трения. При нерелевантности принципа эквивалентности масс ни о какой ЛТ-системе просто нет смысла говорить.

3. Составлена схема ЛТ-системы величин .

Р. ди Бартини (1966) построил таблицу, в которой физические величины, имеющие в его системе размерности от L^{-3} до L^6 и от T^{-6} до T^3 , расположены в последовательности, связанной с показателями этих размерностей. При этом в формулах размерности не пропускаются символы размерностей с показателем степени, равным 0, как это делается в существующих системах единиц. Отметим в качестве положительного фактора, что ди Бартини впервые расположил физические величины, следуя определенной закономерности. Во всех системах единиц, включая СИ, такая закономерность отсутствует.

В дальнейшем в совместной работе с П.Г.Кузнецовым (1974, 1978) таблица Р. ди Бартини была усовершенствована и стала более наглядной. В таком виде она и приведена в таблице 2.

Таблица 2 СИСТЕМА ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН Р.ДИ БАРТИНИ

	L^{-3}	L^{-2}	L^{-1}	L^0	L^1	L^2	L^2	L^4	L^5	L^6
T^{-4}									Изменение мощности	Скорость передачи мощности
T^{-3}						Изменение давления	Поверхностная мощность	Скорость изменения силы	Мощность	Скорость передачи энергии
T^{-4}					Изменение плотности тока	Давление	Угловое ускорение системы	Сила	Момент силы. Энергия	Скорость передачи действия
T^{-3}				Изменение углового ускорения	Плотность потока	Напряженность ЭМ поля. Градиент	Ток. Массовый расход	Скорость смещения заряда. Импульс	Момент количества движения. Действие	Момент действия
T^{-2}			Изменение объемной плотности	Массовая плотность. Угловое ускорение	Ускорение	Разность потенциалов	Масса Кол.малейших Кол.электрич.	Магнитный момент	Момент инерции	
T^{-1}			Объемная плотность электрическая	Частота	Скорость	Обильность 2-мерная	Расход объемный	Скорость смещения объема		
T^0			Изменение проводимости	Безразмерные константы	Длина. Емкость. Самоиндукция	Поверхность	Объем пространственный			
T^1		Изменение магнитной проницаемости	Проводимость	Период	Длительность расстояния					
T^2		Магнитная проницаемость		Поверхность времени						
T^3				Объем времени						

Главная особенность этой таблицы состоит в том, что алгебраическая сумма показателей степеней при L и T не превышает числа 6, соответствующего $(3 + 3)$ -мерному пространству этих двух размерностей.

Рабочее пространство таблицы составляют 58 ячеек, это пространство обведено жирными пунктирными линиями. Р.ди Бартини подобрал под каждую размерность рабочего пространства физическую величину и поместил ее в соответствующую ячейку таблицы (в некоторых ячейках имеются две или три величины). Для 13 ячеек рабочего пространства Р.ди Бартини не были обнаружены физические величины с соответствующими этим ячейкам размерностями. В 12 ячеек рабочего пространства Р.ди Бартини поместил первые производные по времени от физических величин, расположенных одной строкой ниже, независимо от того, применяются ли эти производные в физике или не применяются. В 5 ячейках рабочего пространства таблицы расположены физические величины, физическое содержание которых не пояснено (это поверхность времени, объём времени, поверхностная мощность, обильность двухмерная, момент действия).

Таким образом, в рабочем пространстве таблицы Р.ди Бартини содержательными оказались лишь 28 ячеек из 58, то есть, только половина. Зато в эти 28 ячеек помещены 36 физических величин, так как в отдельных случаях одной и той же размерности соответствуют две или даже три физические величины разной природы. Например, размерности L^0T^{-2} соответствуют массовая плотность и угловое ускорение, размерности L^5T^{-4} – момент силы и энергия, размерности L^1T^0 – длина, ёмкость и самоиндукция. Количество магнетизма у Р.ди Бартини и П.Кузнецова (1974) идентифицируется с магнитным зарядом (магнитной массой). Заметим, что факт равенства размерностей у разных по природе физических величин имеет место и в существующих системах единиц. Хотя Р.ди Бартини не упоминает о единицах измерений, но размерности основных физических величин, подобранных им для своей таблицы, соответствуют размерностям этих величин в СГС.

4. Указана возможность систематизации физических закономерностей.

Как сам Р. ди Бартини, так и его последователи говорят о том, что геометризация расположения физических величин не только отражает закономерности природы, но и может предсказывать новые неизвестные ранее закономерности. Например, у А.Чуева (1999)

сказано: “*Направление поиска систематизации ФВ путем использования размерностных соотношений, объективно существующих между ними и проявляющихся в закономерных природных взаимосвязях, представляется автору наиболее перспективным*”.

И очень важно, что ди Бартини составил именно систему физических величин, а не систему единиц измерений.

Недостатки ЛТ-системы размерностей Р.ди Бартини

Нельзя не отметить, что **ЛТ-система размерностей обслуживает лишь одну – прямолинейную механическую форму движения, так как в ней присутствует размерность L координаты состояния этой формы движения.** Но предполагается, что координаты состояния всех прочих форм движения могут быть определены в зависимости от двух величин: длины и времени. Материя, количественной мерой которой является энергия, также обслуживается только этими двумя величинами. Это противоречит той точке зрения, что пространство и время являются сущностями вторичными по отношению к материи.

В таблице Р.ди Бартини не ощущается какая-либо иная последовательность расположения физических величин, кроме как их соответствие той или иной размерности в системе размерностей ЛТ. Таким образом, размерность физической величины превращается у ди Бартини в своего рода ключ к разгадке принципа обобщения физических величин. И это приводит к тому, что в одну и ту же ячейку помещаются физические величины разной природы. Однако **в метрологии размерность физической величины не определяет ее физическое содержание, последнее зависит только от уравнения, определяющего величину (от уравнения связи).**

Настораживает применение термина “кинематическая” к предложенной Р. ди Бартини системе величин. Как будто возможно рассматривать движение без учета причин, его вызывающих, и без учета последствий движения в виде деформации и диссипации. Чтобы кинематическая система превратилась в динамическую, явно не хватает, по крайней мере, еще одной основной динамической величины. В СГС и СИ в качестве динамической величины присутствует масса, а у А.Вейника и его последователей масса заменена энергией. Д.Конторов (1999) замечает: “*Неудобство системы ди Бартини состоит в том, что она, хотя и способна учитывать*

электрические и магнитные силы, но элиминирует (исключает - И.К.) их сущность - размерности всех сил взаимодействия одинаковы“.

По нашему мнению, анализ движения не может привести к всеобъемлющим результатам для любых форм движения, включая вращение и периодические процессы, без включения в набор основных величин таких физических величин, как угол поворота и число структурных элементов. Однако этот вопрос полностью обойден вниманием Р.ди Бартини, их в его таблице нет вообще, хотя в СИ для угла поворота единица имеется, а необходимость введения единицы для величины "количество объектов" уже признана метрологами.

И еще одно замечание. Р.ди Бартини и П.Кузнецов (1978) считали, что *“появляющиеся в формулах размерностей дробные показатели при использовании первичных величин LMT лишены всякого физического содержания и логического смысла“*. Неверность этого утверждения показана в книге А.Власова и Б.Мурина (1990, § 31) и детально аргументирована на странице, посвященной дробным показателям. **Дробность или целочисленность показателей степеней у размерностей или единиц зависит лишь от подбора основных величин в системе единиц**. Например, дробные показатели имеются во всем семействе систем СГС, единицы которой использованы в работах самого Р.ди Бартини. И вообще **физическое содержание относится к самой физической величине, а не к ее размерности или единице**. Это базовое положение игнорируется как Р.ди Бартини, так и его последователями.

Создается впечатление, что наличие немалого числа последователей Р. ди Бартини, развивающих его взгляд на проблему систематизации физических величин, связано с продолжающимся в истории физики периодом расцвета формализма в XX веке, связанным с преувеличением роли математики в объяснении природных явлений. Не в последнюю очередь играет роль внешняя красота и привлекательность формы у таблицы Р. ди Бартини. Однако, по нашему мнению, наступающее завершение периода расцвета формализма и наступающее начало расцвета периода рационализма, обязанное своим появлением также широкому распространению Интернета, оставит LT-системам величин только историческое значение.

Литература

1. Ацюковский В.А., 2004, Всеобщие физические инварианты и предложения по модернизации Международной системы единиц СИ. Сб. “Фундаментальные проблемы метрологии”, – М.: Изд. «Петит», 24 с.
2. ди Бартини, Роберт Орос, 1965, Некоторые соотношения между физическими константами. – Доклады АН СССР, т. 163, № 4.
3. ди Бартини, Роберт Орос, 1966, Соотношение между физическими величинами. Сб. “Проблемы теории гравитации и элементарных частиц”, вып. 1, М.:Атомиздат.
4. ди Бартини Р. О., Кузнецов П. Г., 1974, Множественность геометрий и множественность физик. – Брянск, Сб.: “Моделирование динамических систем”, с. 18-29.
5. ди Бартини Р. О., Кузнецов П. Г., 1978, О множественности геометрий и множественности физик. – Свердловск, Уральский научный центр АН СССР, Сб.: “Проблемы и особенности современной научной методологии”, с. 55-65, см. также <http://pobisk-memory.narod.ru>
6. Васильев В.Я., 2004, Периодическая система физики и биологическая картина мира. – Десногорск, Изд. ООО “Газета Авоська”, 140 с.
7. Викулин В., 2011, Система физических величин в размерности LT без подгоночных коэффициентов. http://nfp-team.narod.ru/LT5_norm1.pdf
8. Власов А.Д., Мурин Б.П., 1990, Единицы физических величин в науке и технике. – М.: Энергоатомиздат, 176 с.
9. Конторов Д.С., Михайлов Н.В., Саврасов Ю.С., 1999, Основы физической экономики. (Физические аналогии и модели в экономике.) – М.: Радио и связь, 184 с.
10. Пакулин В.Н., 2011, Развитие материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НПО “Стратегия будущего”, 121 с.
11. Сокотущенко В. Н., Структурно-энергетическая система размерностей «SE». Электронное научное издание «Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление», 2010, том 6, №3 (8), http://rupravlenie.ru/wp-content/uploads/2010/11/4_Sistema-razmernostei.pdf
12. Томилин К.А. 2006, Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах, – М.: Физматлит. 368 с.
13. Уральцев В.Б., 2009, Матрица – ключ к физике будущего. <http://allalternativeenergy.com/ru/matrica-klyuch-k-fizike-budushchego>
14. Чуев А.С., 1999, Физическая картина мира в размерности “длина-время”. Серия ”Информатизация России на пороге XXI века”. – М.,

СИНТЕГ, 96 с., также Естественная кинематическая система размерностей. <http://www.chuev.narod.ru/> .

2.6. Взгляды последователей Р.О. ди Бартини на ЛТ-систему размерностей

В 1999 г. в Интернете с интервалом в несколько месяцев появилось несколько статей ученых, которым пришлось по душе ЛТ-система величин Р.О. ди Бартини (1965). На данной странице мы проанализируем статьи Г.Смирнова и В.Новицкого, которым предшествовали одноименные публикации в журнале “Техника - молодежи“ за 1981 г. (Г.Смирнова) и за 1990 г. (В.Новицкого). Обе они явились откликом на работу Р.О ди Бартини и П.Кузнецова (1974). Несколько позже были опубликованы работы В.Васильева (2004) и В.Ерохина (2008), посвященные ЛТ-системе величин Р.О. ди Бартини. Ниже приводится анализ этих работ.

ЛТ-система размерностей Р.О. ди Бартини по мнению Г.Смирнова преобразит мир

Г.Смирнов (1999) начинает свою статью с философских размышлений о роли математики в прогрессе физики и о тех причинах, по которым применение математических методов в физике часто приводит к великолепным результатам. Он приходит к необычному выводу: *“Нетрудно понять, что именно в единицах измерений скрыта тайна необычайной эффективности математики в естественных науках, ибо эти единицы представляют собой, образно говоря, «гвозди», которыми математика «приколачивается» к физическим явлениям“*. Приведя в пример систему единиц СГС, Г. Смирнов заявляет, что **“совокупность основных и всех мыслимых производных единиц системы СГС представляет собой не что иное, как сверхкраткий курс механики, закодированный в размерностях. Возникает естественный вопрос: может ли дать ценные для науки результаты их математический анализ?“**

В приведенных цитатах скрывается главный неверный тезис, присутствующий в рассуждениях Г.Смирнова. Конечно, *“ценные для науки результаты“* может дать и дает анализ размерностей. Но **физическое содержание величин выясняется только в процессе анализа уравнений, определяющих эти величины. Нельзя**

фетишизировать размерности величин, так как анализ размерностей может указать на неверность определяющих уравнений, но не может доказать их правильность. Анализ размерностей является необходимым, но недостаточным средством для анализа физического содержания.

В статье Г.Смирнова не ставится под сомнение безразмерность угла поворота, он бесосновательно считает угловую скорость вращения тела частным случаем частоты колебаний, тогда как угловая скорость характеризует непрерывный процесс, а частота колебаний – периодический процесс. Оба процесса описываются различными определяющими уравнениями. Наконец, Г. Смирнов вводит понятие "временной длины", понимая под ней период колебаний. В разделе, посвященном метрологии периодических процессов, и в статье И.Когана (2011) показано, что размерность времени Т принадлежит длительности периода. Сам же период – это частный случай числа структурных элементов, которое, в свою очередь, является частным случаем количества считааемых величин, входящим в комплект основных величин.

Г.Смирнов заметил подводные камни в той "*стройной и логической системе*", какой является ЛТ-система величин. Во-первых, это наличие нескольких разных физических величин, имеющих одну и ту же размерность. Во-вторых, Г.Смирнова смущает отсутствие в ЛТ-системе таких "*фундаментальных физических величин, как масса, сила и энергия и др.*". И этим замечанием фактически перечеркивает легитимность ЛТ-системы Р. ди Бартини.

В завершение своей статьи Г.Смирнов отмечает, что целый ряд ячеек таблицы Р. ди Бартини и П.Кузнецова (1978) включает в себе законы сохранения, открытые и еще не открытые. В статье, посвященной систематизации законов сохранения, приведена другая точка зрения на эту проблему.

ЛТ-система размерностей Р.О. ди Бартини по мнению В.Новицкого подошла бы инопланетянам

В.Новицкий (1999) с самого начала статьи ссылается на принцип эквивалентности масс, хотя именно этот принцип является самым уязвимым местом ЛТ-системы. Основной посыл В.Новицкого заключается в следующих словах: "*Подлинные теоретические сложности и принципиальные моменты – не в наращивании оборотов*

у жерновов математической «мельницы», а в анализе ныне принятых измерительных процедур. Путь к сокращению числа первичных физических сущностей пролегает через методологию выбора основных единиц измерения“. То есть и в этой статье присутствует фетишизация единиц, хотя ЛТ-система Р. ди Бартини – это система размерностей, а не единиц.

В.Новицкий прибегает к оригинальной метафоре, рассуждая о том, как повели бы себя инопланетяне, приближаясь к Земле на своем корабле. Но при этом он вкладывает в мозги инопланетян свои мысли землянина. По его мнению инопланетяне в первую очередь определили бы средний радиус Земли в метрах, а затем, найдя географический полюс Земли, измерили бы ускорение свободного падения в m/c^2 , которое он считает напряженностью гравитационного поля Земли, и по нему они определили бы гравитационную массу Земли в m^3/c^2 . И никаких других единиц, кроме метра и секунды, им бы не понадобилось. Порывшись в земных библиотеках, инопланетяне обнаружили бы фундаментальную константу, включающую m^3/c^2 , которой оказалась бы постоянная Кавендиша, равная $6,672 \cdot 10^{-11} m^3/(кг \cdot c^2)$ (на Земле ее называют гравитационной постоянной). И порекомендовали бы землянам использовать соотношение $1 кг = 6,672 \cdot 10^{-11} m^3/(кг \cdot c^2)$.

А теперь проанализируем воображаемые действия инопланетян с точки зрения современной физики и метрологии. Размер Земли они определяли бы не с помощью штангенциркуля, а оптическими методами, используя квантовые представления о природе света, то есть используя такую основную физическую величину, как число структурных элементов, частным случаем которого является число фотонов. Далее при определении гравитационной массы Земли им пришлось бы воспользоваться принципом эквивалентности масс, который справедлив только в земных условиях. Согласны ли инопланетяне с этим принципом, мы не знаем. Для того, чтобы найти местонахождение географического полюса земли, им пришлось бы прибегнуть к аппаратуре, фиксирующей вращение Земли в разных точках ее поверхности. Основной же физической величиной, характеризующей вращение, является угол поворота, не имеющий отношение ни к метру, ни к секунде. Наконец, делать заключение о массе Земли, как о динамической величине, на основе двух кинематических величин инопланетяне, как более развитые существа, чем земляне, скорее всего, не стали бы.

Взгляды В. Ерохина на ЛТ-систему размерностей ди Бартини

В работе В.Ерохина (2008) делается вывод в пользу ЛТ-системы величин на основании приравнивания закона всемирного тяготения к 2-му закону Ньютона, точно так же, как и в работах всех сторонников ЛТ-систем величин. Только во 2-ом законе Ньютона В.Ерохин вместо ускорения a применяет ускорение свободного падения g . Но ускорение g в современной физике лишь приравнивается к напряженности гравитационного поля Земли G . В.Ерохин как бы не замечает, что во 2-ом законе Ньютона фигурирует инертная масса, а в законе всемирного тяготения – гравитационная масса. То есть, В.Ерохин, как и другие сторонники ЛТ-системы величин опирается на пресловутый принцип эквивалентности масс.

У В.Ерохина, как у Р.ди Бартини, совпадают единицы гравитационной массы и электрического заряда, в этом заложена та же идея, которая фигурирует в статье о комплексе основных величин, в которой масса считается таким же статическим зарядом гравитационного центрального поля, как и электрический заряд в электростатическом поле. То есть, и масса, и электрический заряд являются производными величинами.

В.Ерохин, говоря о размерностях, приводит единицы, как бы не замечая разницы между этими двумя понятиями и называя свою ЛТ-систему величин системой единиц. В своей системе он оставляет без внимания единицу температуры кельвин и единицу силы света кандела, пренебрегает единицей угла поворота, а также считает, что единица моль дублирует число Авогадро (а это уже ошибка, И.К.).

Доведение В.Васильевым ЛТ-системы размерностей ди Бартини до абсурда

В 2004 году вышла в свет монография В.Васильева, в которой ее автор развивает ЛТ-систему Р. ди Бартини, делая упор на изменение формы таблицы ди Бартини. Им представлена VT-модификация этой системы, в которой на одну из координатных осей вместо размерности длины L , как основной физической величины ставится размерность скорости V (производной физической величины). В.Васильев указывает, что единственным преимуществом этой модификации является большая компактность системы.

Центром таблицы В.Васильев делает ячейку с гравитационной постоянной и присваивает ей нулевой номер, обоснования этому мы не нашли. Нумерация ячеек идет в таблице В.Васильева почему-то по правовинтовой спирали с произвольно назначенным шагом спирали. В конце книги представлена таблица с 63 ячейками (7 строк по горизонтали и 9 строк по вертикали), в которой 10 ячеек пустует. Но в тексте упоминаются после 59-ой ячейки упоминаются еще 66-ая, 72-ая, 89-ая, 126-ая, 235-ая, 373-ая и даже 1247-ая ячейка с размерностью $L^{-17}T^{11}$. Единственным критерием для помещения физической величины в таблицу Васильева является алгебраическая сумма показателей при L и T , она не должна, исходя из теории Р. ди Бартини, превышать число 6. Хотя в таблице Васильева 63 ячейки, в обращении к читателю он говорит о 64-х ячейках **ПСФ**, сравнивая это с 64 полями на шахматной доске и с 64 единицами генетического кода и делая при этом вывод о том, что **ПСФ** имеет отношение к биологической картине мира. Столь смелые сравнения напоминают приемы из науки нумерологии, дошедшей до нас из глубокой древности. В этой науке, близкой к мистике, за основу брались порядковые номера букв в алфавите, и по сумме номеров букв, составляющих разные слова из первоначального текста Библии, делался вывод о скрытом значении этих слов.

В.Васильев, тщательно просмотрев все физические величины, увеличивает число величин, помещаемых в одну ячейку. Например, в ячейку с размерностью L^{-1} помещены 24 величины, а в ячейку с размерностью L^5T^{-4} - даже 31 величина. И уж совсем запредельно выглядит у В.Васильева ячейка безразмерных величин (L^0T^0) с 70-ю величинами, причем число величин в ней можно было бы даже увеличить еще на несколько десятков, так как из критериев подобия упомянуто лишь число Рейнольдса. Заметим, что при подборе величин для их помещения в ячейку В.Васильев руководствуется единицами СИ. При этом В.Васильева не смущает совершенно разная природа величин, помещаемых в одну и ту же ячейку. Например, в 11-ую ячейку (L^0T^{-1}) помещены магнитная индукция, угловая скорость, удельная электрическая проводимость и активность радионуклида. Трудно привести более убедительное доказательство формализма LT -систем величин.

В.Васильев называет свою систему **периодической системой физики** с намеком на ее схожесть с Периодической системой элементов Д.Менделеева. Однако **периодический закон Д.Менделеева – это фундаментальный закон, устанавливающий периодическое изменение свойств химических элементов в зависимости от**

увеличения зарядов ядер их атомов. Р. ди Бартини в своей ЛТ-системе никакой периодичности не усматривал. Его таблица построена в обычной ортогональной системе координат ($\log L$, $\log T$), и в системе Р. ди Бартини отсутствуют закономерности, носящие периодический характер. Так что включение В.Васильевым термина “периодическая” в название своей системы величин ничем не обосновано.

Зато в своей монографии В.Васильев уделяет очень большое внимание философскому и в определенной мере теологическому обоснованию справедливости ЛТ-системы величин. Более того, он пишет о том, что *“Творца Вселенной принципиально невозможно вычлнить из современной естественнонаучной картины мира”*. Как заметил сам В.Васильев, *”атеист и верующий мировоззренчески равноправны: они видят наш мир таким и так, как позволяют им собственные внутренние механизмы соприкосновения с Природой, с Творцом, с другими людьми”*. Остается лишь добавить, что до В.Васильева ни один ученый, работающий в русле систематизации физических величин, не сочетал свои *“собственные внутренние механизмы”* с Творцом. **Всё это показывает, до какого псевдонаучного абсурда может довести увлеченность формой в ущерб содержанию.** Лучшего пасквиля на ЛТ-систему величин трудно себе представить.

Вывод

Тезисы, приводимые авторами проанализированных статей, не носят характера неопровержимых доказательств справедливости ЛТ-системы Р. ди Бартини. Подробный анализ ошибок и неадекватностей ЛТ-системы опубликован в статье И.Когана (2012).

Литература

1. ди Бартини, Роберт Орос, 1965, Некоторые соотношения между физическими константами. – Доклады АН СССР, т. 163, № 4, с.с.861-864
2. ди Бартини Р. О., Кузнецов П. Г., 1978, О множественности геометрий и множественности физик. – Свердловск, Уральский научный центр АН СССР, Сб.: “Проблемы и особенности современной научной методологии“, с. 55-65, см. также <http://pobisk-metodogy.narod.ru>
3. Васильев В.А., 2004, Периодическая система физики и биологическая картина мира. - Десногорск, Изд. ООО "Газета Авось-

ка", 140 с.

4. Ерохин В.В., 2008, Абсолютная система физических единиц. – <http://new-idea.kulichki.net/?mode=physics&pn=1>

5. Коган И.Ш., 2011, Метрологические и терминологические проблемы описания периодических процессов и выбора единиц измерений. – “Мир измерений”, 6, с.с. 12-18.

6. Коган И.Ш., 2012, Система величин на основе длины L и времени T : Pro et Contra. Законодательная и прикладная метрология, 3, с.с. 50-57.

7. Новицкий В., 1999, «Камень преткновения» в физике. – Электронная библиотека «Наука и техника», <http://n-t.ru/tp/iz/chm.htm>

8. Смирнов Г.В., 1999, Числа, которые преобразили мир. – Электронная библиотека «Наука и техника», <http://n-t.ru/tp/iz/kp.htm>

3. История появления систем физических величин разных авторов

3.1. Значение теории А.Вейника для проблемы систематизации величин

Имя А.Вейника уже полвека вызывает самые различные комментарии и отзывы со стороны людей науки. В большом количестве его смелых научных идей много такого, что не воспринимается многими современной учеными. Однако, когда читаешь отрицательные и даже осмеивающие А.Вейника отзывы, возникает ощущение, что его критики выискивают и цитируют только неудачные его высказывания, к тому же, вырванные из контекста, не замечая или не желая замечать чрезвычайно ценные научные идеи, ряд из которых подтвержден экспериментально.

Далее мы выскажем свое мнение относительно того, какое влияние оказали идеи А.Вейника на решение рассматриваемой на данной работе проблемы обобщения и систематизации физических величин.

1. А.Вейник – основатель энергодинамики.

А.Вейник разработал в трудах 1956 – 1968 г.г. теорию, названную им “Общей теорией” и опубликованную в завершённом виде в монографии “Термодинамика” (1968). После опубликования ее третьего издания по указанию АН СССР его монографию запретили к применению в качестве учебника, основной тираж книги сожгли, а имеющиеся в различных библиотеках экземпляры потребовали переместить в запасники. И только в 1991 г., когда повеяло свободомыслием, А.Вейнику удалось издать за свой счет новую монографию “Термодинамика реальных процессов” с переосмысленной и усовершенствованной Общей теорией. В ней А.Вейник показывает, что **многие основные законы классической физики являются частными случаями предложенного им основного постулата, состоящего, в свою очередь, из пяти постулатов.**

Полвека исследований различных ученых в области систематизации физических закономерностей и физических величин, как правило, не знакомых с трудами А.Вейника, показали, что они приходят к тем же результатам, к которым пришел ранее А.Вейник, и это обстоятельство служит косвенным доказательством верности его Общей теории. С точки зрения систематизации физических величин наиболее важно то, что его **“Общая теория” дает теоретическое обоснование обобщенного уравнения состояния в его наиболее общей форме записи, из которого вытекает закон сохранения энергии.**

Поскольку А.Вейник базировался на законе сохранения энергии, он предложил всю совокупность наук, базирующихся на применении этого закона, назвать **энергодинамикой**. Он высказал мнение о том, что **физика, химия, биология и другие естественные науки являются составными частями энергодинамики.** Именно А.Вейник четко обозначил наличие многоуровневости в физике, о чем заговорили в полный голос лишь в конце XX века, когда возникло новое научное направление, называемое **уровневой физикой**. Он, в частности, ввел **классификацию систем по признаку уровня структуры материи, на котором они исследуются, рассматривая**

отдельно поведение систем в субмикром мире, микромире, макромире и субмакромире.

2. А.Вейник – создатель учения о формах движения.

А.Вейник создал учение о существовании элементарных **форм движения**, понятие о которых положено в основу его “Общей теории”. Прочитируем главный постулат этой теории: “Для каждой элементарной формы движения материи существует (и может быть найден) **характерный параметр**, который с качественной и количественной стороны однозначно определяет эту форму движения, а, следовательно, и все (макроскопические и микроскопические) свойства (состояния) материи в той мере, в какой они связаны с этой формой движения”. Этот параметр назван А.Вейником **обобщенным зарядом** с указанием на то, что в науке его называют также **координатой состояния**.

Этот главный постулат является, по сути дела, распространением на все разделы физики **принципа виртуальной работы** в механике, сформулированным без доказательства швейцарским механиком Д.Бернулли в начале XVIII века, а затем четко изложенным и доказанным в 1788 г. французским физиком Ж.Лагранжем. Этот принцип и до сих пор успешно применяют для практических расчетов в механике. А первым распространил этот принцип на немеханические формы движения в 1838-1842 г.г. русский физик М.Остроградский. Только в этом принципе не говорится о формах движения.

А.Вейник высказал утверждение, что **число форм движения в произвольно взятой физической системе неограниченно**. А если оно и ограничивается, то только априорно. **Количество форм движения в системе равно количеству внутренних степеней свободы системы.**

3. Основа систематизации величин – обобщенное уравнение состояния А.Вейника.

С точки зрения метрологии особенное значение имеет то, что **основной физической величиной** в “Общей теории“ А.Вейника является **энергия**. Это мнение высказывал еще в начале XX века французский физик А.Пуанкаре. Тогда же единица энергии заменила единицу массы в **естественной системе единиц М.Планка**.
Всю свою

“Общую теорию” А.Вейник построил на этом. И этот шаг в решении проблемы обобщения и систематизации физических величин оказывается революционным, предсказывающим, в том числе, и последующие варианты решения проблемы другими авторами. К большому сожалению, проблема замены массы в качестве основной физической величины энергией сознательно отвергается до сих пор практической метрологией.

В основу **систематизации форм движения** А.Вейник (1968) положил **калорическое уравнение состояния** (приводится в символике автора с добавлением знака суммы):

$$dU = \sum_i (\partial U / \partial E_i)_{E_{in}} dE_i, \quad (1)$$

где dU – элементарное приращение внутренней энергии системы; dE_i – элементарное приращение координаты состояния i -ой формы движения; i – количество форм движения, в которых происходят приращения заряда при изменении внутренней энергии; $\partial U / \partial E_i$ – частная производная от приращения внутренней энергии системы при неизменности (инвариантности) зарядов остальных форм движения, что указывает нижний индекс E_{in} (потенциал формы движения). Очень важно то, что уравнение состояния (1) у А.Вейника связывает между собой приращения физических величин, а не их абсолютные значения.

Если иметь в виду, что заряд А.Вейника аналогичен по содержанию обобщенной координате состояния Ж.Лагранжа, то можно сделать вывод о том, что “Общая теория“ А.Вейника подтвердила распространение **принципа виртуальной работы на любую форму движения в любом разделе физики.**

4. А.Вейник возродил тепловую форму движения.

А.Вейник (1968) ввел понятие “**термический заряд**”, благодаря чему стало возможным включить в процесс систематизации физических величин **тепловую форму движения** и отказаться от терминологии, присущей теории теплорода. Это позволило ему модифицировать закон теплопроводности Фурье, предложить изменение единиц измерений теплоёмкости, термического сопротивления и показать на многочисленных примерах, что все эти нововведения приводят к естественной и понятной трактовке целого ряда явлений в термодинамике. **А.Вейник резко выступил против той роли, какую**

играет в современной термодинамике понятие “энтропия“, что, по его мнению, тормозит развитие не только термодинамики, но и всей физики.

А.Вейник отделил упорядоченную тепловую форму движения, являющуюся такой же элементарной формой движения, как и все прочие (как механическая, гидравлическая, электрическая и т.д.), от неупорядоченной тепловой формы движения диссипации, в которую переходят все формы движения в реальных необратимых процессах вследствие наличия сопротивления трения.

Не встретив понимания своих основных идей в области термодинамики, в частности, по отношению к термину “термический заряд“, А.Вейник (1991) сменил терминологию. “...чтобы подчеркнуть специальный физический смысл, вкладываемый Общей теорией в термические явления, я предлагаю принять для них новое наименование **вермические явления**. Оно происходит от немецкого слова *die Waerme* - *теплота, тепло, жар*“. Однако у И. Когана сложилось впечатление, что этот шаг не помог, а лишь усложнил ситуацию.

Безусловно революционной с точки зрения метрологии является модификация А.Вейником закона Фурье в теории теплопередачи. Она позволила заново пересмотреть всю метрологию тепловой формы движения (И.Коган, 1998, 2012, 2015, Д.Ермолаев, 2004, 2008). Было бы справедливо, если бы **единицу теплового заряда**, введенного в термодинамику А.Вейником под названием **термон**, назвали бы со временем его именем.

5. Трудная судьба А.Вейника и его научных идей.

Трудно даже перечислить то количество новых плодотворных идей, которые предложил внести этот ученый в современную физику и которые еще ждут своего признания и использования. К сожалению, по поводу оригинальных работ А.Вейника в СССР с 1969 по 1983 г.г. велась оживленная дискуссия, но примерно в том же стиле, в каком она велась в тот же период в советской науке вокруг генетики и кибернетики. Это была скорее не дискуссия, а травля ученого. На основании вырванных из контекста цитат, никак не увязанных с предыдущими идеями автора, к А.Вейнику надолго приклеили ярлык лжеученого. Например, М.Волькенштейн (1975) приводит цитату из

первой страницы введения в книге А.Вейника (1968), как бы не замечая последующие пять страниц, на которых всё разъясняется.

Подобная травля привела к ostracismu по отношению к А.Вейнику со стороны официальных академических кругов примерно на 15 лет, в течение которых он практически не имел возможности публиковать свои научные труды, а точнее, публиковался в Самиздате. К тем же трудам, что уже были опубликованы, доступ был закрыт для массового читателя, его книги осели в запасниках библиотек, и были даже случаи их публичного сожжения. И это оказалось одной из причин того, что сейчас появляются новые исследования, авторы которых высказывают идеи, аналогичные идеям А.Вейника, но не ссылаются на него, поскольку попросту ничего о них не знают. А те, кто знает, не всегда бывают объективны. Например, В.Эткин (2008) указывает, что для теории А.Вейника *“характерен отказ от чисто термодинамического (основанного только на опытных фактах и их следствиях) построения теории необратимых процессов, что лишает эту теорию основного достоинства классического термодинамического метода - непреложной справедливости его следствий”*. Однако, в работах А.Вейника описаны результаты многочисленных экспериментов, подтверждающих его теорию и никем не опровергнутых.

За последние 25 лет появилось много статей, как осуждающих, так и поддерживающих многочисленные идеи этого безусловно выдающегося ученого, с которыми можно ознакомиться на сайте <http://www.veinik.ru/>. И этот факт подтверждает значимость его творчества.

6. Отмечаемые недостатки идей А.Вейника.

В работах А.Вейника действительно много необычных высказываний и спорных моментов, особенно в тех, которые появились в последние годы его жизни (конец XX века). Много споров вызывает его идея о том, что время является координатой состояния в введенной им хрональной форме движения. Переход А.Вейника в конце жизни в религию и его активность на этом поприще плохо вяжутся у многих с образом ученого-физика.

Монографии А.Вейника при всей логической стройности его *“Общей теории”* не обладают высокой степенью наглядности и доступности, которая характерна, например, для монографий одного из создателей и популяризатора теории физических аналогий Г.Ольсона, особенно для

людей, воспитанных на иных традициях. Да и название его основной монографии “Термодинамика“, возможно, ограничило круг интересующихся специалистами по термодинамике, хотя речь в монографии шла обо всей физике и даже шире. А.Вейник ввел в термодинамику совершенно новую терминологию, которая не способствует популяризации его идей.

7. О применения идей А.Вейника в метрологии.

Для применения “Общей теории“ А.Вейника в метрологии с целью систематизации физических величин его калорическое уравнение состояния должно быть дополнено обобщенным уравнением динамики. Такое дополнение привело И.Когана (1998) и Д.Ермолаева (2004) к созданию систем физических величин, независимых от существующих систем единиц.

Для метрологии важно раздельно систематизировать две такие важные, но разные модели, как физическая система и физическое поле. Физическое поле характеризуется зарядом, а физическая система характеризуется координатой состояния. Поэтому такие понятия, как координата состояния и заряд, не являются синонимами. А у А.Вейника понятие "заряд" применяется взамен понятия "координата состояния". Методологически неверно также ставить на первый план форму движения, а на второй – координату состояния, ибо именно выбор координаты состояния определяет форму движения, а не наоборот.

Приходилось также слышать, что признание А.Вейником энергии в качестве одной из основных физических величин непрактично, так как невозможно создать измерительный эталон единицы энергии. Но при систематизации физических величин нет необходимости опираться на измерительные эталоны, тем более в настоящее время при переопределении единиц по фундаментальным физическим константам. При систематизации физических величин энергия должна быть принята в качестве основной величины, что и показано впоследствии в работах И.Когана (1993, 1998, 2006, 2015), Д.Конторова (1999) и Д.Ермолаева (2004, 2008).

8. Общие выводы о теории А.Вейника.

Главный вывод сделан самим А.Вейником в его монографии 1991 г. (с. 76). В приведенной ниже цитате ОТ – “Общая теория“, ОТС это “Общая теория систем“, под теорией подобия (и размерностей) следует понимать теорию физических аналогий.

"Основное содержание ОТ составляет специфический универсальный метод, одновременно сочетающий в себе **обобщенный подход**, который оперирует **количественными мерами одинаковой размерности**, и **конкретный подход**, оперирующий **величинами неодинаковой размерности**, но которые либо прямо соответствуют, либо в определенной комбинации приводятся к размерностям обобщенного подхода. Благодаря такой постановке вопроса **идея единства природы и её законов получает конкретное количественное выражение, в равной степени справедливое для самых различных дисциплин, которые ранее рассматривались независимо друг от друга**. Здесь уместно подчеркнуть принципиальную разницу, существующую между ОТ (и ОТС) и **известной теорией подобия (и размерностей)**. Первые пекутся главным образом о выявлении наиболее общих, глубинных законов природы, а **вторые занимаются в основном формальным обобщенным представлением имеющихся закономерностей.**"

Отдельные отмечаемые выше недостатки “Общей теории“ А.Вейника не должны мешать осмыслению многих его оригинальных научных идей. Приведенные различными авторами недостатки в работах А.Вейника (недостатки, разумеется, по мнению этих авторов) не должны являться поводом для того, чтобы “вместе с водой выплескивать из ванны ребенка”, как это пыталась делать официальная советская наука. И. Коган считает, что многие идеи А.Вейника, и, особенно, идеи, помогающие решить проблему обобщения и систематизации физических величин, просто значительно опередили свое время. С точки зрения решения этой проблемы главной заслугой А.Вейника является то, что он показал **вариант обобщения определяющих уравнений физики. Размерности же физических величин вытекают из их определяющих уравнений**. Поэтому “Общая теория“ А.Вейника стала одним из главных научных обоснований для решения проблемы обобщения и систематизации физических величин.

Именно А.Вейник привел убедительные доказательства того, что методы, положенные им в основу систематизации определяющих уравнений физики, имеют под собой глубокие общенаучные основы,

что они не только формализуют законы материального мира, но могут дать и весомый выход на практику. Последнее, к слову, было доказано им и его учениками путем проведения многочисленных экспериментов, не опровергаемых, к слову, его критиками.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Вейник А.И. 1991, Термодинамика реальных процессов. – Минск: «Навука і техника», 576 с. (см. также <http://www.veinik.ru/lib/books/1/4.html>)
3. Волькенштейн М.В., 1975, Тракта о лженауке. – “Химия и жизнь”, **10**.
4. Ермолаев Д.С., 2004, Обобщенные законы физики применительно к теплофизике. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7442.html>
5. Ермолаев Д.С., 2008, Тепловой заряд и обобщение теплофизики. -М: «Компания Спутник+», Актуальные проблемы современной науки, №4(43), с.89, (см. также <http://icreator.ru/physics/tz0807.htm>)
6. Коган И.Ш., 1993, Основы техники. Киров, КГПИ, 231 с.
7. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, **5**, с.с. 30-43.
8. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, Изд. Рассвет, 207 с.
9. Коган И.Ш., 2012, Метрология тепловой формы движения. – “Законодательная и прикладная метрология”, **2**, с.с. 45-53.
10. Коган И.Ш., 2015, Альтернативный путь к Новой СИ (Часть 2. О необходимости изменения набора основных величин). – “Законодательная и прикладная метрология“, **2**, с.с. 34-48
11. Коган И.Ш., 2015, Альтернативный путь к Новой СИ (Часть 3. Кельвин - вариант единицы количества объектов). – Законодательная и прикладная метрология, **3**, с.с. 45-56
12. Конторов Д.С., Михайлов Н.В., Саврасов Ю.С., 1999, Основы физической экономики. (Физические аналогии и модели в экономике.) – М.: Радио и связь, 184 с.
13. Эткин В.А., 2008, Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). – СПб.: Наука, 409 с.

3.2. Система физических величин Н.Плотникова

В 2005 г. благодаря публикации Д.Игнатьева широкому кругу читателей Интернета была предоставлена возможность познакомиться с небольшой брошюрой Н.Плотникова (1978) “Система физических величин” (далее – **СФВ**). В этой брошюре ее автор представил в виде большой таблицы аналитические взаимосвязи многих физических величин всех основных разделов классической физики. К сожалению, нет возможности привести эту таблицу в данном обзоре ввиду ее громоздкости и трудности воспроизводства в Интернете.

Хронологически работа Н.Плотникова впервые, как представляется И Когану, отошла от того, чтобы положить в основу систематизации физических величин “физические аналогии” и размерности величин. Единицы измерений используются Н.Плотниковым в **СФВ** только в качестве иллюстрации, взяты они из СИ. **В СФВ систематизируются именно физические величины, а не их размерности или их единицы измерений.**

Работа Н.Плотникова вызывает большой интерес с точки зрения истории процесса обобщения и систематизации физических величин, но считать, подобно Д.Игнатьеву, что она открывает горизонты нового направления физики, было бы, по мнению И. Когана, преувеличением. Работа Н.Плотникова имеет совершенно очевидную педагогическую направленность, в этом ее несомненное достоинство. Теоретическое обоснование его **СФВ** дано скорее Д.Игнатьевым.

В предисловии к своей работе Н.Плотников указывает в качестве основной задачи созданной им системы на возможность “с минимальными затратами времени эффективно и качественно овладеть основами физики в учебных программах при поступлении в вузы”. Тем самым Н.Плотников, и это делается впервые, подчеркивает педагогическую значимость систематизации физических величин.

Однако знакомство с его системой физических величин показывает, что для практического ее использования необходимы знания, которые могут быть приобретены уже в процессе изучения физики в вузе. Да и сам автор **СФВ** пишет, что “изучение системы ведется одновременно с учебниками физики”, можно добавить к этому, – с вузовскими учебниками. Таким образом, основная задача, декларированная Н.Плотниковым, оказывается несколько иной, а именно: облегчить студентам овладение знаниями физики.

Н.Плотников вводит новую **СФВ** в виде таблицы, включающей горизонтально и вертикально направленные стрелки, условно

подменяющие такие математические действия, как умножение и деление на физические константы, на длину и на время, интегрирование и дифференцирование по длине и по времени. В систему также вводятся значки, подменяющие условные обозначения векторной алгебры. С помощью этих значков автору системы удалось графически изобразить многие определяющие уравнения, содержащие векторные величины и не содержащие операции сложения, вычитания и деления.

Благодаря введению физических констант в таблицу Н.Плотникову удалось поместить в одни и те же ячейки системы аналогичные физические величины из разных разделов классической физики (механики, электродинамики, термодинамики, гравитации и др.) в соответствии с их определяющими уравнениями. Таким образом, можно констатировать, что **Н.Плотников впервые доказал, что систематизация физических величин должна проводиться с помощью сравнительного анализа определяющих уравнений.** Из этого вытекает следствие о том, что **размерности физических величин, получающиеся после анализа определяющих уравнений, являются вторичным продуктом при систематизации физических величин.** Это противоречит взгляду на систематизацию по Р.ди Бартини, хотя сам Н.Плотников не сделал этого вывода. Возможно, он не был знаком с работой Р.ди Бартини.

Таблица СВФ наглядна, хотя и велика по размерам. Она показывает общность основных физических величин из разных разделов физики. Ее можно заполнять не сразу, а по мере изучения этих разделов. Таблица может служить хорошим учебно-методическим наглядным пособием при изучении физики в вузе. Однако следует признать, что новая оригинальная система графических условных обозначений требует дополнительного освоения, целесообразность которого еще следует оценить. К тому же, текст работы Н.Плотникова трудно читать из-за стилистических погрешностей. Для студентов этот текст надо отредактировать.

Введение Н.Плотниковым некоторых новых терминов вряд ли целесообразно. Например, “*однородные законы с одинаковой размерностью*” – это то же самое, что “*обобщенные определяющие уравнения*”. Под “*неоднородными законами*” Н.Плотников понимает методы аналогий и подобия, но при этом считает, что применение этих методов “*приводят к тупиковому положению*”. С этим высказыванием не всегда можно согласиться, например, **критериальные уравнения,**

базирующиеся на теории подобия, помогают решить многие практические задачи в тех случаях, когда методы математической физики помочь не могут. Утверждение Н.Плотникова о том, что он вводит в **СФВ** показатели среды путем добавления оси физических констант, не совсем точно, на самом деле он вводит показатели формы силового поля.

В таблицу **СФВ** необходимо ввести некоторые уточнения. Можно привести такие примеры. Н.Плотников не учел терминологическое несоответствие друг другу понятий “электрическая индукция **D**” и “магнитная индукция **B**”, хотя об этом несоответствии пишут в современных учебниках по физике (например, у И.Савельева, 2005, кн.2). В своей таблице Н.Плотников поставил величины **B** и **D** в одну и ту же вертикальную графу. Правда, разное направление стрелок в его таблице между напряженностью электростатического поля **E** в вакууме и электрической индукцией **D** в веществе, с одной стороны, и между напряженностью магнитного поля в веществе **H** и магнитной индукцией **B** в вакууме, с другой стороны, указывает на то, что принципа причинности он не нарушил. Но Н.Плотников нарушил его тогда, когда посчитал потенциал поля функцией от напряженности поля, тогда как напряженность центрального поля является градиентом потенциала этого поля. А помещение разных по содержанию величин в одну и ту же вертикальную графу (например, **B** и **D**) вынуждает его то умножать их на пространственную координату, то делить на нее. Указанные недостатки присущи современной электродинамике, Н.Плотников не стал исправлять эти недостатки.

Несмотря на указанные частные недоработки, работа Н.Плотникова представляет собой хронологически первое глубокое исследование по проблеме обобщения и систематизации физических величин, основанное только на определяющих уравнениях, а не на подобии или равенстве размерностей (или на формальных аналогиях).

Литература

1. Игнатъев Д., 2005, Система Физических величин Плотникова Н.А. – <http://groups.google.com/group/ignat>
2. Плотников Н.А., 1978, Система физических величин. – Вологда, Областной Совет ВОИР, 34 с., а также <http://plotnikovna.narod.ru>
3. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель

3.3. “Единая математическая формула законов природы” М.Вудынского

В середине 60-х годов XX века была опубликована новая идея в области **систематизации определяющих уравнений классической физики**. А **определяющие уравнения как раз и создают основу для систематизации размерностей физических величин и, следовательно, самих физических величин**.

Один из авторов квантовой оптики, видный советский физик М.Вудынский (1971), предложил “**единую математическую формулу законов природы**”, названную им **законом взаимосвязи степенных законов и соотношений классической физики, а также размерной части квантовых соотношений**. Для электромагнетизма эта формула выглядит следующим образом:

$$X(M^{m_1}, S^{l_1}, T^{t_1}, T_0^{\tau_1}) = \frac{D_E}{\eta(M^{m_2}, S^{l_2}, T^{t_2}, T_0^{\tau_2})} = \frac{\Pi \cdot C^{-(t_1+t_2)-2(m_1+m_2)} \epsilon^{(m_1+m_2)} b^{(\tau_1+\tau_2)}}{\eta(M^{m_2}, S^{l_2}, T^{t_2}, T_0^{\tau_2})}$$

при условии, что $t_1 + t_2 - m_2 - \tau_2 = m_1 + \tau_1 - l_1 - \tau_1$, а для механики и гравитации

$$X(M^{m_1}, S^{l_1}, T^{t_1}) = \frac{D_G}{\eta(M^{m_2}, S^{l_2}, T^{t_2})} = \frac{\Pi \cdot C_0^{-(t_1+t_2)+2(m_1+m_2)} N^{-(m_1-m_2)}}{\eta(M^{m_2}, S^{l_2}, T^{t_2})}$$

при условии, что $l_2 + t_2 + m_2 = -l_1 - t_1 - m_1$. В этих уравнениях X – искомая физическая величина, η – производная физическая величина, M – масса, S – длина, T – время, T_0 – температура, Π – безразмерный множитель, величина

$D_F = \Pi \epsilon^{2m} C^{-t-2m} b^{\tau}$, где ϵ – электрический заряд, C – скорость света, b – постоянная Вина, величина

$D_G = \Pi N^{-m} C_0^{-t+2m}$, где N – гравитационная постоянная, C_0 – скорость гравитационных волн.

То, что М.Вудынский различает скорость света C и скорость гравитационных волн C_0 , является очень интересным фактом.

Совместно со своим сыном М.Вудынский (1967, 1969) запатентовал две конструкции прогнозатора (в механическом и электронном

вариантах), которые, используя вышеупомянутый закон, не только подтверждают, как утверждают авторы, известные законы природы, но и предсказывают еще не открытые законы.

Литература

1. Вудынский М.М., 1971, Законы физики и электроника. – ВИНТИ, Итоги науки и техники, Серия “Автоматика и радиоэлектроника”.
2. Вудынский М.М., Вудынский Ю.М., 1967, Устройство для получения зависимостей между размерностями физических величин. Авт. свид. СССР № 204034.
3. Вудынский М.М., Вудынский Ю.М., 1969, Устройство для получения зависимостей между размерностями физических величин. Авт. свид. СССР № 257880.

3.4. Система физических величин И.Когана

1. Переход от физических аналогий к системе физических величин.

И.Коган (1993), систематизировавший физические величины в рамках теории физических аналогий, после ознакомления с “Общей теорией” А.Вейника (1968) привел свою систему величин в соответствие с его теорией о формах движения и в таком виде опубликовал эту систему величин в 1998 г. Главный принцип систематизации остался прежним: ***“Все группы физических величин имеют одинаковую структуру, определяемую уравнениями связи между обобщенными физическими величинами. Группа обобщенных физических величин служит в качестве клише для любой подобной группы физических величин”***. Ниже представлено такое клише в виде Таблицы обобщенных величин.

Таблица обобщенных величин

Группы величин		Строка	ОБОБЩЕННЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	Символ	Определяющие соотношения	Размерность
I	Основные физические величины	1	Обобщенная работа	A		E
		2	Протяженность	l		L
		3	Время	t		T
II	Внешние параметры системы	4	Обобщенный заряд (Обобщенная координата)	q		K
		5	Обобщенная разность потенциалов	Q	dA/dq	EK ⁻¹
III	Внутренние параметры системы	6	Жесткость системы	D	Q/q	EK ⁻²
		7	Сопротивление системы	R	Q/\dot{q}	ETK ⁻²
		8	Инертность системы	I	Q/\ddot{q}	ET ² K ⁻²
	(обратные им величины)	9	Емкость системы	C	q/Q	E ⁻¹ K ²
		10	Проводимость системы	Y	\dot{q}/Q	E ⁻¹ T ⁻¹ K ²
		11	Подвижность системы		\ddot{q}/Q	E ⁻¹ T ⁻² K ²
IV	Параметры движения системы	12	Обобщенная скорость (Поток обобщен. зарядов)	\dot{q} Φ	dq/dt	T ⁻¹ K
		13	Плотность потока зарядов	i	Φ/S	L ⁻² T ⁻¹ K
		14	Коэффициент переноса	k	Y/S	E ⁻¹ L ⁻¹ T ⁻¹ K ²
		15	Импульс разн. потенциалов	dp	$[Qdt]$	ETK ⁻¹
		16	Частота свободных колебаний	ν_0	$\sqrt{D/I}/2\pi$	T ⁻¹
		17	Свободное движение	$R=0$		
18	Заторможенное движение	$R \rightarrow \infty$				
V	Параметры поля	19	Напряженность поля	H	$\partial\varphi/\partial l$	EL ⁻¹ K ⁻¹
		20	Линейная плотн. зарядов	τ	$\partial q/\partial l$	KL ⁻¹
		21	Поверхн. плотн. зарядов	σ	$\partial q/\partial S$	KL ⁻²
VI	Энергетические параметры	22	Энергия положения в поле	Π	$Qq/2$	E
		23	деформации поля		$Dq^2/2; CQ^2/2$	E
		24	Энергия движения	T	$l\dot{q}^2/2$	E
		25	Энергия рассеяния	W	$R\dot{q}^2 t$	E
		26	Обобщенная мощность	P	$Q\dot{q}$	ET ⁻¹
		27	Принцип малых отклонений		$Q_1/Q_2 = \dot{q}_2/\dot{q}_1$	

2. Каковы особенности первого варианта системы физических величин И.Когана.

1. Координата состояния обобщенной физической системы (4-ая строка Таблицы) названа **обобщенной координатой состояния**, она стала условной основной величиной с символом размерности K. Она условна потому, что применяется только в Таблице обобщенных величин, а в таблицах реальных форм движения заменяется координатой состояния этих форм движения. Например, в таблице механической прямолинейной формы движения размерность K заменяется размерностью длины L. Для любой обобщенной физической величины

в Таблице приведено обобщенное определяющее уравнение, по которому составлена обобщенная размерность. Всё это было проиллюстрировано в статье 1998 г. отдельными таблицами физических величин в разных формах движения.

2. Физические величины располагаются в таблицах физических величин отдельных форм движения не случайно, а в соответствии с принципом последовательности, вытекающим из принципа причинности. Принцип последовательности заключается в том, что **каждая физическая величина определяется только теми физическими величинами, которые расположены в таблице выше ее**. По мнению И. Когана, такая последовательность расположения физических величин редко соблюдается в различных справочниках по физическим величинам.

3. В комплекс базовых уравнений (обобщенное уравнение состояния и уравнение динамики) при систематизации физических величин добавлено обобщенное уравнение переноса. В результате этого в Таблице обобщенных величин и в других таблицах появилась группа IV. Таблица обобщенных величин дополнена также группой V “Параметры поля“. В эту группу на первом этапе систематизации были введены всего три обобщенные физические величины: напряженность поля и две плотности зарядов. В группу VI Таблицы обобщенных величин помещены три вида энергии, являющиеся производными величинами по отношению к энергии, как основной физической величине. Потенциальная энергия представлена в двух подвидах с разными определяющими уравнениями (потенциальная энергия положения и потенциальная энергия деформации).

4. В статью 1998 г. были включены 8 таблиц разных форм движения (две механические прямолинейного и вращательного движений, две гидравлические течения в потоке и в пограничном слое, электрическая, магнитная и тепловая в двух вариантах). Наряду с существующей формой движения при теплопроводности была впервые опубликована таблица тепловой формы движения, в которой теплота стала частным случаем обобщенной работы, а эквивалентом обобщенного заряда стал предложенный А.Вейником (1968) тепловой заряд. Кроме того, при составлении таблицы магнитной формы движения был сделан вывод о необходимости изменения названий двух терминов в этой форме движения. В частности, показано, что **магнитное сопротивление и магнитная проводимость магнитной цепи следует называть магнитной жесткостью и магнитной ёмкостью магнитной цепи**.

Все таблицы разных форм движения приобрели ту наглядность, которая ранее была присуща лишь таблице физических аналогий Г.Ольсона (1966). Кроме того, в таблице обобщенных физических величин число строк увеличилось до 27 (против 9 в таблице Г.Ольсона). В настоящее время в состав системы физических величин И.Когана уже включены 25 таблиц различных форм движения.

3. Как выглядит обобщенное уравнение состояния системы.

Обобщенное уравнение состояния в статье 1998 г. было приведено в другой записи, нежели у А.Вейника, а именно:

$$\sum_{i=1}^n U_i dq_i = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{k=0}^m a_{ki} \frac{d^k q_i}{dt^k} \right) dq_i = dW \quad (1)$$

где dW – приращение полной энергии системы; U – потенциал системы; i – номер элементарной формы движения; n – количество элементарных форм движения в системе; k – порядок производной по времени; m – наивысший порядок производной по времени; q – обобщенный заряд (обобщенная координата).

В дальнейшем выяснилось, что выражение в круглых скобках является не потенциалом системы U , а разностью потенциалов ΔU между системой и окружающей ее средой. Различие заключается в следующем: потенциал системы U является функцией состояния системы, а разность потенциалов ΔU является функцией процесса переноса энергоносителей из системы в среду или в обратном направлении. Именно поэтому в скобках присутствует время t в качестве независимого аргумента. В последующих вариантах обобщенного уравнения состояния левая часть уравнения (1) не приводится.

4. Промежуточное обновление системы физических величин И.Когана.

В серии статей (2003, 2004а, 2004б, 2004в, 2005) на портале sciteclibrary.ru И.Коган предложил новый вариант своей системы физических величин под новым названием ЭСВП (энергодинамическая система величин и понятий). Эта система обобщена им в монографии (2006).

Прежнее название – “Таблица аналогий” – отвергнуто по причине того, что при системном подходе речь идет не о случайной схожести записи уравнений динамики в разных формах движения, отражаемой словом “анalogии”, а о следствиях, выведенных из известных в физике закономерностей. Поскольку в основу систематизации физических величин положена идея А.Вейника (1968) о применении энергии в качестве основной физической величины, то и в названии новой системы величин появилось слово “энергия”. И опора на обобщенное уравнение динамики также присутствует в названии системы величин. Основные сведения о системе величин ЭСВП изложены в работе (2004а).

5. Новые идеи, реализованные в рамках энергодинамической системы величин ЭСВП.

1. Параллельно с систематизацией физических величин был **проведен анализ понятий и символики в физике. Этот анализ подтвердил наличие в современной физике понятийной бессистемности**, в связи с чем в работе рассмотрено много вопросов, посвященных анализу наиболее употребляемых понятий, вкратце перечисленных в статье о понятийной бессистемности. А сама система ЭСВП названа системой величин и понятий. Кроме того, подвергнута анализу и символьная бессистемность в физике и предпринята попытка систематизации символики.

2. Впервые на основании системного подхода в статье (2003) предложена иерархия уровней обобщения и систематизации физических величин. Логика системного подхода привела (2006, 2007, 2009) к разделению понятий **“формы энергии” и “виды энергии”**, **“формы энергообмена” и “виды энергообмена”**. В рамках системного подхода наряду с существующей классификацией термодинамических систем, не учитывающую динамику систем, составлена принципиально иная классификация физических систем, подразделяющая их на проточные, непроточные и комплексные системы, динамика поведения которых принципиально различна. Такой подход существенно упростил составление таблиц физических

величин в разных формах движения.

3. Процесс систематизации физических величин выявил, что существует ряд важных условий, соблюдение которых позволяет успешно осуществлять этот процесс систематизации. Эти условия опубликованы в монографии (2006) и на сайте И. Когана. Особенно важно соблюдение принципа причинности. Системный подход позволил выявить большое число нарушений этого принципа в современной физике (особенно в электромагнетизме), которое вызвано, прежде всего, неосторожным процессом математизации физики, при котором не всегда учитывается принцип причинности. После устранения допущенных нарушений заново систематизированы физические полевые величины и составлены Таблицы величин физического поля как в существующих размерностях и единицах системы СИ, так и в откорректированных размерностях и единицах системы ЭСВП.

4. Теоретически обосновано предложение о необходимости изменения комплекта основных величин. В качестве основных физических величин приняты угол поворота (статья 2011г) и число структурных элементов (статья 2011в). Это позволило упорядочить метрологию и терминологию физических величин вращательного движения, периодических процессов (статьи 2011а и 2011б), молекулярной физики (статья 2011в) и квантовой физики (статья 2011в). В таблицах физических величин единицы, принятые в СИ, сравниваются с единицами, вытекающими из размерностей, принятых в системе величин ЭСВП, что позволило в ряде случаев указать на необходимость коррекции единиц СИ.

5. Развита идея А.Вейника (1968) о необходимости рассмотрения упорядоченной тепловой формы движения, на базе которой пересмотрены физические величины в процессах теплопередачи (2004в). Проведена систематизация явлений переноса и составлена обобщенная таблица физических величин явлений переноса.

6. В статье (2005) совершенствуется изложенная ранее в работе (1993) методика использования систематизации физических величин в средней и высшей школах, представлены вниманию читателей разработанные на основании работ И. Когана новые учебно-наглядные методические пособия.

7. Предпринята попытка систематизации экономических величин и установления их взаимосвязи с физическими величинами.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
3. Коган И.Ш., 2003, Пути решения проблемы систематизации физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7073.html>
4. Коган И.Ш., 2004а, “Физические аналогии” – не аналогии, а закон природы. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7438.html>
5. Коган И.Ш., 2004б, Пора устранить непоследовательность в описании физических величин, характеризующих вращательное движение. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7528.html>
6. Коган И.Ш., 2004в, Не пришло ли время отказаться от применения терминологии и уравнений теории теплорода? – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7646.html>
7. Коган И.Ш., 2005, Как можно одновременно интенсифицировать и упростить процесс преподавания физики и технических дисциплин. – <http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/1522.pdf>
8. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
9. Коган И.Ш., 2007, Систематизация и классификация определений и дополнений к понятию “энергия” – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8784.html>
10. Коган И.Ш., 2009, Систематизация и классификация определений и дополнений к понятию “энергия”. – “Автоматизация и ИТ в энергетике”, 2-3, с.с. 56-63.
11. Коган И.Ш., 2011а, Метрологические и терминологические проблемы описания периодических процессов и выбора единиц измерений. – “Мир измерений”, 6, с.с. 12-18.
12. Коган И.Ш., 2011б, Физическая величина не должна иметь единицу m^{-1} или s^{-1} – “Законодательная и прикладная метрология, 5, с.с. 43-49.
13. Коган И.Ш., 2011в, Число структурных элементов как основная физическая величина. – “Мир измерений”, 8, с.с. 46-50.
14. Коган И.Ш., 2011г, Угол поворота – основная физическая величина. – “Законодательная и прикладная метрология, 6, с.с. 55-66.

15. Olson H.F., 1966, Solution of Engineering Problems by Dynamical Analogies. – New York, D. Van Nostrand Co.

3.5. Система физических и экономических величин Д.Конторова

В 1999 г. вышла монография Д.Конторова, Н.Михайлова и Ю.Саврасова "Основы физической экономики. (Физические аналогии и модели в экономике)", представляющая определенный интерес с точки зрения решения проблемы систематизации физических величин. В этой монографии видный системотехник Д.Конторов предложил свою систему, в которую входят таблицы физических, экономических, социальных и информационных величин с их размерностями и единицами. Автор дал ей название "Автономная система единиц экономических величин". Мы проанализируем лишь то, что касается физики.

Приведем перечень основных величин, положенных в основу этой системы, так, как это сделано в оригинале.

Величина	Размерность	Единица
Длина	L	м (метр)
Время	T	с (секунда)
Энергия	E	Дж (Джоуль)
Деньги	D	\$ (доллар)
Труд	Tr	10 ⁶ чел/год
Информация	I	бит

Д.Конторов включил в перечень основных физических величин энергию с символом размерности E, но сделал это очень осторожно. Во-первых, он предварил это обтекаемым по смыслу предложением: *"Есть серьезные основания для включения в состав автономной системы энергии"*. Во-вторых, тут же оговорился, что *"энергию можно выразить через длину и время в кинематической системе единиц..."*, имея в виду систему Р.ди Баргини (1966). Да и в своей таблице физических величин Д.Конторов приводит сначала столбец размерностей из системы Р. ди Баргини, и лишь потом столбец размерностей, построенный с учетом энергии, как основной

физической величины.

Точно так же осторожен Д.Конторов, включая в состав основных величин "информацию" с единицей бит, говоря при этом: "*К сожалению, информация пока не включена в состав физических величин – в физике информации нет*". Это не совсем так. Как показано в статье о количестве объектов, в метрологии имеется понятие "количество информации", и единицы для этой величины имеются (бит и байт).

Размерность энергии Е имеют в таблице Д.Конторова сила света и теплота. В отношении такой величины, как сила света, это справедливо, хотя в системе единиц СИ сила света считается условной основной величиной со своей единицей кандела. А вот в отношении теплоты автор не уточнил, что понимается им под теплотой, и что понимается под тепловой энергией. Как показано у А.Вейника (1968) и И.Когана (1998), это разные физические величины.

В таблицу физических величин Д.Конторовым включена такая величина, как количество вещества, но без указания размерности, имеющейся в СИ, а только с указанием единицы моль. (Все остальные 22 физические величины в таблице Конторова приведены со своими размерностями.) Получается, что у Д.Конторова единица количества вещества стала внесистемной единицей.

Расположение физических величин в таблице Д.Конторова не подчинено какой-либо закономерности, в отличие от рассмотренных в статьях данного раздела систем физических величин Р.ди Бартини (1978), Н.Плотникова (1978) и И.Когана (1998). У Д.Конторова физические величины просто перечисляются.

Наиболее важным в системе физических величин Д.Конторова является включение в состав основных физических величин энергии. Но это, скорее, не догадка лично Д.Конторова, а вывод, вытекающий из работ многих ведущих экономистов мира. Вот что пишут соавторы Д.Конторова: "*Экономика имеет две основные меры: энергию и деньги, вообще говоря, сводимые*".

Последние слова этой фразы имеют очень важное принципиальное значение. Поскольку экономика – наука социальная, построенная на категориях живой природы, то из этой фразы можно сделать вывод о том, что энергия – основная величина не только для неживой, но и для

живой природы. Этот вывод еще раз подчеркивает важность признания энергии основной физической величиной.

Литература

1. ди Бартини, Роберт Орос, 1966, Соотношение между физическими величинами. Сб. “Проблемы теории гравитации и элементарных частиц.”, вып. 1, М.:Атомиздат.
2. ди Бартини Р. О., Кузнецов П. Г., 1978, О множественности геометрий и множественности физик. – Свердловск, Уральский научный центр АН СССР, Сб.: “Проблемы и особенности современной научной методологии“ , с. 55-65, см. также <http://pobisk-memory.narod.ru>
3. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
4. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
5. Конторов Д.С., Михайлов Н.В., Саврасов Ю.С., 1999, Основы физической экономики. (Физические аналогии и модели в экономике.) – М.: Радио и связь, 184 с.
6. Плотников Н.А., 1978, Система физических величин. – Вологда, Областной Совет ВОИР, 34 с., также <http://plotnikovna.narod.ru>

3.6. Развитие энергодинамики В.Эткиным

Значительное влияние на развитие идей обобщения и систематизации физических величин оказывают работы в области обобщения и систематизации физических закономерностей, это хорошо заметно на примере “Общей теории” А.Вейника (1968) – основателя энергодинамики. С конца XX века **энергодинамику, как обобщающую науку о природных закономерностях**, продолжил развивать В.Эткин (1992).

В созданном в начале XXI века **сайте http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a** В.Эткин публикует несколько десятков статей, анализирующих основные закономерности всех разделов современной физики с точки зрения энергодинамики. Его статьи подтверждают, что **энергодинамика, как наука, находится на более высоком иерархическом уровне, чем физика**. Содержание своих статей он сгруппировал в монографию “**Энергодинамика (синтез теорий**

переноса и преобразования энергии)”, вышедшей в 2008 г. Эта монография удостоена памятной медали Лейбница Европейской академии естественных наук.

В.Эткин о содержании энергодинамики

В.Эткин дает следующее определение: “*Энергодинамика – наука об общих закономерностях процессов переноса и преобразования энергии безотносительно к принадлежности этих процессов к той или иной области знаний*”.

Указывая на преимущества термодинамического метода исследования, применяемого в энергодинамике, В.Эткин (2005) пишет, что “*одной из наиболее привлекательных термодинамического метода всегда была его универсальность и возможность сведения огромного множества явлений к нескольким основным идеям. ...К достоинствам этого метода следует отнести также непреложную справедливость следствий, вытекающих из закона сохранения энергии*”.

В.Эткин детализировал **форму записи закона сохранения энергии**, что позволило распространить этот закон на неоднородные системы, в которых происходит процесс перераспределения координат состояния в одной или нескольких формах движения. Особенно важным является включение В.Эткиным в уравнение, описывающее закон сохранения энергии, **векторных величин**.

В своих работах В.Эткин не касается проблемы обобщения и систематизации физических величин, но его работы расширяют возможности энергодинамики, положенной в основу решения этой проблемы.

Трактовка закона сохранения энергии у В.Эткина

В работе В.Эткина (2005) запись закона сохранения энергии практически повторяет запись этого закона А.Вейником (1968) с той существенной разницей, что приращение обобщенной координаты состояния является у В.Эткина векторной величиной:

$$dE \equiv \sum_i (\partial E / \partial Z_i) dZ_i, \quad (1)$$

где dE – элементарное приращение энергии системы $E = E(Z_i)$, а векторная физическая величина

$$Z_i = \theta_i R_i \quad (2)$$

является экстенсивным параметром i -ой формы движения. Величина θ_i названа В.Эткиным **термостатическим параметром**, понимаемым как **количественная мера энергоносителя i -ой формы движения** (материального носителя энергии, присущей i -ой форме движения). Под R_i понимается радиус-вектор центра величины θ_i . Поэтому векторная величина Z_i названа “**моментом распределения**“ параметра θ_i в неоднородной системе.

Заметим, что величина $(\partial E / \partial Z_i)$ в уравнении (1) должна быть векторной величиной для того, чтобы dE из уравнения (1) оказалось скалярным произведением двух векторных величин. К тому же, векторная алгебра не допускает операции деления на вектор, которым является величина $\langle \partial E / \partial Z_i \rangle$. Поэтому в уравнении (1) вместо выражения $(\partial E / \partial Z_i)$ должно, по-видимому, стоять выражение $(\partial E / \partial |Z_i|)$. Лишь при этом условии соблюдается правило векторного анализа. А это, в свою очередь, указывает на то, что векторной величиной должно являться и элементарное приращение ∂E . Об этом в работах В.Эткина не говорится ничего, первое указание на такую возможность появилось в статье И.Когана (2012).

Закон сохранения энергии в записи (1) В.Эткин раскрывает в виде

$$dE \equiv \sum_i \Psi_i d\theta_i - \sum_i F_i dR_i, \quad (3)$$

где $\Psi_i = (\partial E / \partial \theta_i)$ – обобщенный потенциал i -ой формы движения; dR_i – приращение радиус-вектора R_i в процессе перераспределения параметра θ_i внутри системы;

$$F_i = (\partial E / \partial R_i), \quad (4)$$

где F_i – сила, действующая на систему при перераспределении параметра θ_i . К выражению $(\partial E / \partial R_i)$ из уравнения (4) относится то же самое замечание, которое было сделано выше по отношению к выражению $(\partial E / \partial Z_i)$ из уравнения (1).

Первая сумма правой части уравнения (3) характеризует поведение системы в отсутствие процессов переноса и перераспределения внутри

системы. Вторая сумма учитывает пространственную неоднородность системы и характеризует направленные процессы энергообмена внутри системы, в том числе, процессы диссипации. Следовательно, уравнение (3) применимо и к изолированным (замкнутым) системам.

Остальные сведения о частных свойствах физической системы привлекаются В.Эткиным в качестве условий однозначности, к которым он относит уравнения баланса координат при внешнем и внутреннем энергообменах, уравнения состояния системы и уравнения процесса переноса, законы сохранения массы, заряда, импульса и момента импульса.

Уравнение переноса В.Эткин записывает в виде суммы линейных зависимостей

$$J_j = \sum_i L_{ji} X_i, \quad (5)$$

где $X_i = F_i/\theta_i$ – удельные движущие силы;

L_{ji} – коэффициенты пропорциональности;

$J_j = \theta_j v_j$ – потоки j-го энергоносителя;

$v_j = dR_j/dt$ – скорости j-го процесса переноса.

Комплекс вышеприведенных уравнений обобщает поведение всех термодинамически неравновесных систем. Это, по убеждению В.Эткина, служит альтернативой поиска решения проблемы “Великого объединения“.

Расширенная форма записи закона сохранения энергии

В работе (2006) В.Эткин расширяет форму записи закона сохранения энергии (3). Он представляет второе слагаемое правой части уравнения (3) в виде суммы двух слагаемых. В.Эткин рассматривает перемещение центра сосредоточения параметра θ в шестимерном пространстве, имеющим три линейных и три вращательных измерения. При этом уравнение (3) приобретает вид

$$dE \equiv \sum_i \Psi_i d\theta_i - \sum_i F_i dR_i - \sum_i M_i d\varphi_i, \quad (6)$$

где $d\varphi_i$ – угловое перемещение радиус-вектора R_i в процессе переориентации параметра θ_i внутри системы;

$M_i = (\partial E/\partial \varphi_i)$ – вращающий момент, переориентирующий систему.

Таким образом, В.Эткин оставляет за **силой F_i** роль воздействия, побуждающего только к линейному перераспределению, а для воздействия, побуждающего к вращательной переориентации, вводит **вращающий момент M_i** . Тем самым В.Эткин подтверждает особую роль вращающей формы движения и подводит теоретическую базу под аналогичное утверждение И.Когана (2004), сделанное при создании системы физических величин.

Как видим, В.Эткин детализирует понимание обобщения физических закономерностей по сравнению с предыдущими работами А.Вейника и И.Когана, у которых в правой части уравнений, описывающих закон сохранения энергии, была только одна сумма произведений скалярных величин. В.Эткин выделяет **две механические формы движения (прямолинейную и вращательную), сосредотачивая все остальные формы движения в первой сумме уравнения (6)**. Уравнения (3) и (6) детализируют уровень обобщения физических величин, содержащийся в уравнении (1).

При рассмотрении постоянно протекающих процессов В.Эткин дифференцирует уравнение (5) по времени, приходя к обобщенному уравнению для определения мощности:

$$dE/dt \equiv \sum_i \Psi_i (d\theta_i/dt) - \sum_i F_i dv_i - \sum_i M_i d\omega_i. \quad (7)$$

Из этого уравнения, по мнению В.Эткина, следует, что для **изолированной или замкнутой системы, у которой энергия остается неизменной и, следовательно, $dE/dt \equiv 0$, непосредственно вытекают законы сохранения импульса и момента импульса системы**. Естественно, при условии $\sum_i \Psi_i (d\theta_i/dt) = 0$.

В.Эткин (2006) считает, что уравнение (4) следует считать аналитическим выражением второго закона Ньютона, вследствие чего он предлагает обобщенную формулировку этого закона в виде “*движущая сила какого-либо процесса равна производной от энергии системы по координате этого процесса*“, тем самым подтверждая физическое содержание основного постулата "Общей теории" А.Вейника (1968).

Уравнения (6) и (7) удобны для анализа закономерностей во всех разделах физики, что и показывает В.Эткин в своей обобщающей монографии 2008 г..

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Коган И.Ш., 2004, Пора устранить непоследовательность в описании физических величин, характеризующих вращательное движение. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7528.html>.
3. Коган И.Ш., 2012, Энергия как основная физическая величина. – “Законодательная и прикладная метрология, 1, с.с. 48-53.
4. Эткин В.А., 1992, Основы энергодинамики. – Тольятти, ТПИ.
5. Эткин В.А., 2005, Альтернатива “Великому объединению“. – http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/oputjahvelikogoobiedinenija.shtml
6. Эткин В.А., 2006, Коррекция механики с позиций энергодинамики. – http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/korrecziamechanikispoziziyenergodinamiki.shtml
7. Эткин В.А., 2008, Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). – СПб.: Наука, 409 с.

3.7. Система физических величин и закономерностей А.Чуева

Особенности системы величин А.Чуева

Одним из первых сторонников идеи систематизации физических величин стал А.Чуев (1999). Он при этом использовал LT-систему размерностей Р.ди Бартини (1966, 1978), но при этом продемонстрировал, что принцип использования его системы не меняется и при использовании обычной MLT-системы размерностей, используемой в СИ. В отличие от LT-системы Р. ди Бартини А.Чуев присвоил электрическому заряду иную размерность, нежели массе. И хотя А.Чуев предложил свою систему физических величин назвать “естественной кинематической системой размерностей“ (ЕКСП), в случае применения MLT-системы размерностей система величин А.Чуева становилась динамической системой.

В своих последующих работах А.Чуев (2003, 2004) утверждает, что существует возможность “*постижения системности во взаимосвязях физических величин, исходя из их размерностей, характеристик и обнаруженных закономерных соотношений этих величин*”. Таким образом, размерностям физических величин А.Чуев приписывает системообразующие качества, поэтому ЕКСП и названа им системой

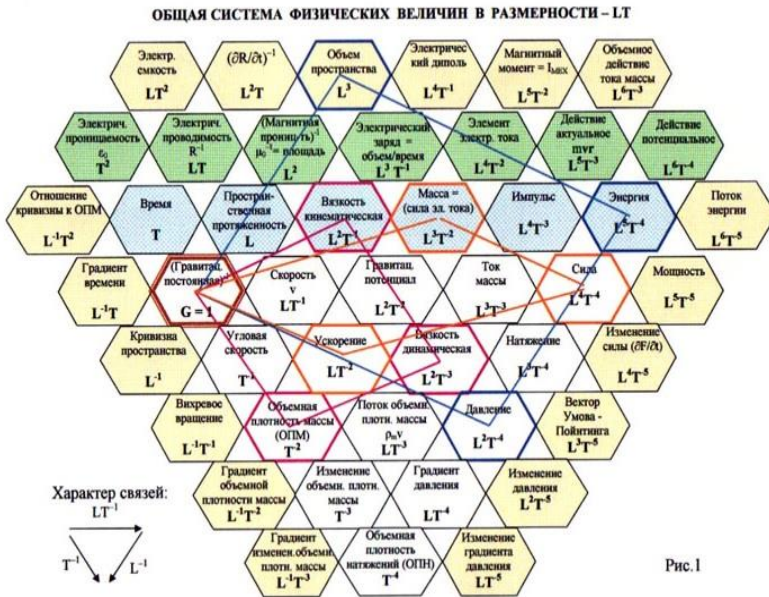
размерностей, а не системой величин. Но фактически это система величин, и размерности в ней играют, как им и положено, второстепенную роль.

А.Чуев пишет, что *”размерность и единица электрического заряда должны быть выбраны так, чтобы свои размерности и определенные значения имели бы и диэлектрическая и магнитная проницаемость вакуума”*. Тем самым размерность заряда электрического поля становится зависимой от размерных коэффициентов, какими являются электрическая и магнитная постоянные в СИ. Не ограничиваясь этим, А.Чуев вводит понятие *”константная физическая величина”*. Однако согласно метрологическому определению физическая величина *”...в количественном отношении индивидуальна для каждого объекта”*. Физические константы не укладываются в это определение, поскольку они одинаковы для всех объектов. Поэтому введенный А.Чуевым термин *”константная физическая величина”* должен быть поставлен под сомнение.

А.Чуев пишет о том, что в ЕКСР выполняется одно из основных системных свойств (*”месторасположение элементов определяет их свойства”*) и в качестве примера приводит Периодическую систему элементов Д.Менделеева. Но в Периодической системе месторасположение химических элементов и конфигурацию самой системы определили свойства химических элементов, известных на момент создания системы, а уж потом месторасположение отсутствовавших на тот период элементов подсказало их свойства. Да и история развития Периодической системы в XX веке показала, что месторасположение ряда химических элементов менялось по мере того, как появлялась новая научная информация.

Особенности расположения физических величин в системе А.Чуева

В своих первых работах А.Чуев (1999, 2003) представляет систему ЕКСР в виде геометрической схемы в форме трапеции, состоящей из ячеек. В ячейки вписаны физические величины, в том числе, и физические константы.



Конфигурация геометрической схемы у А.Чуева меняется от статьи к статье, но неизменным остается ключ ко всем этим схемам. Он заключается в том, что размерность физической величины в каждой ячейке может быть получена тремя способами, показанными на рисунке:

- а) в результате умножения на размерность скорости той величины, которая находится в соседней ячейке слева;
- б) в результате деления на размерность времени той физической величины, которая находится выше слева;
- в) в результате деления на размерность длины размерности той величины, которая находится выше справа.

Для получившихся таким образом размерностей А.Чуевым подобраны соответствующие этим размерностям физические величины и константы. В результате в некоторых ячейках появились величины, редко применяемые или введенные заново, тогда как ряд популярных величин на схеме отсутствует. В дальнейшем, в работе (2007) системой становятся охвачены многие физические величины. При смене системы размерностей с LT на ML, MT или MLT изменяются лишь размерности величин в ячейках, но не их физическое содержание.

Поскольку А.Чуевым делаются важные выводы относительно соотношений физических величин, находящихся в ячейках, то из этого следует, что эти соотношения не зависят от выбранной системы размерностей. По мнению А.Чуева, ЛТ-система оказалась предпочтительнее, так как обладает «*наибольшей наглядностью*». Тем не менее, А.Чуев (1999) использовал все упомянутые системы размерностей, чтобы «*как бы с трех различных сторон осветить и выявить сущность электромагнитных явлений*».

Размерности массы и электрического заряда в системе величин А.Чуева

Как и у Р. ди Бартини (1966), размерность массы в системе ЕКСР равна L^3T^{-2} . А.Чуев не указывает, о какой массе идет речь, но по расположению ячейки массы относительно ячейки гравитационного потенциала можно сделать вывод о том, что речь идет о гравитационной массе. А.Чуев приравнивает два закона И.Ньютона (закон динамики, в котором присутствует инертная масса m_1 , и закон всемирного тяготения с гравитационными массами m_1 и m_2):

$$m_1 a = m_1 m_2 / r^2. (1)$$

Судя по уравнению (1), А.Чуев придерживается принципа эквивалентности масс. Сокращая массу m_1 , А.Чуев приходит к выводу о том, что размерность гравитационной массы m_2 равна

$$\dim m = L^3 T^{-2}, (2)$$

что соответствует размерности массы в системе Р. ди Бартини (1966). В дальнейшем в работах А.Чуева (1999, 2004) говорится о неполном тождестве инертной и гравитационной масс, но правомочность равенства (2) под сомнение не ставится. А.Чуев (1999) измеряет инертную массу в кг, а гравитационную массу в m^3/c^2 .

С целью присоединения к механическим величинам электромагнитных величин А.Чуев на основании анализа нескольких систем размерностей, исходя из принципа квантуемости физических величин, выбрал такую систему, в которой электрическому заряду приписывается размерность

$$\dim e = L^3 T^{-1}. (3)$$

Этой размерности соответствует единица кг/с. А.Чуев (2003) считает, что основанием для выбора размерности L^3T^{-1} для электрического заряда является то обстоятельство, что при этом “*достигается выявление физической сущности массы и ... обнаруживается отражение ЕКСП большинства существующих природных закономерностей...*”.

В работе А.Чуева (2004) замечен возврат к MLT-системе размерностей и уже нет упоминания об ЕКСП. Но многие выводы из работы (1999), тем не менее, остаются в силе, и речь по-прежнему идет о системах размерностей, а не о системах физических величин. В работе (2004) отмечается, что в ячейках с одной и той же размерностью иногда расположены несколько разных по природе физических величин.

Новые величины, введенные в систему величин А.Чуева

А.Чуев утверждает, что предложенная им **система расположения физических величин предсказывает существование новых неизвестных закономерностей**. К их числу он относит “*внепространственные силовые взаимодействия*” (термин, введенный А.Чуевым), не поясняя, каким образом силовые взаимодействия могут происходить вне пространства. Он оперирует соотношениями размерностей, На основании этого **им делается вывод о том, что геометризация расположения физических величин в соответствии с их размерностями отражает закономерности природы**. Связь между ячейками в виде отрезков или в виде правильных геометрических фигур должна, по его мнению, отражать закономерности природы. Эта идея развита им позднее в работе (2007).

В свою систему А.Чуев вводит новые физические величины, в частности, квантуемую величину – **действие потенциальное**. Оно отличается от физической величины “действие”, квантом которого является постоянная Планка, эта величина названа А.Чуевым **действием актуальным**. В СИ единица измерений действия потенциального равна Дж·м, тогда как единица действия актуального равна Дж·с.

В систему величин А.Чуева введен "токовый элемент"

В работе А.Чуева (1999) наряду с хорошо известной в электродинамике величиной «движущийся заряд» (qv) введена равная ей по размерности

новая величина «токовый элемент» (il), где q – электрический заряд тела, v – линейная скорость заряженного тела, i – электрический ток (прямой ток), l – длина проводника. Обе величины представлены в скалярном виде. Но не указано, что эти две величины имеют различное физическое содержание: в случае с движущимся зарядом (qv) заряд q движется вместе с заряженным телом, а в случае с токовым элементом (il) поток зарядов i движется в неподвижном проводнике.

При систематизации физических величин применение «токового элемента» оказалось весьма полезным нововведением. На странице, посвященной классификации зарядов, «токовый элемент» представлен в векторном виде ($i\mathbf{l}$), подобно движущемуся заряду ($q\mathbf{v}$), и назван **токовым зарядом**. При этом токовый заряд, как и движущийся заряд, считаются самостоятельными и не делимыми на множители величинами типа количества движения ($m\mathbf{v}$) в механике. Применение новой величины «токовый заряд» позволило в статье И.Когана, посвященной магнитному заряду, реабилитировать это понятие, а в статье, посвященной диполям, провести классификацию диполей и дипольных моментов.

Система величин А.Чуева как система закономерностей физических полей

Анализ соотношений между физическими величинами и физическими константами привел А.Чуева (1999, 2003) к ряду выводов, позволяющих систематизировать силовые взаимодействия в физических полях. Составленная им и приведенная ниже в виде таблицы классификация силовых взаимодействий послужила основой для классификации форм физического поля. В разделе настоящей работы, посвященном классификации форм физического поля приведена несколько иная терминология.

Таблица 4 Описание силовых взаимодействий в ЕСКР

№ п/п	Взаимодействующие физические величины		Размерность взаимодействующих величин	Наименование взаимодействия	Уравнения связи
	по заряду	по току			
	Однородные величины				
1	q	$I t$	l_0^3/t_0	Электростатическое	$F_k = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{4\pi r^2} = \frac{1}{\epsilon_0} (I t)_1 (I t)_2$
2	$q v$	$I l$	l_0^4/t_0^2	Электромагнитное (токовых элементов), оно же, судя по всему, сильное взаимодействие в микромире	$F_s = \mu_0 \frac{(qv)_1 (qv)_2}{4\pi r^2} = \mu_0 \frac{(I l)_1 (I l)_2}{4\pi r l}$
3	q / t	I	l_0^3/t_0^2	Гравитационное, оно же токовое	$F_{II} = \frac{I_1 I_2}{4\pi r^2}$
4	$q a$	$I v$	l_0^4/t_0^3	Предположительно: релятивистская составляющая гравитационного взаимодействия и слабое - в микромире	$dF = \frac{1}{C^2} \frac{(Iv)_1 (Iv)_2}{4\pi r^2} = \frac{1}{C^2} \frac{I_1 I_2 v_{оп}^2}{4\pi r^2}$
	Смешанные величины				
5	q, a и q	I, v и I, t	l_0^4/t_0^3 и l_0^3/t_0	Электромагнитное радиационное	$F = \mu_0 \frac{q_1 a q_2}{2\pi r}$ *)
6	q, v и $q, /t$	$d(I l)_i$ и I_s	l_0^4/t_0^2 и l_0^3/t_0^2	Электромагнитное индукционное	$dF = \mu_0 \frac{d(I l)_i I_s}{2\pi r}$ *)

*) - предполагаемые соотношения

Нельзя не заметить, что вся содержательная часть этой таблицы не изменилась бы, если бы в колонке размерностей стояли размерности из любой другой системы размерностей (не из ЛТ-системы) или если бы этой колонки в таблице вообще не было.

Система величин А.Чуева в компьютерном варианте.

В 2006-2007 г.г. появилось электронное учебное пособие в виде расширенной системы физических величин (А.Чуев, А.Легейда, 2007), которой система величин именуется СФВ. В дальнейшем это название изменилось на ФВиЗ (Система физических величин и закономерностей). Количество охваченных систематизацией физических величин существенно увеличено за счет включения в систему, кроме механических и электромагнитных величин, еще

величин из двух других разделов физики (теплота и квантовая механика). При этом все разделы физики представлены не одной, а четырьмя разными схемами с использованием нескольких системных уровней, с различной окраской ячеек. **В 2007 г. А.Чуев публикует в Интернете текстовую часть этого учебного пособия, поясняющую систему и дающую возможность пользователю более подробно разобраться с основными принципами построения и использования системы ФВиЗ.**

Для присоединения к ФВиЗ тепловой формы движения А.Чуев провел анализ вариантов представления размерности термодинамической температуры и на основании этого анализа предложил для термодинамической температуры новую размерность $\dim \Theta = T^{-1}$. Это предложение проанализировано в разделе, посвященном тепловой форме движения.

В новых схемах А.Чуева (2007) присутствует иная закономерность расположения физических величин, чем та, которая была присуща схемам в его предыдущих работах. В статье А.Чуева (2007) систематизируются не столько физические величины, сколько физические закономерности. При этом **важным достоинством электронной учебной программы является то, что с ее помощью появляется возможность легко выводить физические закономерности в виде взаимосвязи физических величин, выбранных для этой цели априорно. Это придает работе А.Чуева и А.Легайды (2007) характер не только обучающего пособия, но и прогнозатора при научных исследованиях.**

Вот как характеризует свою систему ее автор: *«Система ФВиЗ представляет собой многоуровневую (многослойную) размерностную конструкцию из физических величин (ФВ) – элементов системы. Каркас системы образуют упорядоченно расположенные ЛТ-размерностные системные элементы, в которых многоуровнево (многослойно) располагаются ФВ, представленные в размерностях привычной системы СИ. На каждом системном уровне размерностные связи между ФВ строго упорядочены». И еще: «Закономерные связи ФВ обнаруживаются в системе по правилу выделенного параллелограмма или выделенной линии (когда параллелограмм смотрится как бы сбоку). В системных связях, иллюстрирующих ту или иную природную закономерность, произведения (отношения) размерности элементов (ФВ) на противоположных (смежных) вершинах*

выделенного параллелограмма обязательно равны между собой. При этом дополнительные размерностные коэффициенты... взаимно уничтожаются, что хорошо помогает в поиске новых групп закономерностей».

Приведенные А.Чуевым многочисленные примеры анализа физических закономерностей с помощью его системы ФВиЗ убеждают в том, что предлагаемый им анализ закономерностей в процессе проверки правильности записи этих закономерностей имеет такую же эффективность, как анализ размерностей в процессе проверки справедливости самих закономерностей. Но он значительно сложнее анализа размерностей.

Причина сложности бумажного представления системы величин А.Чуева.

Как указывает А.Чуев, «ФВ и их закономерных системных связей множество, поэтому их невозможно все показать на одном рисунке, для этого обычно используют отдельные изображения с ограниченным количеством ФВ и закономерностей». Для этой цели и создан А.Чуевым и А.Легайдой (2007) электронный вариант системы ФВиЗ, в котором указанного им недостатка нет, хотя описание этого варианта достаточно сложное.

Рассмотрим проблему изображения таблиц и схем ЛТ-системы величин на бумажном листе с другой точки зрения. ЛТ-система может быть отображена на бумажном листе постольку, поскольку она представлена в ортогональной двухразмерностной системе координат. Поэтому А.Чуев (1999) допускает возможность построения системы физических величин также и в МТ-системе, и в МЛ-системе. Но, по его мнению, ЛТ-система оказалась предпочтительнее, так как обладает «*наибольшей наглядностью*». А.Чуев использовал все три упомянутые двухразмерностные системы, чтобы, как он выразился, «*как бы с трех различных сторон осветить и выявить сущность электромагнитных явлений*».

Однако стоит только вернуться к реально существующим в метрологии системам единиц и добавить в набор основных единиц ЛТ-системы (метр и секунда) хотя бы еще одну единицу, как бумажное (то есть плоское) представление системы физических величин становится попросту невозможным. Видимо, это и есть причина, побудившая А.Чуева создать электронный вариант системы ФВиЗ с ее

многоуровневостью (многослойностью). А.Чуев пишет, например: «*Возможная аналогия – адекватное отображение трехмерной пространственной конструкции на трех отображающих двумерных плоскостях*». Чтобы обойти различные метрологические затруднения, А.Чуев использует в своих схемах два размерных коэффициента и их различные сочетания.

Сам факт создания А.Чуевым через 7 лет после первой публикации 1999 г. электронного варианта системы ФВиЗ свидетельствует о справедливости высказанного нами предположения о невозможности полноценного бумажного представления системы ФВиЗ. Об этом же косвенно свидетельствует наличие в системе ФВиЗ **правила выделенной линии**, применяемого вместо **правила выделенного параллелограмма** «(когда параллелограмм смотрится как бы сбоку)». Слова «*как бы сбоку*» как раз и говорят о нехватке еще одной оси координат, перпендикулярной листу бумаги.

Литература

1. ди Бартини, Роберт Орос, 1965, Некоторые соотношения между физическими константами. – Доклады АН СССР, т. 163, № 4.
2. ди Бартини, Роберт Орос, 1966, Соотношение между физическими величинами. Сб. “Проблемы теории гравитации и элементарных частиц.”, вып. 1, М.:Атомиздат.
2. ди Бартини Р. О., Кузнецов П. Г., 1978, О множественности геометрий и множественности физик. – Свердловск, Уральский научный центр АН СССР, Сб.: “Проблемы и особенности современной научной методологии”, с. 55-65, см. также <http://pobisk-memory.narod.ru>
3. Чуев А.С., 1999, Физическая картина мира в размерности “длина-время”. Серия ”Информатизация России на пороге XXI века”. – М., СИНТЕГ, 96 с., а также Естественная кинематическая система размерностей. <http://www.chuev.narod.ru/> .
4. Чуев А.С., 2003, О существующих и теоретически возможных силовых законах, обнаруживаемых в системе физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5811.html>
5. Чуев А.С., 2004, О многоуровневой системе физических величин, выражающей законы природы, в частности, структуру и взаимосвязи электромагнитных величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7335.html>
6. Чуев А.С., 2007, Система физических величин. Текстовая часть электронного учебного пособия. <http://www.chuev.narod.ru/>

4. Чуев А.С., Легейда А.С. Система физических величин в электронном исполнении. // Необратимые процессы в природе и технике: Труды Четвертой Всероссийской конференции 29-31 января 2007 г.- М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, ФИАН. 2007. Часть II - с.626. – см. также <http://www.chuev.narod.ru>.
5. Чуев А.С., 2007, Система физических величин. Текстовая часть электронного учебного пособия. <http://www.chuev.narod.ru/>

3.8. Система физических величин Д.Ермолаева

Подтверждение основных идей А.Вейника и И.Когана

“Обобщенные законы физики или физика для начинающих“, так была названа появившаяся в 2003 г. в Интернете статья Д.Ермолаева. Ее автор заголовком “начинающим“ нацелил свою статью на студентов, подчеркивая ее педагогическое и методическое значение. Но необычные терминология и символика этой статьи вряд ли смогли бы привлечь традиционно воспитанных педагогов-физиков. Впрочем, в 2004 г. появляется новая статья Д.Ермолаева, в которой уже нет упоминания о “начинающих“. И это справедливо, так как содержание обеих статей затрагивает достаточно серьезные проблемы, вряд ли доступные для начинающих. Как выяснилось, Д.Ермолаев на период написания своих статей 2003 и 2004 г.г. не был знаком с работами его предшественников, тем ценнее тот факт, что он пришел к выводам, практически совпадающим с выводами его предшественников.

Как и его прешественники, Д.Ермолаев систематизирует физические величины и поэтому вводит **обобщенные физические величины**. Но, к сожалению, он приводит для важных обобщенных величин по 3-4 разных названия и символа, как бы предоставляя читателю возможность самому выбрать то, что ему больше понравится.

Например, первая производная по времени от заряда имеет три названия: действие энергии, скорость перетока энергозаряда и энерготок. Другой пример: одним и тем же символом ϕ обозначается то напряжение, то потенциал, то работа. Количество энергии имеет одновременно два обозначения: E и ΔE , хотя содержание при этом различно. Электрический ток, ёмкость и индуктивность оказались в одной колонке, названной автором “Электрофизика“ (по-видимому, имеется в виду “Электродинамика“), и одновременно с этим они оказались в колонке “Электростатика“, хотя электрический ток в электростатике не изучают.

В ячейки таблиц своей системы Д.Ермолаев наряду с определяющими уравнениями помещает также пояснения к ним и свои научные прогнозы, что затрудняет освоение таблиц, так как таблицы лишаются необходимой краткости и наглядности. Начинающих изучать физику все это может только запутать, а специалисту приходится осваиваться в непривычной символике и терминологии. В то время как в системах физических величин его предшественников единицы измерений приводились лишь в качестве иллюстраций, Д.Ермолаев отводит единицам более важную не свойственную им роль.

Если же абстрагироваться от вышесказанных замечаний, относящихся скорее к методике и стилю изложения, чем к содержанию, и сопоставить обобщенные физические величины, их определяющие уравнения и единицы измерений в системе физических величин Д.Ермолаева и в системе физических величин И.Когана, то можно констатировать почти полное совпадение в основополагающих идеях. В основу своей системы физических величин Д.Ермолаев закладывает такие величины, как энергия и заряд, а это – сердцевина всей идеи "Общей теории" А.Вейника (1968).

Новые идеи Д.Ермолаева относительно тепловой формы движения

Д.Ермолаев (2003), как ранее А.Вейник (1968) и И.Коган (1998), ввёл в тепловую форму движения понятие "теплозаряд", аналогичное "термическому заряду" и "тепловому заряду" в работах этих авторов, и указал на то, что единицы параметров тепловой формы движения следует корректировать. В статье 2004 г. Д.Ермолаев приводит убедительные аргументы, доказывающие, что значения теплоёмкости с единицей Дж/К² и теплового сопротивления с единицей К²/Вт, к которым приводит введение "теплозаряда", объективно отражают суть физических явлений. Тогда как применяемые сейчас в классической физике значения теплоёмкости с единицей Дж/К и теплового сопротивления с единицей К/Вт этой сути не отражают и приводят "к множеству дополнительных ненужных вычислений, формул, таблиц, поправочных коэффициентов и оговорок".

Д.Ермолаев (2004) приводит также доказательства того, что расчет термического КПД по абсолютным значениям термодинамической температуры вместо расчета КПД по разностям температур приводит к физическому абсурду, подтверждая этим вывод своих предшественников о необходимости рассматривать вместо

абсолютных значений основных физических величин их приращения. В работе Д.Ермолаева (2004) применительно к тепловой форме движения применяются законы неразрывности Кирхгофа.

“Штучный подход“ Д.Ермолаева к систематизации физических величин

В 2008 г. появляется статья Д.Ермолаева, в которой он уже ссылается на работы своих прешествеников. В этой статье он детально анализирует понятие о тепловом заряде, расширяет идею А.Вейника (1968) **о квантовом характере процесса переноса теплоты, вводит новое понятие “тепловая частица“ и приводит дополнительные убедительные доказательства того, что тепловой заряд нельзя идентифицировать с термодинамической энтропией.** Более того, Д.Ермолаев, как ранее А.Вейник и И.Коган, считает, что **термодинамическую энтропию в тепловой форме движения надо обязательно заменить тепловым зарядом.**

Взамен предложения И.Когана (2006) рассматривать отдельно динамику проточных и непроточных систем, Д.Ермолаев вводит **новые понятия о передаваемой и накапливаемой энергиях.** Это предложение близко по содержанию к предложению И.Когана, так как накапливаемая энергия присуща непроточным системам, а передаваемая энергия присуща проточным системам. Однако сами эти термины не совсем корректны, так как **энергия не может ни накапливаться, ни передаваться.** Накапливаются и передаются **материальные носители энергии,** а энергия лишь характеризует интенсивность этих процессов.

Д.Ермолаев вводит и подробно анализирует “штучный подход“ к систематизации физических величин, приводящий его к тем же выводам, которые вытекают из дискуссии метрологов относительно необходимости введения в метрологию **единицы “штука“, как единицы числа структурных элементов однородной системы.** Подробно эта дискуссия описывается в разделе, посвященном **числу структурных элементов.**

Если не акцентировать внимание на оригинальной и непривычной терминологии и символике в статьях Д.Ермолаева, то его идеи и решения уже становится трудно отличить от аналогичных идей и решений А.Вейника (1968) и И.Когана (1998). Подобное совпадение научных идей и решений трех совершенно различных авторов,

работавших и работающих над одной и той же проблемой назависимо друг от друга, можно расценивать как важный аргумент в пользу справедливости их научных выводов.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшейшая школа, 464 с.
2. Ермолаев Д.С., 2003, Обобщенные законы физики или физика для начинающих. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4959.html>
3. Ермолаев Д.С., 2004, Обобщенные законы физики применительно к теплофизике. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7442.html>
4. Ермолаев Д.С., 2008, Тепловой заряд и обобщение теплофизики. // Актуальные проблемы современной науки, -М: «Компания Спутник+» №4(43), с.89
5. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. –“Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
6. Коган И.Ш., 2011, Число структурных элементов как основная физическая величина. – “Мир измерений”, 8, с.с. 46-50.

3.9. Системы электромагнитных величин Г.Трунова

В 2003 г. была опубликована работа Г.Трунова, предложившего Модернизированную систему электромагнитных единиц, названную им сокращенно СИ(М). В этой системе единиц Г.Трунов возвращается к системе единиц СГС, в которой в законе Кулона имелся безразмерный коэффициент пропорциональности $k_o = 1$. В СИ(М) тоже имеется такой коэффициент, но размерный, $k_o = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$. Зато в СИ(М), так же, как и в системе СГС, отсутствуют электрическая и магнитная постоянные, присутствующие в СИ. Как видим, все эти нововведения коснулись модернизации системы единиц измерений.

На следующий год Г.Трунов (2004b) предложил систему физических величин, назвав ее физической системой электромагнитных величин (сокращенно – СФ). В качестве основной физической величины Г.Трунов ввел вместо массы энергию с символом размерности W , а вместо силы электрического тока – электрический заряд с символом размерности Q . Этим он оправдывает свою цель: выбрать основные

величины так, чтобы можно было “увеличить число формул размерности производных электрических и магнитных величин, отражающих их физическую сущность”. Г.Трунов подчеркивает, что его система размерностей LWTQ является четырёхразмерной, имея в виду то, что она имеет четыре основные физические величины: длину, энергию, время и электрический заряд.

Основополагающая идея работы Г.Трунова (2004b) подобна идее работ А.Вейника (1968), И.Когана (1998) и Д.Ермолаева (2003), она заключается в том, что из комплекта основных величин исключается масса и вводится энергия. Только в отличие от работ И.Когана, где энергия обозначается символом W , а размерность энергии – символом E , у Г.Трунова для размерности энергии применен символ W .

Для определения размерности энергии Г.Трунов (2004b) использует формулу кинетической энергии в механической форме движения $W = mv^2/2$, а для определения размерности массы – похожую по физическому содержанию формулу, но в виде уравнения Эйнштейна $W = mc^2$. В итоге получается, что размерность энергии у Г.Трунова вначале определяется по размерности массы, а потом размерность массы определяется по размерности энергии. Что здесь причина и что следствие – неясно.

Не указывает также Г.Трунов на то, какую массу он имеет в виду: инертную или гравитационную, но, судя по приведенным уравнениям, речь идет об инертной массе. В то же время в предыдущей своей работе (2004a) Г.Трунов доказывает, что понятие "инертная масса" следует исключить из физики. И.Коган придерживается мнения, что это понятие следует не исключить из физики, а заменить его понятием "линейная инертность" (инертность тела при прямолинейном движении), которое вытекает из обобщенного второго закона Ньютона.

Система величин СФ Г.Трунова (2004b) ограничена лишь электромагнитными величинами, и в ней отсутствуют обобщенные физические величины. Размерности некоторых физических величин в системе СФ совпадают с размерностями этих же величин в системе ЭСВП И.Когана (1998) в электрической и в магнитной формах движения. Но в СФ количество электрических и магнитных величин больше, чем в соответствующих таблицах ЭСВП.

К сожалению, в таблице формул размерностей СФ отсутствует логически оправданная последовательность расположения физических

величин, характерная для таблиц в работах И.Когана и Д.Ермолаева. Возможно поэтому для определения размерностей производных величин Г.Трунов использует произвольно приведенные определяющие уравнения. Например, размерность силы Г.Трунов определяет с помощью градиента энергии, имея в виду энергию электромагнитного поля, тогда как в других энергодинамических системах величин разность сил является частным случаем обобщенной разности потенциалов.

В систему СФ Г.Трунов вводит в качестве основной физической величины электрический заряд с символом размерности Q взамен электрического тока в СИ с размерностью I . Соответственно, меняются размерности всех физических величин электростатического поля. Определяющие уравнения при этом, естественно, остаются прежними.

Но когда Г.Трунов переходит к размерностям физических величин магнитного поля, то размерность магнитной индукции B он приравнивает к размерности напряженности электрического поля E . Это приводит к существенному расхождению с размерностями величин магнитного поля в СИ.

На взгляд И.Когана, это неверно, так как источником магнитного поля является не электрический заряд с размерностью Q , а движущийся электрический заряд с размерностью $LT^{-1}Q$. Подстановка в формулы размерности физических величин магнитного поля в системе СФ размерности $LT^{-1}Q$ для заряда поля вместо размерности Q позволяет это исправить.

В работе Г.Трунова (2006b) хорошо описана история развития систем единиц и особенно тщательно на основании многих первоисточников проанализированы различные предложения физиков XX века исключить из систем единиц так называемые электрическую и магнитную постоянные. В результате этого анализа Г.Трунов делает вывод о том, что для соблюдения принципа инвариантности формы записи уравнений электромагнетизма в различных системах единиц необходимо, чтобы значение размерного коэффициента в законе Кулона k_0 было бы равно $9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$, а значение размерного коэффициента в законе Ампера (k_0 / c^2) было бы равно $1 \cdot 10^{-7} \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{Кл}^2$. Основываясь на этих значениях размерных коэффициентов Г.Трунов предлагает новую Теоретическую систему электромагнитных единиц СТ, повторяющую все главные особенности его системы СФ.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Ермолаев Д.С., 2003, Обобщенные законы физики или физика для начинающих. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4959.html>
3. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, **5**, с.с. 30-43.
4. Трунов Г.М., 2003, Коррекция электромагнитных единиц СИ. – “Законодательная и прикладная метрология”, **6**.
5. Трунов Г.М., 2004а, К вопросу о равенстве инертной и гравитационной масс макроскопического тела. – “Законодательная и прикладная метрология”, **2**.
6. Трунов Г.М., 2004б, О физическом смысле формул размерностей электрических и магнитных величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, **6**.
7. Трунов Г.М., 2006, Уравнения электромагнетизма и системы единиц электрических и магнитных величин. – Пермь, ПГТУ, 130 с.

3.10. Введение Г.С.Голицыным энергии как основной величины

В чем состоит суть предложения акад. Г.С.Голицына

В 2008 году была опубликована статья акад. Г.С.Голицына с такой аннотацией: ***“Для быстрого и удобного решения ряда задач физики, механики, геофизики, теории подобия и размерности предлагается вместо системы единиц, включающей единицы массы, длины и времени, использовать систему с единицами энергии, длины и времени”***. Это предложение совпадает с предложениями целого ряда авторов. Если бы статья с подобным предложением была бы послана в такой авторитетный журнал, как УФН, менее известным автором, она бы наверняка была бы отклонена редакцией журнала. Но такому видному физическому, как академик Г.С.Голицын, неудобно отказывать.

Известно, что **в ряде случаев удается выводить физические закономерности не из опыта, а посредством анализа размерностей физических величин, от которых зависит то или иное физическое явление.** В настоящее время размерности основных величин берутся в соответствии с существующей системой единиц измерений. Сегодня это СИ, в которой главными основными физическими величинами являются масса, длина и время (не считая других условно введенных

основных величин). Поэтому СИ можно назвать MLT-системой размерностей. Суть предложения Г.С.Голицына заключается в том, чтобы массу в качестве основной физической величины заменить энергией с символом E , что приводит к ELT-системе размерностей. Это как раз соответствует предложенной И.Коганрм ELACT-системе размерностей.

Г.С.Голицын приводит 8 примеров использования предложенной им ELT-системы размерностей при выводе физических закономерностей, среди которых такие важные, как выражение для константы в законе Стефана-Больцмана, уравнение состояния идеального газа и формула для расчета изотермической скорости звука. Все 8 примеров наглядно иллюстрируют преимущества ELT-системы размерностей при использовании анализа размерностей перед MLT-системой размерностей в СИ.

Правда, при этом Г.С.Голицын нарушает несколько принятых в современной метрологии второстепенных правил. Так, например, он называет свою систему размерностей TEL-системой, произвольно изменяя стандартную последовательность перечисления символов размерностей. Размерность термодинамической температуры Θ он произвольно заменяет на размерность энергии E . В принципе, это мелочи, но пока в СИ такая замена не разрешается.

В чем состоит ограниченность предложения Г.С.Голицына

Г.С.Голицын подчеркивает, что его предложение является сугубо методическим усовершенствованием анализа размерностей, увеличивающее доступность изложения учебного материала по физике за счет его упрощения. А ведь это только небольшая часть проблемы.

Значительно важнее не просто замена массы энергией при анализе размерностей, а сам факт признания энергии основной физической величиной в процессе систематизации физических величин. А замена массы энергией уже вытекает из такого признания в качестве одного из следствий. К тому же, набор естественных основных величин состоит из 5, а не из 3 величин. Очень важно подчеркнуть кардинальное различие между системами единиц и системами величин, о чем Г.С.Голицын не упоминает, он говорит только о системах единиц.

В.И.Рахман (2009), анализируя статью Г.С.Голицына, отмечает, что ценным является вывод о том, что в TEL-системе размерностей “нет

проблемы эквивалентности инертной и тяготеющей масс“. Эта давно дискутируемая тема подробно проанализирована в разделе, посвященном проблеме принципа эквивалентности.

Недостатком статьи Г.С.Голицына является отсутствие всякого упоминания о теории А.Вейника, первым еще в 60-ые годы XX века указавшим на значение энергии в процессе систематизации физических величин. Трудно поверить в то, что такой выдающийся ученый, как академик Г.С.Голицын, ничего не знает о трудах А.Вейника. О трудах других авторов в этом направлении можно и не знать академику.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Голицын Г.С., 2008, Наглядность для ряда задач выбора энергии в качестве единицы измерения вместо массы. - УФН, т.178, № 7, с.с. 753-755.
3. Коган И.Ш., 2012, Энергия как основная физическая величина. – “Законодательная и прикладная метрология, 1, с.с. 48-53.
4. Коган И.Ш., 2012, Системы величин не должны зависеть от систем единиц. – “Мир измерений”, 7, с.с. 46-50.
5. Рахман В.И., 2009, Эвристическая ценность системы единиц TEL.
http://img0.liveinternet.ru/images/attach/c/0/3712/3712446_Ne_toko_naglyadnost__.doc

3.11. Системы физических величин - тенденции развития

1. Основные тенденции при создании систем физических величин.

В области обобщения и систематизации физических величин наблюдается несколько тенденций, их развитие идет параллельными и не всегда соприкасающимися курсами:

- **использование теории физических аналогий** (работы Г.Ольсона, П.Бридфельда, В.Костышина, К.Гольберта, П.Пирната),
- **использование энергодинамического принципа**, требующего признания энергии основной физической величиной (работы И.Когана и Д.Ермолаева),
- **требование включения угловой величины в состав набора основных величин** (работы В.Эдера, А.Торренса, И.Когана, П.Бридфельда, В.Костышина, К.Гольберта, П.Пирната),
- **геометризация систем физических величин** в рамках ЛТ-системы размерностей (работы Р.ди Бартини, Г.Смирнова, В.Новицкого, В.Ерохина).
- **использование графических средств и компьютерной техники** для иллюстрирования систем физических величин (работы Н.Плотникова, А.Чуева).

Проанализируем тенденции развития этих направлений.

2. Что приоритетнее: теория физических аналогий или энергодинамика?

Использование физических аналогий базируется на определяющем уравнении для мощности $P = UI$ в электродинамике, которое не является первичным. При использовании этого уравнения ошибочно предполагается, что возможны два подхода при рассмотрении электромеханических аналогий: аналогия “сила-напряжение” и аналогия “сила-ток”. Однако в работе Н.Хогана и П.Бридфельда (1999) приводится 6 весомых аргументов в пользу того, что **правильной физической аналогией является аналогия “масса-индуктивность”, вытекающая из аналогии “сила-напряжение”, а не аналогия “масса-ёмкость”, вытекающая из аналогии “сила-ток”**. Правда, ни один из этих 6 аргументов не сопровождается доказательством.

Но на базе уравнения $P = UI$ это и не удастся доказать, потому что первичным определяющим уравнением для мощности является уравнение $P = dE/dt$, поскольку основной физической величиной должна быть энергия E . Именно на этой базе построена теория

А.Вейника (1968), системы физических величин И.Когана (2006) и Д.Ермолаева (2004).

Теория физических аналогий близка к энергодинамике, но отличается от нее тем, что в ней присутствует, скорее, стремление к поиску аналогий в записи уравнений связи, нежели поиск уравнений, обобщающих разные физические явления, поиск единства физических закономерностей. Не случайно монография В.Эткина (2008), развивающая теорию А.Вейника, удостоена медали Лейбница Европейской академии естественных наук

3. Иллюзорность геометризации систем величин в рамках LT-системы размерностей.

При использовании LT-системы размерностей систематизация физических величин осуществляется только на основании сравнения их размерностей в этой системе. Систематизация реализуется с помощью таблиц с ячейками, в каждую из которых помещается та величина, размерность которой соответствует LT-размерности этой ячейки. Даже если таких величин в ячейке оказывается много. По этому поводу полезно процитировать мнение О.Зайцева (2001): *“Возникновение оригинальных интерпретаций очень часто оказывается результатом грубой проекции математического формализма на физическую почву”*. Оправдывается в каком-то смысле и фраза В.И.Ленина: *“Материя исчезла, остались одни уравнения”* (в данном случае - таблицы).

Стремление заменить систематизацию физических величин систематизацией их размерностей или, того хуже, единиц является, на наш взгляд, наиболее тревожной тенденцией сторонников LT-системы размерностей, так как **размерности не отражают физическое содержание величин**. И.Коган считает, что **систематизация физических величин должна быть следствием систематизации физических закономерностей, а размерности и единицы могут лишь иллюстрировать систематизацию физических величин, а не быть ее основой**.

4. Графические и табличные способы представления систем физических величин.

Графическая и табличная формы играют большое значение с точки зрения легкости ее восприятия, усвоения, запоминания и, как следствие, использования. Именно это имели и имеют в виду такие авторы, как Г.Ольсон, Р. ди Бартини, Н.Плотников, И.Коган, А.Чуев. Все упомянутые дидактические признаки относятся к методике преподавания и разъяснения, что очень важно.

Р. ди Бартини, автор LT-системы размерностей, в основе которой лежит лишь математическое обоснование, придавал табличной форме представления своей системы превалирующее значение. Н.Плотников (1978) и А.Чуев (2007, 2010), создавая свои системы физических закономерностей, графически показали аналогию уравнений связи между различными физическими величинами в различных разделах физики, подтверждая тем самым единство Природы и существование обобщенной физической системы. Поэтому их системы величин носят ярко выраженное прогностическое начало, особенно электронное учебное пособие А.Чуева (2010).

Но некоторые авторы, например, В.Васильев (2004), посвятили свои работы совершенствованию форм графического представления, доводя это совершенствование до отсутствия физического смысла. В работе В.Васильева системное расположение физических величин увязывается с идеей Творца. Иногда о Творце не говорят, а говорят более обтекаемо: о результатах разумного моделирования. Комментировать подобные идеи, пожалуй, не стоит.

5. Работы по созданию систем физических величин игнорируются физическими журналами.

Продолжает существовать одна общая тревожная тенденция. Дело в том, что работы ученых в области обобщения и систематизации физических величин начинают приводить их к выводам, не укладывающимся в рамки представлений, принятых в современной физике. Но, поскольку в редакциях академических журналов ведущую роль играют представители традиционных взглядов, то нетрадиционные веяния в области систематизации в физике не рассматриваются и не обсуждаются на страницах академических физических журналов.

Работы энтузиастов систематизации физических величин публикуются небольшими тиражами в периферийных издательствах либо за счет авторов, либо в виде статей в малоизвестных сборниках, до массового

читателя они не доходят. Примером этого является интересная работа Н.Плотникова (1978). Не случайно в работах новаторов, предлагающих системы величин, практически нет ссылок друг на друга. Установление приоритетности того или другого новшества в этом научном направлении было лишено смысла. Каждый автор предлагал свою систему величин, не будучи знакомым с работами своих предшественников.

В конце XX века Интернет произвел революционный переворот в области взаимной осведомленности, особенно важную роль сыграло развитие поисковых систем. Идеи малоизвестных или практически неизвестных авторов становятся известными для тех, кто хочет с ними познакомиться. И теперь незнание работ единомышленников не всегда может быть оправдано.

6. Возможные причины отставания в решении проблемы создания систем физических величин.

Отсутствие на сегодняшний день общепринятой системы физических величин имеет, на наш взгляд, исторические причины. Мышление людей отражает, в первую очередь, то, что они воспринимают через свои органы чувств, через созданные ими же теории и измерительные приборы. В некоторых научных работах даже существует ссылка на "здоровый смысл", к которой следует относиться с большим подозрением, потому что за ней подчас скрывается указание на необходимость следовать мнению большинства. Именно "здоровый смысл" породил когда-то геоцентризм, люди тысячелетиями утверждали, что Солнце вращается вокруг Земли, потому что это было очевидно.

На основе впечатлений от органов чувств человека развивалась и классическая физика. Между физическими величинами в результате подобного развития устанавливались иногда такие взаимосвязи, которые не соответствовали истинному положению вещей, и, прежде всего, принципу причинности. Подчас не основные, а производные физические величины оказывались более наглядными и понятными или более точно измеряемыми, они и ложились в основу систем единиц измерений. Подобная судьба оказалась у такой физической величины, как электрический ток, которая и до сих пор является основной физической величиной в СИ.

Открытие магнитного поля раньше электрического поля до сих пор

мешает установить естественную очередность составления определяющих уравнений в электродинамике, несмотря на наличие уравнений Д.Максвелла. Физики признают путаницу в терминологии, касающуюся понятий “напряженность” и “индукция”, но ничего не меняют, ссылаясь на исторические причины. Введение в термодинамику энтропии ввергло ее в состояние логической незавершенности на протяжении уже двух столетий, да и само понятие "Энтропия" приобрело уже второй смысл, независимый от термодинамики.

Анализ работ некоторых авторов систем физических величин показывает, что они время от времени исправляют свои собственные выводы, оказавшиеся, как выясняется, ошибочными. Представляется, что главной причиной совершения ошибок является инерция подосзания, в которое прочно вошли заученные с молодости представления современной физики, в том числе уже устаревшие. **Психологи не случайно утверждают, что самой трудной работой сознания является работа против собственного подсознания.**

7. Выводы по поводу основных идей в области создания систем физических величин.

Анализ динамики исследований в области систематизации физических величин позволяет сделать ряд выводов по поводу развития основных идей в этой области:

1. Введение обобщенных физических величин необходимо. Впервые их ввел в механику Ж.Лагранж в XVIII веке, и в подобном виде они остаются в механике до сих пор. А.Вейник (1968) расширил количество обобщенных физических величин. В системах физических величин обобщенные величины впервые появились у Н.Плотникова (1978), П.Бриджфелда (1984) и И.Когана (1993), затем у В.Костышина (2000), К.Гольберта (2003), Д.Ермолаева (2003), П.Пирната (2005). В теории физических аналогий Г.Ольсона (1943) и в геометризованных системах физических величин Р.ди Бартини (1966, 1974) и других сторонников ЛТ-системы величин обобщенные физические величины отсутствуют, именно поэтому эти научные направления бесперспективны.

2. До XX века существовала лишь унификация единиц измерений. Систематизация физических величин начала проводиться лишь во второй половине XX века в работах Г.Ольсона (1943, 1966), Р.ди

Бартини (1966, 1974) и Н.Плотникова (1978). Качественный скачок в этом направлении произошел в конце XX века и продолжается сейчас в работах И.Когана (1998, 2003-2004, 2006, 2010), А.Чуева (1999, 2003, 2007, 2010), Д.Ермолаева (2003), К.Гольберта (2003), П.Пирната (2005).

3. При систематизации физических величин приходится иногда вводить новые понятия. Любое обобщение и любая систематизация обладают своей внутренней логикой, которая не всегда совпадает с той логикой, которая существует в современной физике. **Стремление обобщить и систематизировать физические величины и понятия неизбежно наталкивается на необходимость введения новых величин или новых названий для уже существующих величин.**

Процент подобных нововведений достаточно высок. В системах А.Чуева и П.Пирната он равен примерно 50%, а в работе Д.Ермолаева (2003) выходит за рамки целесообразности (почти 80%). Лишь Г.Ольсон (1943) и Н.Плотников (1978) не ввели в свои системы ни одной новой физической величины и ни одного нового названия. Явление, вынуждающее его авторов вводить новые физические величины и понятия, является косвенным свидетельством наличия той “**понятийной бессистемности**”, которая существует в современной физике и вынуждает к нововведениям.

4. В физике и технике наблюдается избыточность производных физических величин. В современной физике чрезмерно велико количество производных величин. Много таких производных величин, для которых не найдены соответствующие им обобщенные физические величины. Причиной этого является то обстоятельство, что в физику и в технические дисциплины вводятся все новые и новые производные величины, с которыми удобно работать, а о том, как они соотносятся с природой физического явления и легко ли их обобщить, никто не задумывается. Чем больше становится подобных априорных производных величин, тем дальше отдаляются друг от друга разные разделы физики и разные технические дисциплины. Больше всего таких априорных производных величин оказалось в механике (около 50%) и в электромагнетизме (около 40%). Может быть, это обстоятельство и объясняет, почему так непохожи друг на друга при преподавании механические и электротехнические дисциплины.

5. Необходимо систематизировать символику. Любой исследователь в области обобщения и систематизации физических величин неизбежно сталкивается с тем, что стремление обобщить физические величины из разных разделов физики сдерживается ограниченным

количеством букв латинского и греческого алфавитов. Сама логика систематизации заставляет всех ее авторов уделять большое внимание упорядочению символики и системы индексации. Упорядочение символики важно и с точки зрения педагогики, так как зрительная память – наиболее распространенный и наиболее весомый с точки зрения психологии и дидактики вид памяти. Однако этот процесс наталкивается на сопротивление метрологов, уже успевших узаконить “символьную бессистемность”, и большинства физиков и инженеров, уже успевших стать “узкими специалистами”. Такое сопротивление хоть и является неизбежным, но его надо преодолевать, ибо сроки обучения не меняются.

Литература

1. ди Бартини, Роберт Орос, 1966, Соотношение между физическими величинами. Сб. “Проблемы теории гравитации и элементарных частиц.”, вып. 1, М.:Атомиздат.
2. ди Бартини Р. О., Кузнецов П. Г., 1974, Множественность геометрий и множественность физик. – Брянск, Сб.: “Моделирование динамических систем”, с. 18-29.
3. Васильев В.Я., 2004, Периодическая система физик и биологическая картина мира. – Десногорск, Изд. ООО “Газета Авошь-ка”, 160 с.
4. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
5. Ермолаев Д.С., 2003, Обобщенные законы физики или физика для начинающих. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4959.html>
6. Ерохин В.В., 2008, Абсолютная система физических единиц. – <http://new-idea.kulichki.net/?mode=physics&pn=1>
7. Коган И.Ш., 1993, Основы техники. Киров, КГПИ, 231 с.
8. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
9. Коган И.Ш., 2003, Пути решения проблемы систематизации физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7073.html>
10. Коган И.Ш., 2004, “Физические аналогии” – не аналогии, а закон природы. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7438.html>
11. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
12. Коган И.Ш., 2010, Физические величины и понятия (Обобщение и систематизация). – <http://physicalsystems.narod.ru/index.html>
13. Костишин В.С., 2000, Застосування теорії розмірностей для

встановлення точних фізичних аналогій. – Івано-Франківськ, Методи та прилади контролю якості. №6.- с. с. 69-72.

14. Плотников Н.А., 1978, Система физических величин. – Вологда, Областной Совет ВОИР, 34 с., а также <http://plotnikovna.narod.ru>
15. Тереск А.А., 2005, Матричная периодическая система физических формул и законов. – Таллинн, <http://www.hot.ee/teresk>.
16. Чуев А.С., 1999, Физическая картина мира в размерности “длина-время”. Серия ”Информатизация России на пороге XXI века”. – М., СИНТЕГ, 96 с., а также Естественная кинематическая система размерностей. <http://www.chuev.narod.ru/>
17. Чуев А.С., 2003, О существующих и теоретически возможных силовых законах, обнаруживаемых в системе физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5811.html>
18. Чуев А.С., 2007, Система физических величин. Текстовая часть электронного учебного пособия. <http://www.chuev.narod.ru/>
19. Чуев А.С., 2010, Система ФВ в электронном исполнении. <http://www.chuev.narod.ru/>
20. Эткин В.А., 1992, Основы энергодинамики. – Тольятти, ТПИ.
21. Эткин В.А., 2008, Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). – СПб.: Наука, 409 с.
22. Breedveld, P.C., 1984, Physical Systems Theory in Terms of Bond Graphs. Ph.D. Thesis. Enschede, Twente University of Technology.
23. Hogan N., Breedveld, P.C., 1999, The physical basis of analogies in network models of physical system dynamics. - http://www.ce.utwente.nl/rtweb/publications/1999/pdf-files/010_R99.pdf
24. Holbert, K.E., 2003, Interdisciplinary Electrical Analogies. – http://www.eas.asu.edu/~holbert/images/math_integ.gif
25. Olson H.F., 1943, Dynamical analogies. – New York, D. Van Nostrand Co. (Русский перевод: Ольсон Г., 1947, Динамические аналогии. – М.: ИЛ.)
26. Pirnat P., 2005, Physical Analogies. – <http://www.ticalc.org/cgi-bin/zipview?89/basic/science/physanal.zip:physanal.txt>

3.12. Причины систематизации величин

1. Побудительные причины для систематизации величин.

И.Коган 35 лет преподавал в вузе общетехнические дисциплины, наслушался и вопросов студенческих, и ответов, прочувствовал, что трудно дается студентам. Одновременно с этим возник вопрос: почему одинаковые по своему физическому содержанию базовые величины и их определяющие уравнения существенно отличаются друг от друга в таких важных для будущего инженера дисциплинах, как механика, гидравлика, теплотехника, электротехника. Различны они и в разных разделах физики.

И.Коган поставил себе целью, опираясь на многочисленные частные сведения о физических величинах, придти к чему-то общему, а точнее сказать, к обобщенному на базе тех знаний, которые проверены экспериментально. И.Коган твердо уверовал в то, что природа для построения нашего многокрасочного Мира пользуется очень небольшим набором приёмов. Правда, она их комбинирует в колоссальном количестве сочетаний, почему Мир и предстает перед нашим взглядом таким многокрасочным. Поэтому **темой его исследований стали обобщение и систематизация физических величин, понятий и символов.**

2. Что мешает систематизации физических величин.

На пути своего поиска И.Коган постоянно наталкивался на факты, когда принятые в физике понятия и обозначения не соответствуют тому, для чего они предназначены, когда лексическое значение термина, особенно в переводе на русский язык, оказывается тавтологией, а то и бессмыслицей (например, безразмерные величины). Причины этого разные, но основных оказалось две.

Первой причиной оказалось то, что систематизировать физические величины трудно, если вообще возможно, без приведения в какую-то систему понятий и символов. Но в этом вопросе приходится сталкиваться с профессиональным сленгом, своеобразным жаргоном, используемым физиками и инженерами. А при использовании любого жаргона, как известно, его обладателям безразлично, понимают ли их окружающие.

Второй причиной является частое несоблюдение причинно-следственной связи между величинами. Корни этой тенденции уходят в некритическое использование математики в физике. В математике все логично, если $a = b$, то $b = a$. Но в физике это не так, потому что есть закон – **причина всегда предшествует следствию.** То

есть, если a является следствием b , то b никогда не станет следствием a . И поэтому в уравнениях физики нельзя произвольно менять местами левую и правую часть, ибо тогда невозможно понять, что по чему определяется, каково истинное физическое содержание определяемой величины.

Вообще-то физики всегда пользуются математикой, но относятся к этому по-разному. Одни не забывают сверять выводы математики с физическим содержанием уравнений, другие оставляют это на потом, точнее говоря, потомкам.

3. Последствия отсутствия систематизации физических величин.

Физикам-теоретикам нередко удается приходиться к выводам, из которых практики извлекают колоссальную пользу. Практиков же меньше всего беспокоит, каким путем приходят теоретики к этим выводам. А теоретиков удачные находки убеждают в том, что они на верном пути. И они не всегда задумываются над тем, что к любым выводам можно придти на основании разных предположений, в том числе, иных, чем те, которые ими приняты.

Теоретики являются элитой физики, членами Академий, преподавателями университетов, под их диктовку пишутся учебники, в том числе, школьные. И подрастающей молодежи ничего не остается, как не сомневаться и верить, чтобы получать аттестаты зрелости и дипломы. Самим теоретикам это выгодно, ведь разумные властители государств на науку и образование денег не жалеют.

Иногда встречаются "наивные" люди, вроде андерсеновского ребенка, увидевшего, что король голый. Они даже упорствуют в своей наивности до такой степени, что отправляют статьи в научные журналы. Но в редакциях журналов сидят те самые теоретики, которые не то, что подобные мысли на порог не пускают, но даже стараются подчас не замечать результаты экспериментов, которые не укладываются в общепризнанные теории. А настойчивым сомневающимся приклеивают ярлык лжеученых. К тому же, делиться правительственными субсидиями с инакомыслящими никому не хочется.

И постепенно оказалось, что мир за пределами Солнечной системы и за пределами того, что наблюдается даже в самых сильных микроскопах, не всегда хочет подчиняться проверенным на Земле законам. Таким

вот образом, к концу XX века теоретическая физика оказалась в состоянии глубокого кризиса, о котором сейчас уже говорят очень многие.

Впрочем, в жизни иногда бывает, как в сказке. Появляется милая фея, и тыква превращается в карету, а Золушка – в принцессу. Таким волшебником оказался в наше время Интернет. Войти в него и поделиться своими исследованиями никому не запретишь. Конечно, интернет перегружен, но читатель сам выбирает, что ему интереснее и чему он больше верит. И сейчас с помощью Интернета стал намечаться выход из тупика.

4. Принцип причинности как основа систематизации физических величин.

Главной особенностью данной работы является то, что ее автор (И.Коган) не предлагает вниманию читателя новые научные принципы, гипотезы и постулаты. Напротив, он старательно опирается на то, что уже имеется в физике и метрологии. Только смотрит он на это, как будто видит в первый раз, стремясь увидеть во всем систему, а не беспорядочный набор знаний, подчас не очень-то увязанных друг с другом. Единственный принцип, которого И.Коган придерживается неукоснительно, – это принцип причинно-следственной связи (принцип причинности). Но этот принцип не нов, он известен давно.

Несмотря на очевидное стремление И.Когана найти то, что должно быть общим, обобщающим, И.Коган является убежденным противником идеи о разумном конструировании нашего Мира, той идеи, которая, в конечном счете, приводит к идее о существовании Бога. Вера в Бога – это всего лишь вера, а любая вера, не требующая доказательств, убивает стремление к познанию непознанного, считая всё вокруг творением высшего существа. Для ученого верить в Бога – значит, проявлять малодушие.

Вера в Бога полезна для человеческого общества в психологическом плане. Она помогает установить нормы нравственности и морали общества, если только не превращается в фанатизм и радикализм. Но к процессу познания природы вера в Бога отношения не имеет, как бы ни

старались богословы обосновать существование Бога теми или иными успехами науки.

4. Основы обобщения и систематизации физических величин и понятий

4.1. Основные обобщающие понятия

4.1.1. Что понимается под обобщением и систематизацией физических величин и понятий?

Цель... наук заключается в отыскании законов, благодаря которым отдельные процессы в природе могут быть сведены к общим правилам.

Г. Гельмгольц

Единство в разнообразии - основополагающее свойство природы. Все науки стремятся к обобщению накопленных знаний и к их систематизации. Разве не обобщением знаний о языке является грамматика? Да и в биологии все живые существа распределены по классам, видам и семействам согласно классификации Карла Линнея. И, конечно, наилучшим примером является Периодическая система элементов Д.И.Менделеева.

Любое обобщение похоже на детский конструктор: на небольшую коробочку с мелкими деталями, из которых можно собрать множество самых разных конструкций. Часть из них показана в инструкции к этому конструктору, но никто не мешает собрать все, что придет в голову. Главное тут, чтобы детали были проще и разнообразнее. Так же и при обобщениях в науке. **Главное – это установить, что является основными кирпичиками в большом здании природы и договориться о том, как мы их будем называть. При этом названия должны быть понятными и в точности соответствовать названному понятию.**

1. Определения понятий "обобщение" и "систематизация"

Перед анализом указанных двух понятий полезно определить их место в истории образования понятий. Приведем цитату из монографии М. Джеммера (1961): **”Для истории образования понятий полезно различать три стадии развития: 1) концептуализация (то есть процесс формирования); 2) систематизация (включение научного понятия в синтаксис научной системы); 3) формализация (формальное определение понятия в структуре дедуктивного представления науки). Эти стадии, конечно, взаимопроникают друг друга, и часто они настолько неразделимы, что их дифференциация становится безнадежной задачей. Кроме того, они не всегда выступают в указанном хронологическом порядке”**.

Концептуализацию, систематизацию и формализацию понятия ”физическая величина” можно считать уже завершенными, о чем подробно рассказано в разделе, посвященной понятию физическая величина. На очереди стоит систематизация самих физических величин. Этому и посвящена настоящая работа. Но прежде надо выяснить содержание самих понятий ”обобщение” и ”систематизация”.

В БСЭ имеется следующее определение: **”Систематизация – это система соподчиненных понятий (классов объектов) какой-либо области знания или деятельности человека...”**. Однако в указанном определении присутствует логическая неувязка. **Система – это нечто уже установленное, а систематизация – это процесс установления системы**. То есть систематизация - это нечто предшествующее системе, это мыслительный процесс, и ставить между этими двумя понятиями знак равенства нельзя.

Между понятиями ”обобщение” и ”систематизация” имеется различие. С точки зрения гносеологии это различие показано в работе С. Суровикиной (2004):

”Обобщение – один из процессов познания, который осуществляется в результате мыслительной деятельности, заключающейся в диалектическом соединении, сведении многообразных признаков (объектов) к единой основе и выведения всевозможных частных свойств и признаков из этой основы.

Систематизация – один из процессов познания, который осуществляется в результате мыслительной деятельности по приведению связанных между собой элементов в соответствующую поставленной цели систему”.

С точки зрения физики и метрологии больше подходит определение А. Бахмутского (2007): **”Систематизация – процесс упорядоченного расположения каких-либо объектов (элементов, предметов, знаков и т.п.), осуществляемый по сходству или различию присущих им**

признаков, выделяемый на основе заранее установленных причинно-следственных связей”. Кроме того, для успеха любой систематизации следует выяснить те условия, которые приведут к этому успеху.

Условиям успешной систематизации физических величин посвящен отдельный раздел.

В физике есть немало примеров успешного обобщения и систематизации: **Периодическая система Д.И.Менделеева, систематизация элементарных частиц М.Гелл-Манна, единая теория физического поля.** На фоне этих достижений **отсутствие систематизации физических величин выглядит анахронизмом.** Это обычно не замечается, так как систематизацию физических величин обычно путают с унификацией единиц измерения с помощью систем единиц. Эта ошибочная точка зрения подробно анализируется в разделе, в котором сравниваются системы единиц и системы величин.

Любой шаг по устранению этого анахронизма, пусть даже в области только классической физики, может оказать существенную помощь, прежде всего, в процессе преподавания физики и технических дисциплин. Но может повлиять и на процесс дальнейшего развития самой физики.

2. Чем отличается систематизация от классификации и унификации?

Классификация – *”один из видов систематизации, распределение объектов по группам на основе установления сходства и различия между ними. Целью классификации является отнесение единичных предметов, явлений, процессов и т.п. к соответствующему типу, классу, группе или закону. Конечный результат классификации – установление принадлежности данного единичного к соответствующему общему”* (С.Суровикина, 2004).

Систематизируемые объекты постоянно сравниваются между собой, что составляет отличие систематизации от классификации, *”при которой классифицируемые объекты относят к определенному подразделению по предварительно заданной схеме”* (А.Бахмутский, 2007).

Унификация - *”приведение к единообразию, к единой форме или системе”* (БСЭ). Основной задачей унификации единиц измерений как раз и является приведение их к единообразию.

Приведенные определения достаточно полно и точно отражают те процессы мыслительной деятельности, которые приводят разных авторов к созданию различных систем, в том числе, систем физических величин.

3. Главные кирпичики обобщения физических величин

Главными кирпичиками при обобщении в физике являются "физические системы" и "физические величины", им посвящены основные разделы книги. Лишь после них разъясняется понятие "размерность физической величины" и показано, чем отличается размерность от единицы измерения. Это отличие, хорошо знакомое почти всем метрологам, к сожалению, не всегда понятно многим физикам и, особенно, инженерам, в чем постоянно убеждаешься, читая научные статьи и даже монографии.

Без четкого понимания всех терминов и понятий, которые разъясняются в данном разделе, трудно освоить материал других разделов. Зато их понимание очень помогает не только при освоении проблемы обобщения и систематизации физических величин, а и вообще при изучении физики и техники.

4. Необходимость упорядочения терминологии в физике

Выдающийся физик В.Гейзенберг писал: "Первая предпосылка познания явлений природы — введение адекватных понятий; лишь с помощью верных понятий мы в состоянии по-настоящему знать, что мы наблюдаем". И все же проблема так называемой "понятийной бессистемности" остается по-прежнему актуальной. В работе О.Зайцева (2001) так сказано по этому поводу: "Возникновение этой проблемы связывается не с результатом введения каких-либо новых понятий или отказа от использования прежних, а с бессистемной ревизией их внутреннего содержания". Превосходный анализ несчетного количества ошибок и несуразностей, встречающихся в современных учебных пособиях по физике и технике, приведен в монографии К.Гомоюнова (1983). Многие понятия и термины, возникшие еще в XIX веке, а то и раньше, попросту стали противоречить современному уровню науки, но отказаться от них трудно, поскольку к ним уже настолько привыкли, что перестали замечать их некорректность, а порой и бессмыслицу. Проблема многозначности одних и тех же физических терминов

посвящена монография С.Суровикиной (1998). В качестве одного из примеров приведем понятие “энтропия“, многоликость которого детально проанализирована в работе В.Эткина (2006). Отдельный раздел посвящен проблеме понятийной бессистемности. В ней И. Коган не только анализирует неадекватность терминов, но и приводит варианты возможного их исправления.

При разъяснении различных понятий и терминов не акцентируется внимание на том, к какому разделу физики или техники относится тот или иной термин. Деление физики или техники на разделы, на отдельные науки – не самоцель. Это вынужденное следствие узкой специализации, когда детальное изучение всей физики в целом или всей техники в целом становится непосильной задачей.

Литература

1. Бахмутский А., 2007, Доминант понятия «система». В сб. «Системные исследования и управление открытыми системами», Хайфа, Центр "Источник информации", вып. 3, с.с.9-19.
2. Гейзенберг В. Шаги за горизонт:Пер. с нем.-М.:Прогресс, 1987, 368с.
3. Гомоюнов К.К., 1983, Совершенствование преподавания технических дисциплин. – Л.: Изд. ЛГУ, 206 с.
4. Зайцев О.В., 2001, С какими проблемами физическая наука вступила в 21 век. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/2356.html>
5. Суровикина С.А., 1998, Многозначные физические термины. – Омск: Изд. ОмГПУ, 34 с.
6. Суровикина С.А., 2004, О систематизации и обобщении знаний в школьных учебниках. – Доклад на Интернет-конференции по теме «Проблемы внедрения психолого-педагогических исследований в систему образования». <http://psyinfo.ru/ru/conference/internet/doc.php?d=30>
7. Эткин В.А., 2006, Многоликая энтропия. - http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/mnogolikayaentropyja.shtml
8. M. Jammer, Concepts of mass in classical and modern physics. Harvard University press. Ambridge-Massachusetts, 1961 (М. Джеммер, Понятие массы в классической и современной физике. Перевод и комментарии Н. Ф. Овчинникова, Изд. «Прогресс», Москва. – 1967, 255 с.)

4.1.2. Системный подход и методы познания в физике

1. Что такое системный подход?

Наиболее объективным и продуктивным подходом при изучении природы является **системный подход**. Его общепринятое определение приведено в Википедии: *«направление методологии исследования, в основе которого лежит рассмотрение объекта как целостного множества элементов в совокупности отношений и связей между ними, то есть рассмотрение объекта как системы»*. На той же странице Википедии указаны основные принципы системного подхода.

В настоящей работе объектом применения системного подхода является **физическая система**.

2. Определения понятия “система“ и свойства системы.

Приведем наиболее важные и ёмкие сведения об этом понятии из словарной статьи "система" в Википедии, основанные на просмотре достаточно авторитетных первоисточников: *“**Система** – это множество элементов, находящихся в связях друг с другом и динамических взаимодействиях, которое образует определённую целостность, единство“*. На практике этот термин применяется в различных значениях: теория, классификация, метод, способ организации, совокупность объектов, закономерность, стандарт. Общими для всех свойств системы являются:

1. **Иерархичность**, заключающаяся в том, что любая система одновременно состоит из частей (подсистем) и является частью другой более крупной системы (надсистемы).

2. **Целостность**, подразумевающая, что исследуемый объект обладает интегральными свойствами, не сводящимися к сумме свойств составляющих его частей. А.Бахмутский (2007) уточняет определение целостности следующим образом: *“**Целостность системы** – принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств ее компонент и невыводимость из свойств компонент свойств системы.“*

3. **Эмерджентность**, заключающаяся в принципиальной несводимости

свойств системы к сумме свойств составляющих её компонентов.

4. Важным является также **закон разнообразия** Эшби: необходимо, чтобы система имела большее разнообразие, чем разнообразие решаемой проблемы, или была способна создать такое разнообразие.

В. Кошарский (2006), проанализировав большое количество первоисточников, синтезировал такое определение системы: *“совокупность взаимосвязанных и взаимовлияющих элементов, расположенных в определенной закономерности в пространстве и времени и действующих совместно для достижения общей цели”*. В этом определении следует выделить два ключевых понятия – *“закономерность”* и *“цель”*, которых в предыдущих определениях не было.

3. Дедуктивный и индуктивный методы познания при системном подходе.

Одним из основных требований системного подхода является требование *изучения части через целое* или, как еще говорят, *переход от общего к частному*. Такой метод познания носит название дедуктивного метода.

В отличие от дедуктивного метода существует и противоположный **индуктивный метод** познания. Он, соответственно, предполагает изучение целого через его составные части путем предварительного рассмотрения свойств этих частей (или *переход от частного к общему*).

И индуктивный, и дедуктивный методы познания применяются при изучении физики, но их роль различна. **В начале обучения предпочтительнее индуктивный метод познания**. Например, в классической механике механическая система изучается на примерах изучения ее отдельных частей вплоть до материальных точек, и каждая из этих частей изучается с помощью определенных абстрактных допущений.

Как показано в разделе, посвященном анализу методики преподавания физики, **индуктивный метод познания совершенно необходим в школе, но до определенного возраста, и в отдельных случаях в вузе. Начиная с неполной средней школы и обязательно в вузе необходим плавный, но обязательный переход к дедуктивному**

методу познания.

При системном подходе применение индуктивного метода познания весьма ограничено, так как свойства отдельных частей физической системы **не аддитивны**, то есть они не суммируются при рассмотрении физической **системы как целого**. Система как целое **обладает рядом свойств, которые не удастся разглядеть при рассмотрении свойств отдельных ее частей.**

4. Два примера применения системного подхода.

Применение системного подхода при исследованиях в любом разделе физики приводит к прорывам вперед в науке. Можно привести два ярких примера таких прорывов на рубеже XX и XXI веков.

Это **уровневая физика**, представление о которой дано в разделе посвященном уровневому строению материи. Это **энергодинамика**, представление о которой дано на страницах, посвященных трудам А.Вейника и В.Эткина.

Именно на базе энергодинамики и построена **энергодинамическая система величин и понятий (ЭСВП)**, которой посвящена данная работа и с сущностью которой можно ознакомиться на страницах, посвященных основным идеям ЭСВП и различиям между системами величин и системами единиц.

4.1.3. Физическая система и ее свойства

Окружающий нас мир необозрим и неисчерпаем. Познать его в целом невозможно, ведь мы даже не знаем, где границы этого целого. Любое исследование может касаться лишь какой-то мысленно выделенной части целого, которую и называют коротко **системой**. Греческое слово *systema* буквально означает “целое, составленное из частей”.

1. Что такое физическая система?

Слово “система” часто ассоциируется с политикой, экономикой, педагогикой, то есть с гуманитарными науками. В данном разделе речь идет о **физической системе**.

Имеется несколько определений физической системы. Например,

определение физической системы из Википедии: “часть физического мира, избранная для анализа”. Это определение почти совпадает с определением из интернет-энциклопедии Глоссарий.ру: “Физический объект – выделенная для анализа часть физического мира”. А.Вейник (1968, с.19) дает такое определение физической системы: “Система представляет собой определенное количество материи, которая мысленно отделена от окружающей среды контрольной поверхностью”.

В физике применяется также понятие “**термодинамическая система**”, которое определяется в БСЭ, как “совокупность физических тел, которые могут взаимодействовать энергетически между собой и с другими телами, а также обмениваться с ними веществом”. Классификация термодинамических систем касается только тепломеханических систем, учитывающих только две формы движения: **тепловую и механическую**. Поэтому для физических систем необходимо более обобщенное определение.

Физическую систему мы не в состоянии изучить во всей совокупности ее внутренних взаимосвязей, настолько велико их количество, но обычно в этом нет необходимости. Нас интересует обычно весьма ограниченное количество свойств системы. А влияние всех остальных свойств той же системы мы готовы условно считать пренебрежимо малым, то есть не учитывать их.

Синтезировав определения из различных первоисточников, можно прийти к такому определению: **Физическая система** – это часть материального мира, мысленно выделенная наблюдателем для решения поставленных им задач.

2. Свойства физической системы

Под свойством системы понимают одну из характеристик системы, имеющую численное значение. В термодинамике вместо термина “свойство системы” применяют термин “**параметр состояния системы**”. В технике говорят о конструктивных параметрах изделия (системы). В физике в целом и особенно в метрологии предпочитают применять более общий термин “**физическая величина**” (или просто **величина**). Это понятие достаточно сложное и ёмкое, поэтому о нем рассказано подробно в отдельном разделе.

Параметры, характеризующие систему, определяют и **состояние**

системы. Точнее, состояние определяют численные значения этих параметров с учетом той системы единиц измерений, которые применяются в определяющем уравнении. Имеются и такие параметры, которые характеризуют не одно какое-нибудь свойство системы, а комплексно отражают состояние системы, то есть они зависят сразу от нескольких параметров, являются функциями этих параметров. Их называют **функциями состояния**.

Рассмотрим для примера такую физическую систему, как ёмкость, заполненную газом. Если изменение объема этой ёмкости происходит медленно, то можно исследовать взаимосвязь только между изменениями двух параметров: объема и давления газа. Если же объем изменяется быстро, то нам придется учитывать изменение третьего параметра – термодинамической температуры газа. А совокупное изменение всех этих параметров определяет изменение внутренней энергии системы. Подбор количества исследуемых параметров диктуется только необходимой точностью описания состояния системы.

Другой пример: при движении какой-нибудь детали механизма нас интересуют такие параметры, как скорость разных точек детали, конфигурация детали, плотность ее материала. Это позволяет определить силы инерции, действующие на деталь и на отдельные ее части. А если к числу параметров мы добавим температуру, то тогда сможем изучить поведение детали при ее нагреве или охлаждении. В любом случае **при исследовании любой физической системы мы сужаем свои интересы не только рамками определенного количества интересующих нас параметров, но и связываем себя рамками какого-то ограниченного пространства и какого-то ограниченного промежутка времени.**

3. Что такое обобщенная физическая система?

Естественно предположить существование такой сверхсистемы (**обобщенной физической системы**), которая характеризуется всеми известными и даже пока еще неизвестными свойствами. Тогда любая конкретная физическая система будет являться лишь частным случаем обобщенной физической системы. В этом предложении и сосредоточена вся суть проблемы **обобщения и систематизации физических величин.**

Идея о существовании обобщенной физической системы применена в

работе И.Когана (2003) и обрела законченную форму в его монографии (2006). Эта идея продолжила развитие основных идей энергодинамики (А.Вейник, 1968), как дедуктивного метода познания.

Значение дедуктивного метода подчеркнуто в теории Ю.Кулакова (70-е годы XX века): *“Начиная с Галилея и по настоящее время, физика, как правило, строится и излагается индуктивно, т. е. из огромного множества наблюдений и опытных фактов выбирается небольшое число свойств и вырабатываются основные понятия, в терминах которых формулируется физическая теория. Я предлагаю дедуктивный путь построения физики.”* **Ю.Кулаковым был создан единый универсальный язык, на котором написаны все фундаментальные физические законы.** Так что идеи А.Вейника (1968) и Ю.Кулакова (2004) родственны в своей основе. О том же говорит и В.Эткин (2008), развивая идею о существовании обобщенной физической системы: *“Особенностью энергодинамики является и то, что она рассматривает всю совокупность взаимодействующих тел или частиц как единое неравновесное целое.”*

Дедуктивный метод, то есть путь от общего к частному – вот то главное, что легло в основу идеи об обобщенной физической системе и в основу данной работы. Применительно ко всей проблеме обобщения и систематизации в физике можно так сформулировать эту идею: ***Законы для обобщенной физической системы универсальны и применимы для любой физической системы. Все физические системы – это частные случаи обобщенной физической системы.***

Идея, лежащая в основе понятия “обобщенная физическая система”, легла в основу иерархии уровней обобщения и систематизации физических величин.

Литература

1. Бахмутский А., 2007, Доминант понятия «система». В сб. «Системные исследования и управление открытыми системами», Хайфа, Центр "Источник информации", вып. 3, с.с.9-19.
2. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
3. Коган И.Ш., 2003, Пути решения проблемы систематизации физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7073.html>
4. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических

величин и понятий. Хайфа, 2007 с.

5. Кошарский В., 2006, Системный подход – путь к познанию и решению проблем. – Сборник “Системные исследования и управление открытыми системами“ Вып. 2, Хайфа, Центр “Источник информации“, с.с. 9 – 19.

6. Кулаков Ю.И., 2004, Теория физических структур. – М.: 2004. 847 с.

5. Эткин В.А., 2008, Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). – СПб.: Наука, 409 с.

4.1.4. Что означает состояние физической системы?

Наиболее четкое определение этого термина имеется в Википедии: "**Состояние** — абстрактный термин, обозначающий множество стабильных значений переменных параметров объекта. Состояние характеризуется тем, что описывает **переменные свойства объекта**. Состояние стабильно до тех пор, пока над объектом не будет произведено **действие**; если над объектом будет произведено некоторое действие, его состояние может измениться.

Последовательная смена состояний объекта называется процессом".

Если термин "объект" в этом определении заменить термином "физическая система", то получим точное определение понятия "состояние физической системы". Главной и определяющей характеристикой состояния системы является координата состояния. Однако координата состояния характеризует непосредственно не всю систему, а конкретную форму движения в физической системе. А форм движения в системе может быть сколько угодно. Правда, на практике рассматривают обычно одну, реже несколько, превалирующих форм движения. Соответственно, и координат состояния бывает столько же.

Какие бывают состояния физической системы?

Если количество энергоносителей в системе в каждой форме движения постоянно (в физике имеют в виду, что оно постоянно во времени), то состояние системы называют **равновесным**. В равновесном состоянии находится вся система, если все ее координаты состояния постоянны во времени во всех точках системы. Такое состояние системы называют **стационарным** или **установившимся**.

Равновесное состояние системы нарушается при воздействии на нее со

стороны окружающей среды или со стороны соседних систем. Если это воздействие разовое, то со временем система приходит к новому равновесному состоянию, но уже с иным значением координат состояния. Процесс перехода к новому состоянию так и называется **переходным процессом**, анализ которого в физике часто недооценивается.

Если перенос энергоносителей через **контрольную поверхность** отсутствует, то количество энергоносителей в системе постоянно. Но может существовать перенос энергоносителей внутри системы вследствие различного рода флуктуаций, такое состояние системы называют **неравновесным**. При неравновесном состоянии значения координат состояния в разных точках системы различны. **Движение энергоносителей всегда приводит к диссипации энергии, то есть к переходу энергии из любой формы движения в тепловую форму движения диссипации.**

Равновесие системы - понятие неоднозначное. Если энергоносители внутри системы не перемещаются, то говорят о **статическом равновесии** системы (в переводе с греческого языка “статический“ означает “стоящий“, от слова стоять). Если координата состояния в каждой точке системы постоянна во времени при том, что энергоносители через эту точку перемещаются, то в этом случае говорят о **динамическом равновесии** системы (в переводе с греческого языка “динамический“ означает “движущийся“).

Приведем в пример водопроводную трубу, в которой координатой состояния движущейся воды будем считать какой-нибудь перемещающийся объём воды. Если входной кран перекрыт, то вода в трубе неподвижна, система находится в состоянии статического равновесия. Если же кран открыт, то вода перемещается по трубе, хотя объём воды в трубе и давление в каждой точке остаются прежними, это пример системы, находящейся в динамическом равновесии.

Из приведенных определений видно, что следует различать состояние системы **в целом** и состояние системы **в отдельной точке**.

Различают также состояние **устойчивого равновесия**, когда система, будучи выведенной из равновесного состояния одноразовым воздействием, самостоятельно возвращается в исходное состояние, и состояние **неустойчивого равновесия**, когда малейшее, даже случайное воздействие приводит систему к выходу из равновесного

состояния, к которому система уже не может вернуться самостоятельно.

В 1984 г. был сформулирован **принцип Ле Шателье - Брауна**: "если на систему, находящуюся в устойчивом равновесии, воздействовать извне, изменяя какое-либо из условий равновесия (температура, давление, концентрация, внешнее электромагнитное поле), то в системе усиливаются процессы, направленные на компенсацию внешнего воздействия". В дальнейшем под термином "условие равновесия" в данной формулировке стали понимать координату состояния формы движения.

Следует также заметить, что физические величины, указанные в скобках принципа Ле Шателье - Брауна, являются **интенсивными величинами** (см. сведения о физических величинах, раздел 3. п.4). А процесс восстановления равновесия является, как указано выше, переходным процессом.

Примеры уравнения состояния системы приведены в отдельном разделе.

Какие понятия характеризуют состояние системы?

В литературе по физике чаще всего применяют понятие "координата состояния" формы движения, которое рассмотрено подробно в отдельном разделе. Именно **координаты состояния разных форм движения внутри системы и характеризуют ее состояние**. Но применяются и другие понятия, отличие которых от понятия "координата состояния" следует пояснить.

В технике состояние физической системы определяется численными значениями её конструктивных параметров. Слово "параметр" в переводе с греческого языка означает "отмеривающий". То есть подразумевается, что параметры следует измерять. Поэтому термин "параметр" и применяется часто по отношению к техническим устройствам. При теоретическом исследовании физической системы можно заменить измерения расчетами по определяющим уравнениям.

В физике применяется также часто термин "степень свободы". Под этим термином понимают независимую переменную, описывающую состояние системы. **Число степеней свободы равно минимальному количеству переменных, необходимому для полного описания**

состояния системы. Например, любое тело может двигаться в трёх взаимно перпендикулярных направлениях и вращаться вокруг трёх взаимно перпендикулярных осей вращения. Поскольку тело тоже является физической системой, то можно говорить о том, что оно обладает шестью степенями свободы. Таким образом, термин “степень свободы” содержит несколько иную информацию о системе, нежели термины “координата состояния“ и “параметр”.

А.Вейник (1968) предпочел вместо термина “координата состояния“ применять термин “заряд“. Но эти два термина не адекватны друг другу, что станет понятно при ознакомлении с содержанием раздела, посвященном заряду системы.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, *Высшая школа*, 464 с.

4.1.5. Что такое физическая модель?

Какое отношение имеет слово “модель“ к физике? Мы знаем, что такое модель одежды или обуви, модель автомобиля и стиральной машины, что такое фотомодель. Когда мы покупаем бытовые товары, мы обязательно интересуемся, какой они модели. А при чем тут физика?

Можно вернуться к разделу, посвященному физической системе, где говорится о том, что физическая система выделяется из окружающего нас мира мысленно. Возьмем, к примеру, водопроводную трубу: кто-то выделит мысленно только воду внутри трубы, а кто-то – воду вместе с трубой. Количество исследуемых параметров физической системы мы выбираем, исходя из необходимости. **То, что мы выбрали и представили себе мысленно, это и есть модель материального объекта.**

Один и тот же материальный объект разными людьми может

восприниматься по-разному. Поэтому для одного и того же материального объекта разные люди могут применять разные модели. Например, очень удобной моделью для изучения свойств материального объекта является физическая система. Если мы желаем знать свойства физической системы приблизительно, то выберем для рассмотрения малое количество ее параметров, если желаем знать лучше, - выберем их побольше.

Возьмем для примера такую сложную физическую систему, как автомобиль. Кого-то устроит выбор двух параметров: максимальной скорости и расхода горючего. Кто-то поинтересуется еще и проходимостью, путем торможения. Заводская модель автомобиля от этого не изменится, а вот модель физической системы под названием "автомобиль" каждый раз будет меняться.

Чем больше параметров физической системы мы выбираем для исследования ее свойств, тем более объективно мы можем судить о поведении системы. Но сказать, что мы знаем о физической системе всё, мы никогда не сможем. Ибо мы не можем знать заранее, каким количеством параметров физическая система характеризуется с исчерпывающей полнотой. Поэтому физики не могут исследовать материальный объект иначе, как представить его в виде модели, коей и является физическая система. А уж правильно ли придумана эта модель или нет, покажет практика, эксперимент.

Опираясь на модели, удобнее и легче постигать природу. Но это не означает, что природа разделена на части. Природа едина, это мы делим ее мысленно на части, на уровни, на формы, на виды и подвиды, чтобы было удобнее изучать, а потом стараемся объяснить это учащимся.

Иногда, правда, объяснять забываем, что ставит в тупик тех, кто хочет понять суть физики, а не зурить ее ради экзаменационной отметки.

4.1.6. Окружающая среда и контрольная поверхность системы с точки зрения физики

Физическая система определена как мысленно выделенная часть материального мира. Ниже описана процедура такого “мысленного выделения”.

Что понимается под средой, окружающей физическую систему?

Материальный мир, окружающий физическую систему, называют в физике окружающей средой. Это понятие обычно рассматривается с точки зрения экологии. В настоящей работе понимание этого термина привязано к физике. Приведем определение окружающей среды из англоязычной Википедии: ***"Всё, что находится вне системы, является окружающей средой, которая при анализе игнорируется за исключением ее воздействия на систему. Сокращение окружающей среды до системы произвольно, оно, в целом, сделано для упрощения анализа в максимально возможной степени"***.

Рассмотрим, что именно отделяет физическую систему от окружающей ее среды. Для этой цели А.Вейник (1968) предложил применить такое понятие, как **контрольная поверхность** системы.

Физическую систему от окружающей среды отделяет контрольная поверхность

С точки зрения лексики название это не совсем удачное, так как никто эту поверхность не контролирует, она мысленная. Встречается также термин "граничная поверхность". Эта поверхность между физической системой и окружающей средой выбирается произвольно, чтобы упростить анализ состояния и поведения физической системы. То есть контрольная поверхность – это такая же по сути физическая модель, как и сама физическая система.

Контрольная поверхность - понятие, содержание которого определяется теми задачами, которые мы ставим перед собой при изучении конкретной физической системы. Например, мы можем “приказать” этой поверхности быть для одних форм движения проницаемой, а для других непроницаемой.

Возьмем, к примеру, воду в водопроводной трубе и будем считать мысленно количество воды в трубе физической системой. Основная часть контрольной поверхности – это внутренняя поверхность стенки трубы, она для воды непроницаема (пока трубу ржавчина не проела).

Но в конце трубы имеется торцевое сечение, через которое вода из трубы выливается. Это сечение – тоже часть контрольной поверхности, только проницаемая для воды. Разумеется, есть и другое торцевое сечение, через которое вода в трубу вливается, оно тоже является частью контрольной поверхности.

Слово “проницаемость” тоже неоднозначно. Если стенки трубы для воды непроницаемы, то они вполне проницаемы для тепловой энергии, вследствие чего вода в трубе то нагревается, то охлаждается под воздействием внешних по отношению к трубе факторов. Получается, что часть контрольной поверхности (стенки трубы) **для гидравлической формы движения непроницаема, а для тепловой формы движения проницаема.**

В физике при применении этого термина следует иметь в виду некоторые нюансы. Возьмем, к примеру, такую физическую систему, как автомобиль, и пусть нас интересует такой параметр, как скорость автомобиля. Вопрос: водитель по отношению к автомобилю находится внутри системы или в окружающей автомобиль среде? Ответ неоднозначен.

Если принимать во внимание, что изменение скорости автомобиля (его ускорение) зависит от его массы, а масса водителя – это часть массы автомобиля, то, конечно, водитель находится внутри системы. Но, с другой стороны, для изменения скорости автомобиля надо нажать на педаль газа. С точки зрения автомобиля, как неодушевленной системы, эта процедура является для него внешним воздействием. Автомобиль воспринимает водителя в этом плане, как элемент окружающей среды. Есть даже такая песня Высоцкого, слова которой написаны от имени самолета, говорящего о пилоте словами: “тот, который во мне сидит”. Это как раз тот самый случай.

А вот слой воздуха, находящийся на внешней поверхности корпуса движущегося автомобиля, следует обязательно включить в систему “автомобиль”. Ведь этот слой оказывает существенное влияние на скорость автомобиля, создавая сопротивление движению. Для этого следует провести контрольную поверхность системы “автомобиль” мысленно так, чтобы она включала в себя этот пограничный слой воздуха. Вопрос о том, где граница этого слоя воздуха, достаточно сложен, но он современной наукой решается.

Как видим, один и тот же автомобиль и контрольная поверхность автомобиля, как физической системы, могут быть представлены мысленно в виде различных моделей. Смотря, кого что интересует.

Что такое изолированная система?

Если контрольная поверхность системы непроницаема для любых форм движения, то такую систему называют **изолированной системой**. “Изолированная” в переводе с французского языка и есть “обособленная”. Но слово “изолированная” следует понимать произвольно. Если нас интересует изменение только нескольких параметров системы, то мы считаем, что система изолирована от окружающей среды только по этим параметрам, а взаимосвязь по остальным параметрам нами просто не принимается во внимание. В науке говорят, что ими пренебрегают.

Имеется наука, которая вообще старается не интересоваться тем, какие именно физические процессы происходят внутри физической системы. Она изучает обобщенные процессы перехода системы из одного состояния в другое. Эта наука называется теорией автоматического управления. В ней понятие “физическая система” соответствует названию “**черный ящик**”. В том смысле, что при исследовании его поведения не интересуются тем, что происходит внутри него.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.

4.1.7. Что такое материя, движение, среда, вещество?

1. Что такое материя?

Приведем три определения. Первое из БСЭ: “*Материя включает в себя не только все непосредственно наблюдаемые объекты и тела природы, но и все те, которые в принципе могут быть познаны в будущем на основе совершенствования средств наблюдения и эксперимента. Весь окружающий нас мир представляет собой движущуюся материю в её бесконечно разнообразных формах и проявлениях, со всеми её свойствами, связями и отношениями*”.

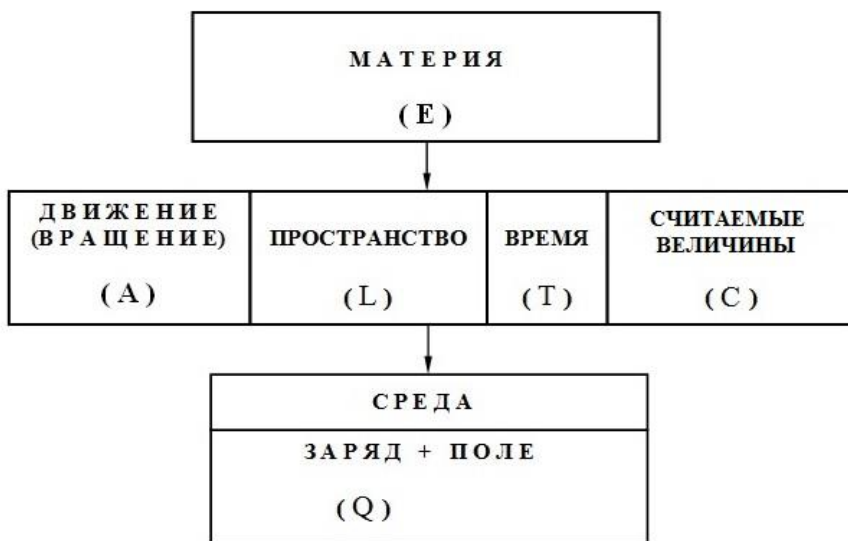
Второе определение из Википедии: “*фундаментальное понятие, связанное с любыми объектами, существующими в природе, о которых мы можем судить благодаря нашим ощущениям*”. Надо полагать, что под ощущениями понимаются также сведения, полученные нами благодаря наблюдениям и измерениям. Но если существуют объекты Природы, о которых мы не можем судить,

поскольку их пока не ощущаем, то согласно этому определению они материей не являются.

Третье определение из энциклопедии “История философии”:

“философская категория, которая в материалистической традиции обозначает субстанцию, обладающую статусом первоначала (объективной реальностью) по отношению к сознанию (субъективной реальности)”. В данном определении материя определяется только во взаимосвязи с сознанием, с чем трудно согласиться в физике.

2. Взаимосвязь материи, движения, пространства и времени.



Основной принцип философии и физики, (в том числе, в трактовке В.Ленина) гласит: *“В мире нет ничего, кроме движущейся материи, и движущаяся материя не может двигаться иначе, как в пространстве и во времени”*. Этот принцип в разном изложении провозглашали мудрецы разных народов еще с глубокой древности. Оставив

рассуждения об авторстве этого принципа историкам науки и философии, посмотрим, как этот принцип ложится в основу обобщения и систематизации физических величин.

В Словаре естественных наук (Глоссарий.ру) движение определяется так: *“Движение – форма существования материи; способ бытия материальных объектов, состоящий в их изменениях и взаимопревращениях”*. Это определение трактует движение, как следствие существования материи, поскольку если бы не было материи, то нечему было бы двигаться. Согласно этому определению движение – это категория, вытекающая из понятия “материя”, вторичная по отношению к материи. В общем случае движение материальных объектов происходит по криволинейной траектории, считая прямолинейное движение частным случаем, при котором радиус кривизны траектории движения стремится к бесконечности. Кроме того, предполагается, что каждому материальному объекту присуще **вращение** вокруг собственной оси. Подробнее об этом в разделе о формах и видах движения.

Движение происходит в **пространстве** и во **времени**. Все эти понятия проиллюстрированы приведенной схемой. Определений пространства и времени в литературе много, хотя общепризнанных определений пока нет.

В физике рассматривается понятие "физическое пространство". В нем *"определяется положение физических тел, в котором происходит механическое движение, геометрическое перемещение различных физических тел и объектов"* (Википедия). Можно привести также пояснение из Википедии относительно времени: *"Время как поток длительности одинаково определяет ход всех процессов в мире."* Относительно этих двух понятий хорошо, на наш взгляд, сказано в монографии О.Репченко (2008): **“Пространство, как и время, – не более, чем способ описания физических явлений. Это всего лишь язык, своеобразные искусственные ориентиры. Оба эти понятия используются для описания физических процессов, но сами физическими свойствами не обладают. Физические процессы никак не могут влиять на пространство и время и наоборот.”** Понятия "пространство" и "время" при отсутствии движения материи лишаются содержания и смысла применения.

Во второй половине XX века в физике появилось направление, характеризуемое формализмом при систематизации физических

величин. Представители этого направления считают, что все физические величины можно охарактеризовать только с помощью пространства и времени. Подобное направление оторвано от реальности, оно приводит к неверным выводам.

3. Содержание понятия "среда".

Выше приведена схема взаимосвязи основополагающих понятий, более подробно проанализированная в разделе о естественной системе величин. Пока не будем обращать внимание на присутствующие на схеме в скобках символы размерностей. Пояснения по ним приведены ниже.

Как уже было сказано, материи присуще движение материальных объектов в пространстве и во времени, что и отражено на схеме. Для совокупности материальных объектов в пространстве в физике и применяется понятие **среда**.

Само слово "среда" применяется для обозначения многих понятий, в том числе, далеких от физики. Единого определения этого понятия хотя бы для физики нами не найдено. **Понятие "среда" в физике весьма неоднозначно. Мы будем понимать под этим словом "абсолютное пространство" Ньютона, заполненное материальными объектами.**

Количество материальных объектов, взаимодействующих друг с другом, является физической величиной с целым положительным вещественным численным значением. Пока эта величина считается безразмерной, но при предстоящем обновлении СИ эта физическая величина будет, скорее всего, признана основной величиной, которой будет присвоено своё название и свой символ размерности.

Предварительно применим название **количество считаемых величин**.

4. Уровневая структура материи.

На рубеже XX и XXI веков стало интенсивно развиваться новое научное направление, называемое уровневой физикой. **Основная ее идея заключается в том, что движущаяся материя имеет несколько структурных уровней и что каждому уровню структуры материи соответствуют свои материальные объекты, характеризующиеся энергией, размер порядка которой соответствует только данному уровню. Из этого следует, что каждому уровню структуры материи**

соответствует своя среда. Различие между структурными уровнями заключается в различии свойств материальных объектов, заполняющих среду каждого уровня. При этом объекты конкретного структурного уровня материи состоят из объектов среды иерархически более высокого структурного уровня. И более высокие уровни вложены в более низкие уровни.

Понятие “среда“ является обобщенным понятием, оно относится ко всем уровням материи, но сами среды на разных уровнях различны, поскольку различны материальные объекты, из которых состоит среда. Каждый уровень содержит как свою среду, так и среды более высоких уровней. Что касается используемого в современной физике понятия "физический вакуум", то экспериментально он не обнаружен и пока неясно физическое содержание этого термина. Хотя оно близко по содержанию к понятию "эфир".

Вследствие развития космологии появились мнения о том, что наша Вселенная не единственная в мироздании, что после расширения нашей Вселенной последует ее сжатие под воздействием других расширяющихся соседних Вселенных. Появилась гипотеза В.Пакулина (2012) о том, что в уровневой структуре для каждой отдельно взятой Вселенной имеется предельный структурный уровень, после которого дальнейшее сжатие Вселенной становится невозможным.

Современная космология свидетельствует о том, что материальные объекты Вселенной сосредотачиваются в Черной дыре, внутри которой формируется Белая дыра. Сутью гипотезы В.Пакулина является утверждение, что на уровне Белой дыры вся материя Вселенной относительно неподвижна, а ее энергия является потенциальной энергией сжатия, определяемой внутренним движением на этом уровне. Такое состояние материи названо автором гипотезы **праматерией**. После достижения критического значения плотности праматерии Белая дыра взрывается, а праматерия превращается в **движущуюся материю** расширяющейся Вселенной. В процессе расширения Вселенной возникает несколько вложенных уровней ее структуры, каждый из которых характеризуется своей средой. Таким образом, каждая Вселенная проходит стадии расширения и сжатия, что представляет собой циклический процесс с невероятно большой длительностью периода цикла. Примерная схема такого цикла каждой Вселенной показана схематически в п.6 раздела об уровневой физике.

Наряду с понятием “среда“ существует понятие “окружающая среда“,

физическое содержание которого несколько иное. Это то, что окружает физическую систему независимо от того, на каком структурном уровне она находится. Применение в физике понятия “окружающая среда“ необходимо при классификации физических систем.

5. Содержание понятий "заряд" и "поле".

Каждый неделимый на конкретном структурном уровне материальный объект можно назвать элементарным (единичным) зарядом этого уровня структуры материи. А количество элементарных зарядов в отдельно взятой физической системе является зарядом системы. Ряд современных авторов считает, что элементарные материальные объекты имеют вихревую структуру, наиболее подробно и обоснованно такая точка зрения описана в работах В.Пакулина (2004, 2012).

Вращающийся вихревой материальный объект взаимодействует с окружающей его средой, вокруг объекта возникает особое состояние среды, которое называют оболочкой вихревого объекта (О.Репченко, 2008). Оболочки разных объектов взаимодействуют друг с другом. Характеристики такого состояния среды определяются уравнениями, называемыми уравнениями поля взаимодействия, называемого также **физическим полем или **силовым полем**. Таким образом, под понятием **поле** следует понимать систему уравнений, описывающих условия взаимодействия заряженных систем. Поэтому, на наш взгляд, поле не следует считать составной частью материи, как это встречается в литературе. Система уравнений, характеризующих поле, - это, скорее, один из методов математической физики.**

В литературе часто встречаются утверждения о том, что физика не знает, что такое заряд. Такие утверждения являются, на наш взгляд, следствием того, что авторы этих утверждений не различают понятия "единичный (элементарный) заряд" и "заряд системы", состоящий из единичных зарядов, строение которых интенсивно обсуждается. Количество единичных зарядов в заряде системы является частным случаем такой физической величины, как "количество считаемых величин".

6. Содержание понятия "вещество".

Экскурс по энциклопедиям и словарям показал, что наиболее часто встречается такое определение вещества: **"вид материи, который, в отличие от физического поля, обладает массой покоя"**. В этом определении вещество противопоставляется физическому полю. Как было показано в предыдущем параграфе, физическое поле не является видом материи, это система уравнений, описывающих условия взаимодействия заряженных систем. Поэтому следует поставить под сомнение следующее утверждение из Словаря естественных наук (Глоссарий.ру): *"считается, что материя существует либо в виде вещества, либо в виде поля"*.

На структурной схеме уровневого строения материи термин **"Вещество"** обозначает название одного из структурных уровней материи. Единичными материальными объектами этого уровня являются нейтрино, из которых состоят единичные объекты различных подуровней вещества: фотоны, электроны, позитроны, протоны и т.п. Объединяясь, эти объекты создают атомы, молекулы, ионы, которые формируют подуровень **"Макровещество"**. Таким образом, **вещество обладает четко выраженным свойством дискретности**, этим вещество отличается от окружающей его среды, которая на уровне **"Вещество"** может считаться непрерывной. Подобная точка зрения присутствует в некоторых первоисточниках.

7. Эфир, физический вакуум, пустое пространство, полевая среда.

Как показано в разделе, где излагается точка зрения на историю развития взглядов на сущность среды, средой на уровне **"Электромагнитное поле"** признавался то **"эфир"**, то физический вакуум, а в теории относительности говорится о пустом пространстве. **Согласно исторической закономерности, замеченной В.Пакулиным (2004) и показанной в вышеупомянутом разделе, начало XXI века является периодом, когда наука возвращается к тому, чтобы не считать среду пустым пространством.**

То, что в термин **"физический вакуум"** включено слово **"вакуум"**, является, по нашему мнению, историческим недоразумением. Физиков, сложившихся в XX веке, не устраивала концепция **"эфира"**, и они стали применять понятие **"вакуум"**. И чтобы как-то отличать его от технического вакуума, добавили слово **"физический"**.

Возможно, физики, которые согласны с тем, что физический вакуум

является не пустым пространством, а средой, согласятся с примиряющим термином О.Репченко (2008) “**полевая среда**”.

8. Общий вывод.

Понятия и их определения, приведенные в данном разделе, постоянно совершенствуются или даже меняются в соответствии с развитием теоретической и экспериментальной физики.

Особенно рекомендуется следить за развитием уровневой физики, которая развивает новую систему взглядов на описываемые в данном разделе понятия.

Литература

1. Пакулин В.Н., 2004. Структура материи. – <http://www.valpak.narod.ru>
2. Пакулин В.Н., 2012, Структура материи. Вихревая модель микромира. – СПб, НТФ "Истра", 120 с.
3. Репченко О.Н, 2008, Полевая физика или Как устроен мир? Изд. 2-е – М.: Галерея, 320 с.

4.1.8. Структурные уровни физической материи

1. Терминология структурных уровней материи.

В современной физике и философии принято применять выражение "Структурные уровни организации материи". Но при этом не разъясняется, что подразумевается под словами "*организация материи*". Из содержания самого слова "организация" вытекает, что материю можно организовать, а отсюда уже недалеко до понятия о Творце. По этой причине слово "организация" лучше в данном случае не применять. Примененное в заглавии раздела выражение "**физическая материя**" говорит о том, что рассмотрение в данном разделе ограничивается только *неживой материей*.

В большинстве первоисточников структурные уровни материи подразделяются на три уровня: **микромир, макромир, мегамир**, отличающиеся друг от друга размерами материальных объектов, составляющих среду каждого уровня. Возможно, одним из первых, кто заговорил об уровне строения материи, стал А.Вейник (1968). Он призвал различать "*уровни общей картины мироздания: субмакромир,*

макромир, микромир, субмикромир и т.д.". "Каждая элементарная форма движения одновременно присуща всем уровням мироздания. При этом переход с одного уровня на другой (от одних количественных характеристик системы к другим) сопровождается не только количественными, но и качественными изменениями движения".

2. Структурные уровни физической материи и уровневая физика.

Уровневая физика – новое научное направление, интенсивно развивающееся с конца XX века. Превратили уровневую физику в стройную систему взглядов представители киргизской (бишкекской) школы: физик С.Кадыров (1989, 1996) и философ и популяризатор уровневой физики О.Бондаренко (2000, 2001, 2005). **По их убеждению уровневый подход в физике "идет на смену линейному подходу"** (О.Бондаренко, 2001). При линейном подходе собирались и анализировались все данные об окружающем нас мире без рассмотрения общих черт, их объединяющих. Пришла пора рассматривать общие черты физических явлений на разных уровнях мироздания с точки зрения единой обобщенной картины, чему и способствует уровневый подход.

Конкретное применение **уровневого подхода** к построению **уровневой структуры строения материи** приведено в работах физика В.Пакулина (2004, 2010, 2012, 2015). В его работах показаны **схемы иерархии уровней и подуровней структуры материи и приведены их убедительные примеры. Отличием работ В.Пакулина является различаемость уровней по величине энергии связи материальных объектов уровня, что лишь косвенно отражает размеры этих объектов.** Интересно также уровневое строение материи, приведенное в работе А.Вильшанского (2014). В англоязычной научной литературе нами не найдены работы, соответствующие указанному научному направлению.

3. Упрощенная схема структурных уровней физической материи.

На рисунке приведена уровневая схема из работы В.Пакулина (2004), в которой E_{bnd} – энергия связи, T – температура. Она отличается от оригинала только тем, что в ней отсутствуют процентные соотношения уровней ввиду того, что они за прошедшее время изменились.



Согласно этой схеме **макроевещество** (третий подуровень вещества), в

состав которого входят газы, жидкости и твердые тела, составляет очень малую долю всей материи. Но именно это макровещество заполняет нашу Землю, именно с него начало человечество изучать материю, именно ему посвящена большая часть имеющейся научно-технической литературы.

Только по отношению к макровеществу проводились эксперименты для доказательства справедливости принципа эквивалентности инертной и гравитационной масс. Хотя в разделе, посвященном принципу эквивалентности масс, приведены свидетельства того, что инертной массы как таковой не существует. И это является одной из причин того, что к концу XX века физика оказалась в состоянии кризиса (О.Зайцев, 2001, 2002).

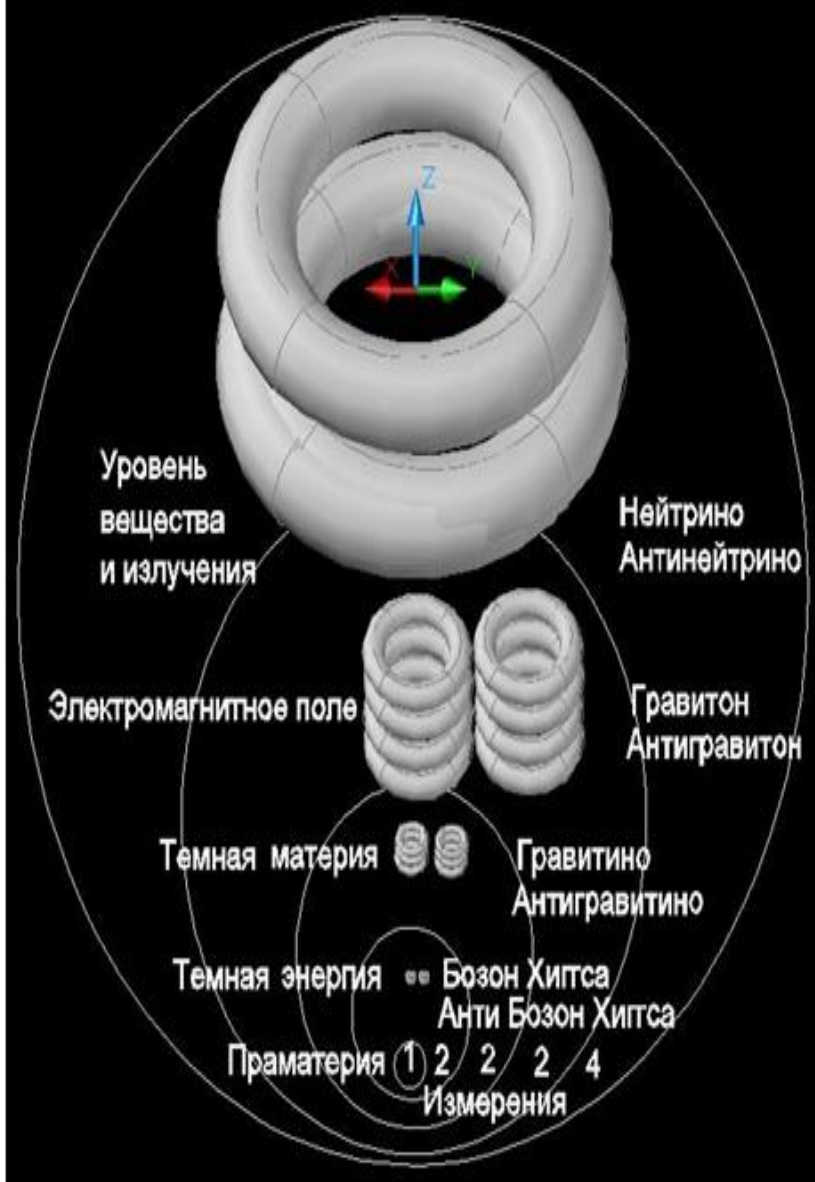
Например, перенос свойств, рассматриваемых на подуровне "Частицы", на явления, рассматриваемые на подуровне "Излучение", привел к появлению в физике идеи о корпускулярно-волновом дуализме. **Уровневый подход в физике показывает, что на самом деле никакого дуализма нет. Корпускулы и волны ведут себя по-разному, несмотря на одинаковые результаты экспериментов. При взаимодействии элементарных частиц на подуровне "Частицы" количество участвующих во взаимодействии частиц сравнительно невелико (например, при фотоэффекте). А при рассмотрении волновых процессов на подуровне "Излучение" количество участвующих во взаимодействии частиц на несколько порядков выше, но размеры частиц значительно меньше, и тогда вступают в силу статистические методы анализа явлений при таких явлениях, как дифракция и интерференция.**

По мнению И. Когана, недостатком данной и последующей схем В.Пакулина является неверно примененные термины, примененные для отдельных уровней. **Каждому уровню соответствует своя среда, а неравновесность этой среды устанавливается системой уравнений физического поля. Поэтому уровень структуры материи не следует называть именем поля.**

4. Замкнутая схема структурных уровней физической материи.

По поводу того, как и до каких пор будет расширяться наша Вселенная, было ли что-то до Большого взрыва, а если было, то что именно, единственна ли наша Вселенная, а если нет, то сколько их, суждений много.

В.Пакулин (2012) считает, что Вселенных много, наша лишь одна из них, различные этапы развития которой после Большого взрыва изучает современная наука. В.Пакулин считает, что после этапа расширения любой Вселенной следует этап ее сжатия соседними Вселенными до первоначального сверхсжатого состояния. Верхний и нижний уровни приведенной выше схемы должны соединиться, замкнув схему структурных уровней в единое целое.



Последовательность событий по В.Паулину такова. Сжимаемая Вселенная переходит в состояние Черной дыры, внутри которой образуется Белая дыра. Это предположение иллюстрируется с помощью новейших открытий в космологии. В Белой дыре материя сжатой Вселенной преобразуется в особое состояние, названное В.Паулиным **праматерией**.

Праматерия имеет только одно измерение, она характеризуется только потенциальной энергией сжатия. **В Белой дыре содержится материя и энергия всей сжатой Вселенной.** Внутри Белой дыры праматерия не движется и, следовательно, не нуждается в таких измерениях, как пространство и время. При достижении критического значения плотности энергии Белая дыра взрывается. Праматерия разлетается, становится движущейся материей, и это дает основание говорить о появлении еще двух измерений: пространства и времени.

Расширение Вселенной последовательно дает начало иерархически более низким уровням структуры материи. При этом возникновение иерархически более низкого уровня не означает, что более высокие уровни исчезают. Вселенная всегда содержит все ее уровни. Эволюция Вселенной с ее попеременным расширением и сжатием предстает как периодический процесс с гигантским значением длительности периода.

5. Структурные уровни физической материи подобны друг другу.

Главной отличительной особенностью модели В.Пакулина является то, что каждый структурный уровень характеризуется образованием торообразных вихрей. Эти вихри на каждом уровне имеют одно и то же строение, но отличаются друг от друга размерами, параметрами вращения и связанной ими энергией. Это объясняется **фрактальностью структурного строения материи, то есть самоподобием**, однородностью в различных шкалах измерения. **Фрактальность является следствием подобия процесса вихреобразования на всех уровнях структуры материи.**

Между двумя показанными выше схемами В.Пакулина имеется одно различие. Подуровень "Излучение" в верхней схеме относится к уровню "Электромагнитное поле", а в нижней схеме он относится к уровню "Вещество". **По нашему мнению, излучение существует на всех уровнях, иначе современная физика не смогла бы обнаружить эти уровни.** Только на разных уровнях излучение описывается разными закономерностями. Не исключено, что реликтовое излучение исходит от одного из этих уровней.

Различие в закономерностях, описывающих физические явления, имеет место не только при различных уровнях, но и в пределах одного уровня и подуровня. Например, подуровень "Макровещество" состоит, в свою очередь, из трех подуровней: газ, жидкость и твердое тело, и

эти три подуровня описываются разными закономерностями. В работе В.Пакулина (2010) приведен пример численного различия между энергиями взаимодействия частиц на подуровне "Атомы и молекулы". Диапазон значений энергии на подуровне межатомных связей в молекулах составляет 0,1-1 эВ, на подуровне взаимодействия электронов с ядром в атоме составляет 1-100 эВ и на подуровне внутриядерных взаимодействий возрастает до 10 МэВ. Там же указано, что *"взаимодействовать между собой могут лишь объекты ближайших подуровней с близкими параметрами размеров и энергии"*.

6. Необходимость уточнения терминологии структурных уровней материи.

Из фрактальности структурных уровней строения материи вытекает, что торообразные вихри на каждом уровне структуры материи имеют свои параметры, присущие только этому уровню. Подобные вихри, замыкаясь сами на себя, создают условия для консервирования энергии вращательного движения. **Эта законсервированная энергия и является энергией связи.** Так что на каждом уровне разной является и энергия связи. Вокруг вихрей образуются оболочки, которые формируют поле в среде конкретного уровня. **Важно подчеркнуть, что причиной появления поля являются вихри, а поле является лишь следствием наличия вихрей.**

И. Коган полагает, что характеристики единичных вихрей являются фундаментальными физическими константами для своего уровня. Это в равной степени относится к любому уровню. На каждом уровне

вихри оцениваются энергией связи, а создаваемые ими поля - зарядом вихря. Это, разумеется, не тот заряд, с которым мы имеем дело в макромире. На наш взгляд, на каждом уровне структуры материи имеется поле, характерное для данного уровня, и поэтому оно должно иметь своё собственное название. Сегодня мы имеем названия полей только на двух уровнях представленной ниже схемы, отчего и поставлены вопросительные знаки на рядом с другими уровнями на



схеме.

По указанной причине, по-видимому, неверно то, что уровень, следующий после уровня "**Темная материя**", на предыдущих схемах

назван "Электромагнитным полем". **Ведь поле - это лишь вторичная категория любого уровня.** Название уровня, следующего после уровня "Темная материя", должно быть другим. И. Коган предлагает название "**Видимая материя**", поскольку на этом уровне возникает движение фотонов. Такое предположение не противоречит современным представлениям, так как излучение более высоких уровней является потоком волн, а **фотон - это не волна, а частица.**

Точно так же следующий уровень, на взгляд И. Когана, неправильно называть "Веществом", так как **вещество - это тоже лишь одна из категорий уровня, являющаяся причиной возникновения поля.** И поле на этом уровне имеется, это гравитационное поле. Поэтому И. Коган предлагает для этого уровня название "**Осязаемая материя**".

Пять уровней после Большого взрыва относятся к полупериоду **расширяющейся Вселенной.** Затем наступает полупериод **сжимаемой Вселенной** через Черную дыру к Белой Дыре. После чего начинается следующий период эволюции Вселенной. Схема, естественно, априорная, но не более, чем многие другие.

7. Вместо вывода.

И. Коган отдает себе отчет в том, что он ссылается на работы малоизвестных современной науке авторов. Но, как показано на графике на странице, посвященной истории смены эпох рационализма и формализма в физике, очередная эпоха формализма, захватившая XX век, к концу XX века начала сменяться эпохой рационализма, о чем свидетельствуют работы разных ученых на рубеже XX и XXI веков (С.Кадыров, 1989, А.Шляпников, 1999, Н.Косинов, 2001, В.Пакулин, 2004, В.Ацюковский, 2006, О.Репченко, 2008). Перечислены лишь наиболее значимые, с точки зрения И. Когана, работы. **И эти работы подтверждают необходимость развития уровневого подхода в физике.**

Правда, эти работы публикуются, как правило, в Интернете или в виде книг, изданных за счет самих авторов, они не встречают одобрения со стороны официальной науки. Скорее наоборот, официальная наука в лице так называемой Комиссии по лженауке РАН противодействует распространению подобных взглядов. Но это и следует ожидать с учетом того, что в науке должна произойти неизбежная смена поколений.

Литература

1. Ацоковский В.А., 2006, Популярная эфиродинамика, или Как устроен мир, в котором мы живем. – М.: Знание, 288 с.
2. Бондаренко О.Я., 2001, Об уровне подходе в физике.
http://www.55referatov.ru/referats/103_Fizika/3179_Urovneviy_podhod_k_fizike__referat.php
3. Бондаренко О.Я., 2005, Уровневая физика. Что это? – Сборник статей, Бишкек, 96 с.
4. Бондаренко О.Я., Кадыров С.К., 2000, Сравнительная характеристика некоторых положений традиционной физики и альтернативной физики. Сб. “Другая физика”, -
<http://www.newphysics.h1.ru>.
5. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
6. Вильшанский А. 2014. Физическая физика. Ч.1. Гравитоника. Изд. DNA. Израиль.
7. Зайцев О.В., 2001, С какими проблемами физическая наука вступила в 21 век. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/2356.html>
8. Зайцев О.В., 2002, Принцип эквивалентности и законы сохранения. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/2910.html>
9. Кадыров С.К., 1989, Единая теория поля и вопросы космологии и элементарных частиц. – Фрунзе: Илим, 129 с.
10. Кадыров С.К., 1996, Анализ некоторых фундаментальных вопросов естествознания в свете теории единого поля. – Бишкек: Илим, 128 с.
11. Косинов Н.В., 2001, Глобальная взаимосвязь фундаментальных физических констант. –
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/2127.html>
12. Пакулин В.Н., 2012, Структура материи. –
<http://www.valpak.narod.ru>
13. Пакулин В.Н., 2010, Структура материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НТФ "Истра".
14. Пакулин В.Н., 2012, Структура материи. Вихревая модель микромира. – СПб, НТФ "Истра", 120 с.
15. Репченко О.Н., 2008, Полевая физика или Как устроен мир? Изд. 2-е – М.: Галерея, 320 с.
15. Шляпников А.А., 1999, Истинные возможности классической физики и ложные современной. – Сб. “Другая физика”,
<http://www.newphysics.h1.ru> .

4.1.9. Взаимосвязь энергии и материи

Рассматриваемая в данной работе система физических величин называется **энергодинамической**. Логично разъяснить, почему первым словом в названии этой системы является энергия.

Что общего между понятиями “энергия” и “материя”?

В 1961 году выдающийся ученый и преподаватель физики Ричард Фейнман в своих знаменитых лекциях (том 1) так сказал об **энергии**: *“Существует факт, или, если угодно, закон, управляющей всеми явлениями природы, всем, что было известно до сих пор. Исключений из этого закона не существует; насколько мы знаем, он абсолютно точен. Название его — сохранение энергии. Он утверждает, что существует определённая величина, называемая энергией, которая не меняется ни при каких превращениях, происходящих в природе. Само это утверждение весьма и весьма отвлеченно. Это по существу математический принцип, утверждающий, что существует некоторая численная величина, которая не изменяется ни при каких обстоятельствах. Это отнюдь не описание механизма явления или чего-то конкретного, просто-напросто отмечается то странное обстоятельство, что можно подсчитать какое-то число и затем спокойно следить, как природа будет выкидывать любые свои трюки, а потом опять подсчитать это число — и оно останется прежним”*.

Материя в Википедии это *“философская категория для обозначения физической субстанции вообще, в противоположность сознанию (духу)”*. Но и в этом определении, по нашему мнению, 4 последние слова лишние, так как сознание (дух) человека – тоже физическая субстанция.

В чем же различие между понятием "энергия" и понятием "материя"? По нашему мнению, оно состоит в том, что материя – это философская категория, которая не имеет числового значения, размерности и единицы, а энергия – это физическая величина, имеющая все эти атрибуты. *Энергия – это количественная характеристика материи*,

скалярная величина. А в статье показано, что энергия может быть и векторной величиной, в этом случае она характеризует материю также и качественно.

В физике распространен термин “материальные носители энергии”, сокращенно “энергоносители”. В плане сказанного дополнительное слово “материальные” излишне, оно как бы намекает на то, что могут существовать и нематериальные носители энергии. Таких быть не может, об этом рассуждают либо неграмотные в физике журналисты, либо разного рода колдуны, целители или откровенные шарлатаны. *Если нет материи, то отсутствует и ее характеристика, называемая энергией.*

Что понимается под формами и видами энергии

В физике рассматривается много разных форм и видов энергии (кинетическая и потенциальная, внешняя и внутренняя, свободная и связанная, энергия Гельмгольца и энергия Гиббса, эксэргия и анергия). Разобраться в этом может помочь классификация этих терминов. Другая статья посвящена разъяснению различия между формами и видами энергии.

Наличие большого количества терминов, связанных со словом “энергия“, приводит иногда к ложному впечатлению о том, что имеется много разных энергий. **На самом деле вопрос “какая энергия?” не корректен, корректен вопрос “энергия чего?“.** Потому что энергия привязана к энергоносителю и переносится им, это энергоносители бывают разные и различны формы их движения. И это различие неправомерно переносится на понятие “энергия”.

В физике часто применяется неверное понятие “поток энергии”, тогда как на самом деле это поток энергоносителей, то есть материальных объектов, переносящих энергию. Энергия - это характеристика (свойство) энергоносителей, это физическая величина, а свойство (величина) течь не может.

Некорректно также применение термина “плотность энергии” без указания того, какое физическое явление характеризует энергия или какой энергоноситель переносит энергию. Например, следует говорить о плотности энергии поля, плотности энергии зарядов, плотности энергии волн, не сокращая последнее слово термина.

Энергия не меняет свое физическое содержание ни при каких обстоятельствах. Энергия лишь привязана к различным видам движения материи, рассматриваемых на разных уровнях структурного состояния материи, где это состояние описывается различными уравнениями. Исходная форма записи этих уравнений содержит разные члены уравнения, каждый из которых характеризуется своим видом энергии, каждой форме движения материи приписывается своя форма энергии. Некоторые члены уравнений, применяемых на более высоких иерархических уровнях структуры материи, оказываются пренебрежимо малыми на более низких иерархических уровнях. Поэтому встречающийся иногда вывод о множественности энергий может быть сделан лишь вследствие недостаточного внимания современной физики к уровневому строению материи.

В качестве одного из примеров уровневого строения материи приведем интересную модель структуры материи, разработанную В.Пакулиным (2012).

Модель трансформации энергии на разных уровнях структуры материи

Согласно модели В.Пакулина (2012), представленной на рисунке, энергия, как физическая величина, не обязательно должна характеризовать только движение материи. С движением материи согласно этой модели связан непосредственно лишь такой вид энергии, как кинетическая энергия. А в так называемых Белых дырах, являющихся наиболее высоким структурным уровнем, материя характеризуется только потенциальной энергией. Этот уровень соответствует названию “праматерия”. Это уровневое состояние имеет только одно измерение: пространственное.



При увеличении плотности энергоносителей в Белой дыре до определенного максимума (являющимся, видимо, физической константой) происходит взрыв, в результате которого потенциальная энергия Белой дыры за чрезвычайно короткий промежуток времени преобразуется в кинетическую энергию сначала прямолинейного, а затем, вследствие спонтанных флуктуаций, вращательного вихревого движения. **Поскольку при возникновении вихрей всегда образуются пары с разным направлением вращения, то и энергоносители всегда образуются парно.** Естественно, что к пространственному измерению добавляется измерение временное.

На первом после взрыва Белой дыры уровне, называемом сейчас темной энергией, образуются энергоносители (бозоны Хиггса), предсказанные 40 лет тому назад и экспериментально обнаруженные совсем недавно.

На следующем уровне, называемом темной материей, образуются другие энергоносители (гравитино). Следующий после темной материи структурный уровень назван автором гипотезы "Электромагнитное поле", энергоносителями в котором являются гравитоны.

Энергоносители любого последующего уровня состоят из энергоносителей предыдущего уровня. Можно дискутировать по поводу того, насколько удачны приведенные выше термины для названий энергоносителей, но других пока в физике нет.

Главное состоит в том, что на каждом уровне энергоносители являются продуктами вращательного вихревого движения, в основе которых лежит тороидальный вихрь с двумя видами вращения: кольцевого вокруг центральной оси симметрии и торообразного вокруг свернутой в окружность оси симметрии соленоида. Угловая скорость торообразного вращения является фундаментальной константой для данного структурного уровня, а угловая скорость кольцевого вращения переменна и определяет значение энергии вращающегося энергоносителя.

Другой важнейшей особенностью уровневого подхода к структуре материи является то, что каждому структурному уровню соответствует своя среда, имеющая свои особенности и свои характеристики. При этом все среды последующего иерархического уровня существуют внутри сред предыдущих структурных уровней, не влияя непосредственно друг на друга вследствие очень большого различия в значениях энергии энергоносителей. Уровни вложены друг в друга.

Среда уровня "Электромагнитное поле" в предыдущие века называлась эфиром, в XX веке наличие эфира стали отрицать, считая, что движение энергоносителей происходит в пустоте. Поэтому среду этого уровня назвали вакуумом, добавив прилагательное "физический". В нашем веке всё большее число физиков возвращается к пониманию того, что **электромагнитное поле имеет свою среду, как и все остальные уровни.** Некоторые физики, чтобы избежать конфликта с апологетами физического вакуума, ввели термин "полевая среда".

И, наконец, структурный уровень, в котором мы существуем, назван автором гипотезы "Вещество". **Энергоносителями этого уровня являются нейтрино. Они объединяются в различные по конструкции объекты (электроны, позитроны, мезоны, атомы, молекулы). Укрупняясь, эти объекты создают тела, в том числе, космические.** А те, в свою очередь, создают звездные системы, галактики, метagalактики, Вселенные.

При каждом переходе с уровня на уровень часть кинетической энергии энергоносителей предыдущего уровня концентрируется (связывается) в потенциальную энергию энергоносителей следующего уровня. Суммарная кинетическая энергия каждого следующего уровня уменьшается, что и отражается в охлаждении Вселенной при ее расширении, так как **температура – это косвенный показатель кинетической энергии.**

Некоторые предположения, связанные с рассмотренной моделью

Можно предположить, что внутри Белой дыры в канун ее взрыва сосредоточена вся материя той Вселенной, которая будет образована после взрыва Белой дыры. И **материя Вселенной в этом состоянии характеризуется потенциальной энергией.** После взрыва Белой дыры по мере расширения Вселенной **потенциальная энергия постепенно переходит в кинетическую энергию движения энергоносителей,** на каждом уровне своих. В то же время на каждом уровне часть кинетической энергии переходит в потенциальную энергию, сконцентрированную внутри торообразных энергоносителей в виде кинетической энергии их вращательного движения.

Если это предположение верно, то закон сохранения энергии заключается в том, что энергия Вселенной – величина постоянная (мировая фундаментальная константа). Можно даже выразить мнение, что ***закон сохранения энергии является частным случаем закона сохранения материи.***

Литература

1. Ленин В. И., Полное собрание сочинений, 5 изд., т. 18, с. 131
2. Пакулин В.Н., 2012, Структура материи. Вихревая модель микромира. – СПб, НТФ "Истра", 120 с., а также Пакулин В.Н., Структура материи. – <http://www.valpak.narod.ru>

3. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., 1965 - 1977, Фейнмановские лекции по физике, в 9 томах. М.: "Мир".

4.1.10. Что такое координата состояния формы движения?

1. История возникновения понятия “координата состояния”.

Термин “координата состояния” ввел в механику Ж.Лагранж. Он обосновал принцип виртуальной работы и выразил этот принцип в виде уравнения, явившегося первой обобщенной записью закона сохранения энергии в механике.

У физической системы может быть несколько разных состояний. В настоящем разделе рассматриваются лишь **координаты неравновесного состояния системы, то есть координаты состояния различных элементарных форм движения энергоносителей. Каждая элементарная форма движения имеет свою координату состояния**. Если в физической системе рассматривается несколько разных элементарных форм движения, то рассматривается столько же разных координат состояния.

2. Что понимается под элементарной формой движения в физике.

Понятие “форма движения” применяется давно и часто в самых разных областях человеческой культуры и науки. Оба слова (“форма” и “движение”) определяются порознь, а совместно они особенно часто применяются в философии. В данном разделе будет разъяснено содержание понятия “форма движения” приведенное в физике. Чрезвычайно подробный анализ понятия “форма движения” в физике приведен в обзорной статье В.Вейника (2009).

А.Вейник (1968) ввел новое понятие "элементарные формы движения", то есть такие формы движения, которые нельзя свести одну к другой или подменить одну другой, каждая из которых качественно отлична от всех остальных элементарных форм движения. Слово “элементарная” понимается А.Вейником не как бесконечно малая, а как единичная, неделимая. Это понятие, в свою очередь, было введено им в основной постулат развитого им же нового научного направления, названного “энергодинамикой”.

Каждая **форма движения** у А.Вейника характеризуется **физической величиной, названной им зарядом этой формы движения**. В разделе, посвященном понятию заряд, указано, что этот термин применительно к формам движения является недостаточно определенным. В качестве альтернативы А.Вейник указывал на возможность замены его термином “**координата состояния**”. **Этим термином мы и пользуемся**. Приведем примеры координат состояния разных форм движения. **Например, линейное перемещение характеризует механическую прямолинейную форму движения, угол поворота - механическую вращательную форму движения, изменение электрического заряда - электрическую форму движения и т.д.**

Энергодинамика получила дальнейшее развитие в монографиях В.Эткина (1992, 2008). Правда, В.Эткин (2008) предпочитает говорить **о различных процессах, а не о различных формах движения**, но он говорит о процессах, происходящих в различных формах движения. Постулат А.Вейника о существовании **различных элементарных форм движения** получил у В.Эткина название **аксиомы различимости процессов**. Но это не меняет сути. Используя учение А.Вейника о различных формах движения, И.Коган (1998) создал систему физических величин, названную им впоследствии в работе (2003) **энергодинамической системой физических величин и понятий (ЭСВП)**.

3. Что первично – элементарная форма движения или ее координата состояния?

При систематизации физических величин сначала устанавливают, какой должна быть **координата состояния**, а потом **она определяет элементарную форму движения и все производные величины, свойственные этой форме движения**. В.Эткин (2008) указывает на то, что “*энергодинамика отличается тем, что она классифицирует процессы по их последствиям, то есть по особым, феноменологически отличимым и несводимым к другим изменениям состояния, которые они вызывают*”. А **последствие процесса – это и есть изменение координаты состояния системы или процесса**. В.Эткин пишет об этом так: “*Принцип классификации процессов по их последствиям предъявляет особые требования к выбору их «координаты», т.е. физической величины, изменение которой является необходимым и достаточным признаком протекания*

этого процесса. Эти требования состоят в выборе в качестве координаты процесса только такого параметра, который не изменяется при одновременном протекании в тех же точках пространства других, также независимых процессов”.

Одной и той же **координате состояния и определяемой ею элементарной форме движения** можно присвоить разные названия. Но название – это, в определенной мере, дело вкуса его автора. Гораздо **важнее обращать внимание не на название элементарной формы движения или ее координаты состояния, а на содержание самого принципа разделения движения на различные простейшие формы.** Большинство критиков энергодинамики А.Вейника (1968) критикуют предложенные им, подчас неудачно, названия форм движения, вместо того чтобы, как советовал Козьма Прутков, смотреть в корень, то есть в предложенный А.Вейником принцип разделения в физике движения на элементарные формы.

Применение понятия “элементарная форма движения“ оказалось весьма продуктивной методикой при решении проблемы систематизации физических величин.

4. Сколько существует элементарных форм движения и их координат состояния?

Форм движения столько, сколько выбрано разных координат состояния. А координатой состояния может стать почти любая физическая величина. При систематизации физических величин рассматривается также обобщенная физическая система с обобщенной координатой состояния, которая обозначается символом q .

Следует иметь в виду, что многообразие форм движения возникает только в нашем сознании. Оно продиктовано восприятием окружающего нас мира через наши органы чувств и ограничено чувствительностью этих органов, чувствительностью измерительных средств и, в какой-то степени, человеческой интуицией. На практике при анализе процессов, происходящих в системах, мы обращаем внимание на какую-то одну, максимум, на две-три координаты состояния физической системы, которые в данный момент представляются для нас наиболее важными, а изменениями остальных координат состояния пренебрегаем.

Если нас, например, интересует изменение такой координаты

состояния, как электрический ток в воздушном проводе (электрическая форма движения), то мы не станем обращать внимание на то, болтается ли этот провод под влиянием ветра (механическая форма движения). Максимум того, что сможет нас заинтересовать дополнительно, так это влияние еще одной координаты состояния (температуры воздуха) на электрическое сопротивление провода (это уже тепловая форма движения).

Ясно, что в принципе **физическая система может быть охарактеризована любым количеством координат состояния, что соответствует любому количеству элементарных форм движения.**

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Вейник В.А., 2009, Движение, формы движения материи, энергия. – URL <http://www.veinik.ru/science/phil/article/831.html>
3. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
4. Коган И.Ш., 2003, Пути решения проблемы систематизации физических величин. – URL <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7073.html>
5. Эткин В.А., 1992, Основы энергодинамики. – Тольятти, ТПИ.
6. Эткин В.А., 2008, Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). – СПб.: Наука, 409 с.

4.1.11. Перенос энергии в физической системе

1. Термин "перенос энергии" не точен.

В физике часто применяют термин "перенос энергии", хотя энергия это физическая величина, а физическая величина переноситься не может.

Через контрольную поверхность физической системы переносятся материальные объекты, содержащие энергию, которые являются энергоносителями.

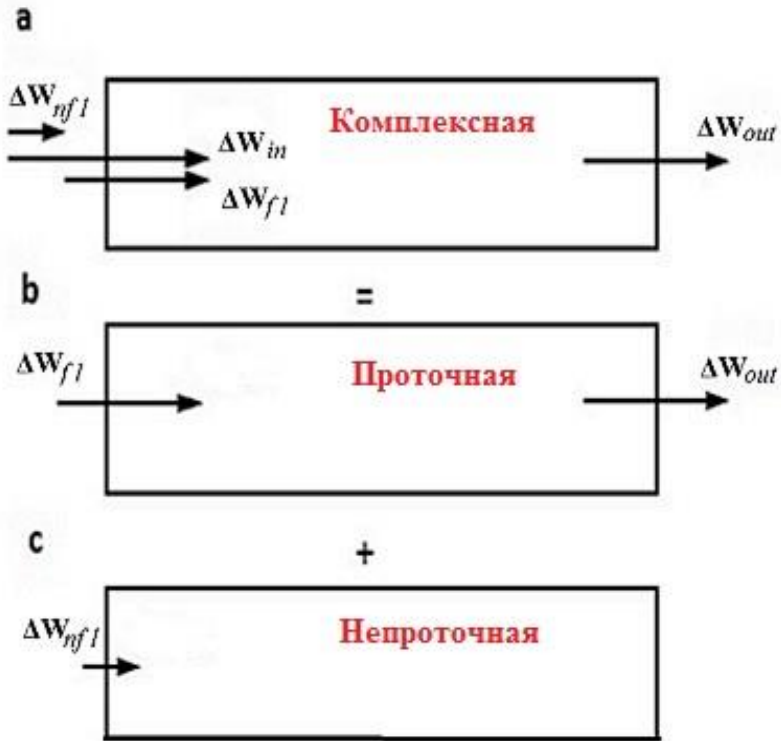
Следует иметь в виду, что координаты состояния форм движения часто представлены удельными физическими величинами, получающимися в результате математических операций, и это приводит к

недопониманию сути явлений. Например, в механической форме движения энергию переносят через контрольную поверхность системы энергоносители, имеющие массу. То есть координатой состояния формы движения должна быть масса энергоносителей. Но массу тела нередко делят на его плотность, и тогда в роли координаты состояния уже выступает переносимый объем тела, и форма движения имеет уже другое название. Если же поделить объем тела на площадь поперечного сечения потока, то в роли координаты состояния выступит уже перемещение, и форма движения имеет уже третье название.

Однако очевидно, что ни объем, ни перемещение не являются энергоносителями. Это просто абстрактные физические величины (кинематические величины). И в результате использования подобных математических операций упускается из виду истинное физическое содержание процесса переноса энергии, потому что не каждая применяемая в физике характеристика движения является реальной физической величиной (динамической величиной). В приведенных двух примерах координаты состояния получаются вследствие проведения математических операций. При преподавании физики обязательно требуется разъяснять, что скрывают математические операции и каково истинное физическое содержание энергоносителей.

2. Схема переноса энергии через физическую систему.

Приведем пример физической системы, в которой изучается для упрощения пояснений только одна форма движения, не играет роли, какая именно. Разность между энергиями энергоносителей по обе стороны от контрольной поверхности, отделяющей систему от среды (см. рис. **а**), называется дисбалансом энергообмена. Дисбаланс энергообмена на входе в систему ΔW_{in} в общем случае не равен дисбалансу энергообмена ΔW_{out} на выходе из системы. Пусть $\Delta W_{in} > \Delta W_{out}$, хотя это принципиальной роли не играет.



Разделим мысленно рассматриваемую систему на две части. Пусть в одной ее части, названной **проточной** системой (см. рис. **b**), значения энергообмена ΔW_{fl} на входе и на выходе равны. Нижний индекс "fl" происходит от английского слова flowing – проточный. Для проточной системы $\Delta W_{fl} = \Delta W_{in} = \Delta W_{out}$. **Процесс перемещения энергоносителей через проточную систему называют технологическим процессом**. В большинстве производств используются именно проточные системы.

На рис. **c** показана система, названная **непроточной**, потому что энергоносители либо только входят в нее, либо только выходят из нее. У такой системы $\Delta W_{in} = \Delta W_{nfl}$ и $\Delta W_{out} = 0$. Нижний индекс "nfl" происходит от английского слова non-flowing – непроточный. Энергоносители могут либо вводятся в непроточную систему

($\Delta W_{in} = \Delta W_{nfl}$), либо выводятся из нее ($\Delta W_{out} = -\Delta W_{nfl}$).

Систему, изображенную на рис. а, будем называть **комплексной системой**. Любую комплексную систему можно рассматривать, как состоящую из двух систем: из проточной и непроточной. В комплексной системе дисбаланс энергообмена ΔW_{in} можно представить в виде суммы двух слагаемых: $\Delta W_{in} = \Delta W_{fl} + \Delta W_{nfl}$.

Необходимость разделения физических систем на комплексные, проточные и непроточные при систематизации физических величин вытекает из того, что для физических величин, характеризующих эти виды систем, различны и определяющие уравнения, и уравнения состояния, и размерности, и единицы. В этом можно убедиться, посмотрев Таблицы физических величин и раздел, посвященный подробно описанию динамики в различных видах физических систем. В принципе, физическая система с разными формами движения может быть одновременно непроточной для одной формы движения, проточной – для другой формы движения и комплексной – для третьей формы движения. На практике же удобно анализировать системы с какой-либо одной преобладающей формой движения.

3. Перенос энергии в проточных и непроточных системах.

Процесс переноса энергоносителей в проточных системах отличается тем, что он происходит постоянно. Количество энергоносителей, входящих в систему, всегда равно в проточной системе количеству энергоносителей, выходящих из системы. Следовательно, изменение количества энергоносителей в проточной системе равно нулю, и полное количество энергоносителей в проточной системе постоянно. Процесс переноса энергоносителей в проточных системах, при котором значение энергии потока не изменяется со временем, называется **равновесным процессом**. Соответственно, процесс переноса энергоносителей, при котором значение энергии потока энергоносителей со временем изменяется, называется **неравновесным процессом**.

Несмотря на постоянное движение энергоносителей через проточную систему, при равновесном процессе локальное значение координаты состояния в любой точке проточной системы неизменно. Вдоль проточной системы уменьшается лишь значение той части энергии потока, которая переходит в тепловую энергию внутри проточной системы вследствие диссипации. Механизм этого перехода объяснен в

отдельном разделе, он является основным интересующим фактором при рассмотрении проточных систем.

В непроточных системах дисбаланс энергообмена $\Delta W_{нп} \neq 0$. Поэтому и полное количество энергоносителей в непроточной системе изменяется до тех пор, пока $\Delta W_{нп}$ не станет равным 0. Этот процесс изменения количества энергоносителей в непроточной системе называется **переходным процессом**. Переходные процессы в непроточной и в проточной системах проходят по-разному и описываются разными уравнениями.

4. Примеры переноса энергии в открытых проточных системах.

Приведем четыре примера процессов переноса энергоносителей в открытых проточных системах, в которых **энергоносители являются материальными вещественными объектами**.

1. Проточную систему можно представить в виде несжимаемой жидкости, движущейся в трубе с жесткими стенками. Общее количество жидкости в трубе постоянно несмотря на движение жидкости вдоль трубы. (Сколько жидкости вливается на входе в трубу, столько же и выливается на ее выходе.) **Уменьшается лишь энергия упорядоченного движения молекул жидкости, о чем свидетельствует уменьшение статического давления вдоль трубы и увеличение температуры жидкости. То есть часть потенциальной энергии жидкости, вошедшей в трубу, переходит в энергию неупорядоченного теплового движения молекул жидкости.** Последнее не всегда заметно вследствие перехода тепловой энергии из трубы в окружающую среду через стенки трубы.

2. Проточную систему можно представить в виде мысленно выделенного участка пространства, заполненного движущимися через участок частицами твердого тела. **В этом случае в технике говорят о перемещении сыпучей среды.** Особенно интересен частный случай такой проточной системы, в котором рассматривается одна единственная перемещающаяся частица (тело), координатой состояния которой является перемещение центра масс тела в направлении движения. Этот случай встречается в механике очень часто и подробно проанализирован в отдельном разделе.

3 Продолговатое тело, вращающееся вокруг неподвижной оси (вал), можно представить в виде проточной системы, передающей

вращающий момент. В этом случае перемещается элементарный сектор вращающегося тела, вращающийся вместе с телом. Координатой состояния является угол поворота этого сектора.

4. В электрической форме движения проточную систему можно рассматривать как систему, через которую перемещаются электрические заряды (электрический проводник с постоянным значением электрического тока).

5. Примеры переноса энергии в закрытых проточных системах.

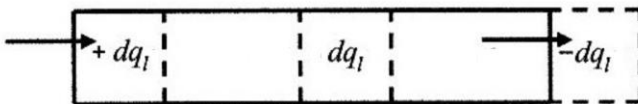
В закрытых проточных системах также имеет место поток энергоносителей, хотя он и не сопровождается переносом вещества. Чаще всего речь идет о переносе импульса колеблющихся молекул в направлении переноса энергии. Энергоносителями является волны. Диссипативные потери энергии при переносе энергии в таких системах заключаются в том, что значение колебательной скорости молекул снижается в направлении переноса энергии. Приведем два примера закрытых проточных систем.

1. При теплопередаче через твердую стенку эту стенку можно рассматривать как проточную систему, через которую перемещается тепловой заряд. От слоя к слою изменяется скорость тепловых колебаний атомов или молекул вещества.

2. При переносе энергии излучением участок среды, через который распространяется излучение, можно рассматривать как проточную систему, в которой энергоносителями являются волны.

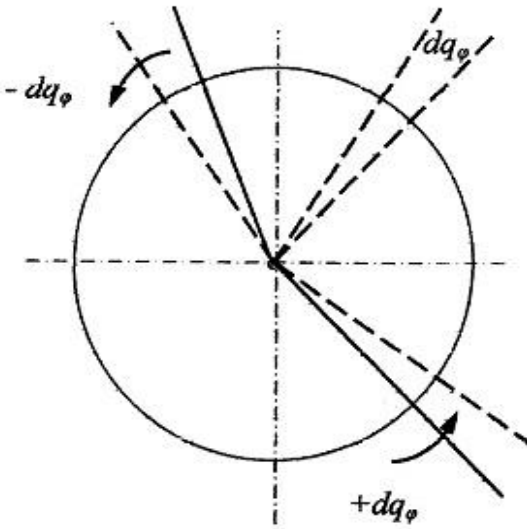
6. Понятие о перемещающейся координате состояния.

Рассмотрим изображенную на рисунке схему проточной системы, на которой для упрощения показано прямолинейное перемещение энергоносителей вдоль оси Ox .



На рисунке штриховыми линиями очерчены участки проточной системы с элементарной длиной dl , содержащие элементарное количество перемещающихся энергоносителей dq . Но обозначать его будем иначе, как dq_l (или $dq_{l\parallel}$). Величина $dq_{l\parallel}$ измеряется в те же единицах, что и элементарное количество энергоносителей dq , но это две величины, имеющие различное физическое содержание.

Векторную физическую величину $\mathbf{q}_l = (q_l \mathbf{v})$ назовем **движущимся энергоносителем** (по аналогии с термином "движущийся заряд" в электродинамике) или **перемещающимся энергоносителем**, если речь идет о прямолинейном движении. Она является характеристикой **процесса переноса** координаты состояния q от входа проточной системы к ее выходу и характеризует элементарное количество энергоносителей, перемещающихся через любое сечение проточной системы.



При прямолинейной форме движения цилиндрический участок перемещается с линейной скоростью $\mathbf{v} = dx/dt$, где x – линейное перемещение центра участка, а при вращательном движении сектор поворачивается с угловой скоростью $\omega = d\varphi/dt$, где φ – угловое перемещение центра сектора.

На втором рисунке штриховыми линиями очерчены участки системы с углом при вершине поворачиваемого сектора $d\varphi$, обозначенные dq_φ . Векторную величину \mathbf{q}_φ можно назвать **поворачиваемой координатой состояния**. Эта характеристика вращательного движения является псевдовекторной величиной.

7. Работа сторонних сил и моментов по перемещению координаты состояния.

Главное определяющее уравнение для i -ой формы движения определяет разность потенциалов между системой и средой в этой форме движения в виде

$$\Delta U = [dW/|dq|] e_{\Delta U} . (3)$$

Изменение энергообмена dW является работой dA **сторонних сил** F_{for} по линейному перемещению энергоносителей или как работу dA **сторонних моментов** M_{for} по их угловому перемещению. Определяющее уравнение для работы записывается в обобщенном виде как:

$$dA = F_{for} dq_l (4) \quad \text{или} \quad dA = M_{for} dq_{\varphi} . (5)$$

Сторонние силы при этом называют **движущими силами**, но слово "сила" уместно лишь в механической прямолинейной форме движения, в которой размерность движущей силы совпадает с размерностью силы. В современной физике к слову "движущие" в выражении "движущие силы" добавляют в виде префикса название той формы движения, чьи энергоносители перемещаются в проточной системе. Так возникают, например, выражения типа **электродвижущая сила**, если под q_l подразумевается перемещаемый электрический заряд, или **термодвижущая сила**, если под q_l подразумевается перемещаемый тепловой заряд. В этих случаях применение слова "сила" неуместно, как показано в разделе о применении слова сила, поскольку размерности "движущих сил" в разных формах движения различны. Сторонние моменты называют **вращающими моментами**.

По указанной причине термин "разность потенциалов" звучит более обобщенно и правильно, именно этим термином следует заменять термины "движущая сила" и "вращающий момент".

4.1.12. Названия и обозначения энергоносителей при переносе энергии

1. Энергоносители при систематизации физических величин.

Энергию через контрольную поверхность физической системы могут переносить только реальные физические объекты (тела, молекулы, электроны, волны и т.д.). В физике эти объекты называют материальными носителями энергии или сокращенно **энергоносителями**. Свойства энергоносителей и выступают в качестве характеристик процесса движения.

К сожалению, вследствие математических операций с физическими величинами, характеризующими энергоносители, часто не проявляется реальное физическое содержание энергоносителей. А в технической литературе под термином “энергоноситель” чаще всего имеются в виду различные виды топлива, запасенная энергия которых может быть использована для целей энергоснабжения. В данном разделе этот термин применяется лишь в том значении, о котором сказано в предыдущем абзаце.

Энергоносители обычно переносят энергию различных форм движения, то есть они выступают как носители нескольких координат состояний. Поэтому их можно назвать "ансамблями координат состояний". А.Вейник (1968) называл их "ансамблями зарядов".

2. Обозначения энергоносителей в непроточной системе.

Обобщенным обозначением характеристики любой формы движения в данной работе принят символ q с дополнительными индексами при необходимости. В любой элементарной форме движения системы будем различать **характеристику единичного энергоносителя q_e и характеристику суммарного количества энергоносителей q** . Под единичным энергоносителем понимается энергоноситель, не делимый на части на данном уровне структуры материи. (Например, в электрической форме движения единичными энергоносителями являются элементарные заряды: электроны и позитроны.)

Суммарное количество энергоносителей q может изменяться лишь в открытых системах, то есть при проникаемой контрольной

поверхности системы. Следовательно, символом dq обозначается бесконечно малое изменение суммарного количества энергоносителей в открытой системе. В закрытых системах количество энергоносителей не изменяется, то есть $dq = 0$, но может меняться интенсивность движения энергоносителей внутри системы.

В электродинамике и в гравидинамике количество энергоносителей измеряется в единицах заряда системы, то есть в кулонах или килограммах. Размерности и единицы заряда системы и единичного энергоносителя приведены в отдельном разделе.

Обозначения, названия и размерности энергоносителей сведены для наглядности в таблицу. О символах размерностей в таблице рассказывается в разделе, посвященном комплекту основных величин. Указанные в таблице обозначения и названия применимы для непроточных систем, то есть систем, не обменивающихся энергоносителями с окружающей средой или с соседними системами.

Название	Обозначение	Размерность
Характеристика единичного энергоносителя	q_e	QC^{-1}
Характеристика суммарного количества энергоносителей в системе	q	Q
Элементарное изменение суммарного количества энергоносителей в системе	dq	Q
Скорость изменения суммарного количества энергоносителей	dq/dt	QT^{-1}

В равновесных физических системах, находящихся также в состоянии равновесия с окружающей средой, энергоносители движутся хаотически. Направленное движение энергоносителей внутри системы возникает лишь в период нарушения равновесия между системой и окружающей средой в течение так называемого переходного процесса, по завершению которого система вновь приходит в равновесие с окружающей средой, но уже при другом количестве энергоносителей в системе.

Скорость изменения суммарного количества энергоносителей dq/dt

является скалярной величиной (никакого отношения к электрическому току она не имеет).

3. Физические величины при движении энергоносителей в проточной системе.

В проточных системах всегда имеет место направленное перемещение энергоносителей, которое является векторной величиной и обозначается $l = (ln)$, где n - орт направления перемещения энергоносителей (орт направления, перпендикулярного поперечному сечению потока энергоносителей). Соответственно, скорость перемещения энергоносителей $v = dl/dt$. Количество перемещающихся энергоносителей обозначим q_l . Векторную физическую величину $q_l = (q_l v)$ назовем **движущимся энергоносителем** (по аналогии с термином "движущийся заряд" в электродинамике) или перемещающимся энергоносителем.

Линейную плотность движущегося энергоносителя $i_l = q_l / l$ назовем током энергоносителей. В электродинамике i_l соответствует электрическому току i , который является векторной величиной и не равен скалярному выражению (dq/dt) . **Это означает, что принятое в современной физике представление о том, что электрический ток является скалярной величиной и функцией от плотности тока, неверно.**

Объемную плотность движущихся энергоносителей (плотность тока энергоносителей) обозначим символом $j_l = i_l / S$, где S – площадь поперечного сечения, через которое переносятся движущиеся энергоносители.

Все обозначения, названия и размерности сведены для наглядности в одну таблицу.

Название	Обозначение	Размерность
Длина участка, на котором перемещаются энергоносители	l	L

Перемещение энергоносителей	l	L
Скорость перемещения энергоносителя	$v = dl/dt$	LT^{-1}
Количество движущихся (перемещающихся) энергоносителей	q_l	Q
Движущийся (перемещающийся) энергоноситель	$q_l v = (q_l v)$	LQT^{-1}
Линейная плотность движущихся энергоносителей (ток энергоносителей)	$i_l = q_l / l$	QT^{-1}
Объёмная плотность движущихся энергоносителей (плотность тока энергоносителей)	$j_l = i_l / S$	$L^{-2}QT^{-1}$

4. Уровневая физика об энергоносителях в системах.

В интенсивно развивающейся с середины XX века уровневой физике структура материи подразделяется на уровни и подуровни. И каждому подуровню соответствует свой энергоноситель (см. О.Бондаренко, 2005, В.Пакулин, 2012). Например, на подуровне “Частицы” уровня “Вещество” – это фотоны, электроны, протоны, нейтрино, на подуровне “Тела” – это атомы, молекулы, на подуровне “Космос” – это планеты, звезды, галактики. **Каждый из таких энергоносителей обладает целостностью в пределах данного подуровня и сохраняемостью количества энергии в нем.** В случае распада единичного энергоносителя какого-либо подуровня его части становятся энергоносителями другого более высокого подуровня.

Единичный энергоноситель в уровневой физике, как и в физике вообще, является **квантом данного уровня или подуровня**. Следует только иметь в виду, что на каждом подуровне квант уровня или подуровня имеет своё собственное физическое содержание и собственное количество сконцентрированной в нем энергии.

Рассмотрим сказанное на примере электрона. **Каждый свободный электрон является носителем энергии электрического поля, создаваемого им, и носителем кинетической энергии механического движения электрона**. Если уединенный проводник находится в состоянии, когда обмен его свободными электронами с окружающей средой отсутствует, он обладает суммарной энергией всех электронов проводника. При наличии обмена электронами между

уединенным проводником и окружающей средой происходит изменение суммарной энергии проводника.

Точно так же **каждый атом газа является носителем энергии гравитационного поля и кинетической энергии механического движения атома**. Если газовая система находится в состоянии, когда отсутствует обмен атомами с окружающей средой, хаотическое движение атомов внутри тела приводит к нулю суммарную кинетическую энергию их броуновского движения. Остается лишь суммарная энергия гравитационного поля всех атомов.

Энергоносителями являются не только перечисленные выше материальные объекты, обладающие целостностью, но и волны. Каждая отдельно взятая волна представляет собой солитон, который и является энергоносителем. В отличие от энергоносителей с постоянным количеством энергии солитон теряет свою энергию при движении вследствие диссипации в окружающей среде.

Литература

1. Бондаренко О.Я., 2005, Уровневая физика. Что это? – Сборник статей, Бишкек, 96 с.
2. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
3. Пакулин В.Н., 2012, Структура материи. Вихревая модель микромира. – СПб, НТФ "Истра", 120 с.

4.1.13. Кпд физической системы

Определение КПД.

Коэффициент полезного действия η процесса переноса энергоносителей через проточную систему (**кпд**) или через проточную часть комплексной системы определяют в физике и, особенно, в технике по-разному. Иногда таким образом, что **кпд** становится больше 1. Последним особенно грешат различные "новаторы" и "первооткрыватели". Подобное происходит в случае неполного учета переходов энергии из одной формы движения в другую.

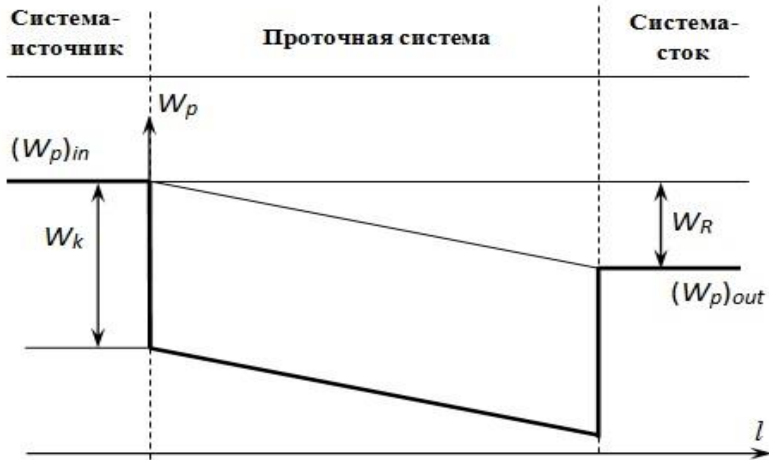
В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) **кпд** определяется,

как “величина, равная отношению энергии, полезно использованной системой, к энергии, полученной системой”.

Кпд как отражение диссипации энергии.

Для иллюстрации определения **кпд** приведем схему перехода друг в друга разных видов энергии внутри проточной системы.

Как только значение потенциальной энергии системы-источника



$(W_p)_{in}$ становится больше значения потенциальной энергии системы-стока $(W_p)_{out}$ (см. схему), возникает процесс переноса энергоносителей через проточную систему, находящуюся между ними, а одновременно с этим процесс переноса энергии в неупорядоченную тепловую форму движения. Кпд отражает эффективность полезного использования энергии, переносимой через проточную систему.

Разность потенциальных энергий $(W_p)_{in} - (W_p)_{out}$ обычно поддерживается искусственно. Та часть потенциальной энергии системы-источника $(W_p)_{in}$, которая переносится энергоносителями в проточную систему, преобразуется в кинетическую энергию упорядоченной формы движения W_k внутри проточной системы. На схеме это преобразование имеет вид скачкообразного процесса, показанного жирной ломаной линией, но в реальности оно происходит плавно, захватывая частично область перехода от системы-источника к проточной системе с обеих сторон. Обратное преобразование

кинетической энергии проточной системы в потенциальную энергию системы-стока происходит аналогично, только с другим знаком.

При равномерном процессе переноса значение кинетической энергии W_k в каждом сечении внутри проточной системы постоянно постольку, поскольку существует разность между значениями потенциальной энергии системы-источника и системы-стока. Если бы в процессе переноса энергоносителей через систему не стало бы диссипации энергии, то значение потока энергоносителей могло бы вырасти до бесконечности. В электродинамике такое явление называется коротким замыканием.

Расчет кпд.

Часть кинетической энергии W_k упорядоченных форм движения переходит по длине системы в энергию других видов энергии, совершая при этом полезную работу, а часть переходит в энергию неупорядоченного теплового движения, то есть в энергию диссипации W_R . Совершение полезной работы также сопровождается переходом в энергию диссипации, но уже в технологическом объекте. Разность между потенциальными энергиями на входе и на выходе из системы составляет в итоге энергию тепловой формы движения диссипации

$$W_R = (W_p)_{in} - (W_p)_{out} \cdot (1)$$

В соответствии с вышеприведенным определением **кпд** из справочника А.Чертова (1990) его следует определять по уравнению

$$\eta = W_R / [(W_p)_{in} - (W_p)_{out}] \cdot (2)$$

В принципе, следует учитывать все процессы перехода энергии, в том числе, и по причине перехода части внутренней энергии системы в любой вид энергии любой формы движения физической системы. Например, энергии потока, возникающего вследствие уменьшения энергии связи, сконцентрированной в системе, химической энергии, энергии, выделяемой в результате спонтанного радиоактивного распада.

Кпд процесса присущ и непроточным системам тоже. Различие между непроточными и проточными системами состоит в том, что в непроточных системах говорить о **кпд** можно лишь при переходном

процессе внутри системы, а в проточных системах процесс диссипации присутствует постоянно.

Литература

1. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.

4.1.14. Потенциал системы и разность потенциалов между системой и средой

1. Потенциал системы и потенциал поля – понятия разные

Термин “**потенциал**” применяется в науке почти в тридцати случаях. Он происходит от латинского слова *potentia*, что означает “возможность” в переводе на русский язык. В современной физике (в электродинамике и гравитационной динамике) рассматривается и разъясняется **потенциал физического поля** φ , и это приводит к затруднениям при изучении термодинамики, в которой рассматривается **потенциал физической системы**, имеющий другое физическое содержание. В статье И.Когана (1998) обращается внимание на то, что физическая величина, сопряженная с координатой состояния системы и побуждающая энергоносители к перемещению, имеет в научной литературе различные названия, не совпадающие друг с другом по их физическому содержанию: обобщенная сила, обобщенный потенциал, обобщенный напор, разность потенциалов. А в справочниках по физике и метрологии понятие “потенциал системы” не рассматривается.

В термодинамике применяют понятие “**термодинамический потенциал**”, но оно имеет косвенное отношение к понятию “потенциал системы”. К термодинамическим потенциалам относят внутреннюю энергию, энтальпию, свободную энергию Гельмгольца, потенциал Гиббса, хотя сам Гиббс применял в этом случае термин “**фундаментальные уравнения**”. **Перечисленные величины являются функциями термодинамического состояния системы.**

Понятие **обобщенный потенциал системы** ввел А.Вейник (1968),

обозначив его символом P . В.Эткин (2008) обозначил его символом Ψ , встречается для этой цели и символ U . Заметим, что символом U в электродинамике обозначается не потенциал, а разность потенциалов (напряжение). Совпадение символов для электрического напряжения и внутренней энергии физической системы создает ненужные методологические трудности. Мы остановимся на символе P .

2. Как следует понимать потенциал системы?

Изменение полной энергии системы dW влечет за собой изменение внутренней энергии системы dU . Если рассматривать систему с произвольным числом форм движения, равным i , то изменение внутренней энергии dU системы будет определяться уравнением

$$dU = \sum_i (\partial U / \partial q_i) dq_i = \sum_i P_i dq_i, \quad (1)$$

где dq_i – изменение координаты состояния i -ой формы движения. Физическую величину $P_i = (\partial U / \partial q_i)$ называют **потенциалом системы**. Потенциал системы относится к **интенсивным величинам**, значение которых не зависит от размера системы, они не аддитивны. С точки зрения метрологии потенциал P_i является удельной производной величиной (**изменением внутренней энергии, приходящимся на единицу изменения координаты состояния**). Примерами потенциалов системы являются термодинамическая температура, давление, плотность, концентрация.

Уравнение (1) не учитывает возможность неравновесного состояния системы, при котором присутствует перенос энергоносителей внутри системы вследствие различного рода флуктуаций внутри нее.

3. Как следует понимать локальный потенциал?

К неравновесным системам применимо понятие “**локальный потенциал**“, под которым следует понимать потенциал подсистемы бесконечно малых размеров, находящейся внутри системы. Локальный потенциал этой подсистемы для i -ой формы движения можно представить в виде

$$P_{ij} = \lim_{l_j \rightarrow 0} (dU_{ij} / dq_{ij}), \quad (2)$$

где dU_{ij} – изменение внутренней энергии i -ой формы движения j -ой

подсистемы, а dq_{ij} – изменение координаты состояния той же формы движения j -ой подсистемы. Бесконечно малый размер системы лишает возможности определить направление движения энергоносителей внутри подсистемы, и поэтому dU_{ij} и dq_{ij} в уравнении (3) являются скалярными величинами. В разных местах неравновесной системы значения локального потенциала, естественно, разные. При рассмотрении равновесной системы нет необходимости в применении понятия "локальный потенциал".

4. Что называется разностью потенциалов между системой и средой?

Окружающая систему среда также имеет потенциал для каждой формы движения. Если потенциалы системы и среды для i -ой формы движения не совпадают, то возникает **разность потенциалов** между системой и средой ΔP_i для этой формы движения. Разность потенциалов $\Delta P_i(t)$ является векторной величиной, поскольку она определяет направление движения энергоносителей при энергообмене: из среды в систему или в обратном направлении. Она определяется **уравнением переходного процесса** от одного равновесного состояния системы к другому.

В отличие от разности потенциалов между средой и равновесной системой, внутри неравновесной системы существует разность локальных потенциалов. Поэтому следует привести два разные определения:

- 1. Разность потенциалов по отношению к равновесной системе – это разность между потенциалом системы и потенциалом окружающей среды (или потенциалом соседней системы).**
- 2. Разность потенциалов внутри неравновесной системы – это разность между локальными потенциалами подсистем внутри системы.**

5. В чем состоит принципиальное различие между потенциалом системы и разностью потенциалов.

Разность потенциалов, в отличие от **потенциала системы**, является **аддитивной величиной**, но ее нельзя назвать экстенсивной величиной, так как она не зависит от массы и характеризует не систему, а различие между системой и средой. В качестве примеров разности потенциалов приведем:

- а) перепад давлений на противоположных концах трубы Δp , обуславливающий течение в ней жидкости;
- б) перепад давлений Δp по обе стороны поверхности системы, содержащей газ, обуславливающий изменение объема системы;
- в) электрическое напряжение на зажимах проводника ΔU , обуславливающее электрический ток в проводнике;
- г) температурный напор ΔT с двух сторон теплопроводящей стенки или в двух точках неравновесной тепловой системы, обуславливающий теплопередачу;
- д) разность вращающих моментов ΔM на обоих концах вала трансмиссии, обуславливающая передачу вращающего момента;
- е) разность силы воздействия на систему и силы противодействия системы ΔF , которую обычно неверно записывают просто как F . Когда говорят о силе, действующей на систему, то под ней следует подразумевать именно разность сил воздействия и противодействия.

С точки зрения метрологии потенциал P и разность потенциалов ΔP являются различными физическими величинами, имеющими одинаковую размерность, но различное физическое содержание. С точки зрения принципа причинности потенциал создает лишь возможность движения, а инициирует процесс движения разность потенциалов. Именно разность потенциалов является воздействием среды, вызывающим противодействие системы.

Примером применения локальной разности потенциалов является уравнение для определения разности сил воздействия и противодействия

$$\Delta F = \lim_{s \rightarrow 0} \Delta p S, \quad (3)$$

где S – площадь поперечного сечения потока энергоносителей. То есть определяется локальная разность потенциалов, действующих на граничную поверхность в точке. Сила является такой же абстракцией, как и точка, на которую она воздействует. Фактически на граничную поверхность воздействует разность потенциалов, коей в данном примере является перепад давлений Δp . Существующее в современной механике определение давления, как интегральной суммы сил, действующих на участок поверхности, противоречит принципу причинности. Наоборот, под силой, действующей на систему, следует понимать разность давлений в окружающей среде и в системе, деленную на площадь

разграничивающей поверхности (то есть сила это удельная производная величина).

6. Разность потенциалов как основа уравнения переходного процесса.

Разность потенциалов между равновесной системой и средой или разность потенциалов внутри неравновесной системы является причиной перехода i -ой формы движения системы из одного состояния в другое. Перевод слова "потенциал" на русский язык словом "возможность" делает понятнее суть этого перехода: **различие возможностей равновесной системы и среды или различие возможностей подсистем внутри неравновесной системы обуславливают перемещение энергоносителей из места с большей возможностью к месту с меньшей возможностью, что и предопределяет выравнивание возможностей.**

Изменение состояния системы в течение какого-то промежутка времени называется **переходным процессом**. Реальные переходные процессы происходят с конечной скоростью, их можно описать с помощью теории автоматического регулирования, в которой **уравнение переходного процесса** системы от одного равновесного состояния к другому после воздействия на систему разности потенциалов приобретает вид **линейного дифференциального уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами**. Это уравнение связывает ступенчатое изменение входного сигнала $x(t)$ (воздействия на систему) с изменением выходного сигнала $y(t)$ (следствия воздействия). В упрощенном виде уравнение переходного процесса выглядит так:

$$a_0 y(t) + a_1 (dy/dt) + a_2 (d^2y/dt^2) = x(t) . \quad (4)$$

Уравнение переходного процесса можно записать также в виде:

$$D \mathbf{q}_f + R d\mathbf{q}_f / dt + I d^2\mathbf{q}_f / dt^2 = - \Delta P , \quad (5)$$

где $\Delta P(t)$ – входной сигнал $x(t)$ в виде разности потенциалов между системой и окружающей ее средой; $\mathbf{q}_f(t)$ – выходной сигнал в виде перемещающейся координаты состояния системы (нижний индекс f от слова flowing – текущий).

В уравнении (5) D , R и I – это постоянные коэффициенты (параметры

системы), соответствующие a_0 , a_1 и a_2 . Их названия: D – жесткость системы (обратная величина $C = 1/D$ – ёмкость или упругость системы); R – диссипативное сопротивление системы (резистивность); I – инертность системы. Уравнение типа (5) применяется в современной механике в виде

$$D\mathbf{x} + R\mathbf{v} + I\mathbf{a} = -\mathbf{F}, \quad (6)$$

где \mathbf{F} – сила воздействия на систему как разность механических потенциалов, \mathbf{x} – перемещение, $\mathbf{v} = d\mathbf{x}/dt$ – скорость, $\mathbf{a} = d^2\mathbf{x}/dt^2$ – ускорение, D – жесткость системы, R – сопротивление внешнего трения, I – линейная инертность.

Уравнение переходного процесса применяется и в современной электродинамике, только в скалярном виде

$$(1/C)q + RI + L dI/dt = \Delta U, \quad (7)$$

где ΔU – разность электрических потенциалов, q – электрический заряд, $I = dq/dt$ – электрический ток, C – электрическая ёмкость, R – омическое сопротивление, L – индуктивность. Фактически же в уравнении переходного процесса (7) q – это перемещающийся (текущий) электрический заряд из уравнения (5) $q_{\mathcal{P}}$, и, соответственно, электрический ток $\mathbf{I} = dq_{\mathcal{P}}/dt$ также является векторной величиной. А уравнение (7) становится суммой векторных величин, как и уравнение (6).

7. Обобщенное уравнение энергообмена.

В Физическом энциклопедическом словаре сказано: "Если система не изолирована, то ее энергия может изменяться либо при одновременном изменении энергии окружающих тел на такую же величину, либо за счет изменения энергии взаимодействия тела с окружающими телам". Этот процесс носит название энергообмен. Таким образом, суммарное изменение энергии системы dW_{Σ} определяется не только изменением внутренней энергии системы dU , но и изменением энергообмена системы с окружающей средой dW в соответствии с уравнением

$$dW_{\Sigma} = dU + dW = \sum_i P_i dq_i + \sum_i \Delta P_i (dq_{\mathcal{P}})_i. \quad (8)$$

в котором $(dq_{\mathcal{P}})_i$ это элементарное количество перемещающихся из

системы в среду (или в обратном направлении) энергоносителей i -ой формы движения.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
3. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
4. Эткин В.А., 2008, Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). – СПб.: Наука, 409 с.

4.1.15. Процесс обмена энергией между физической системой и средой

1. Обмен энергией (энергообмен) в физике.

В средствах массовой информации и в поисковых системах часто применяется слово "энергообмен" в далеком от физики понимании, например, часто встречается такое словосочетание, как энергообмен между мужчиной и женщиной. Очевидно, что это относится к физиологии, а часто и к теологии. Так что комментировать подобное применение этого термина в данной статье не предполагается.

Чтобы изменилось количество энергоносителей в физической системе, в систему должно войти какое-то количество энергоносителей, дополнительное к тому, которым система располагает, либо выйти из системы какое-то количество энергоносителей. Изменение количества энергоносителей в системе приводит к изменению количества энергии в системе, что и является обменом энергией (или энергообменом) системы с окружающей средой. Частными случаями энергообмена в термодинамике являются работа A и количество теплоты (или теплота) Q . Энергообмен является функцией процесса переноса энергоносителей, а не функцией состояния системы. Значение энергообмена зависит от того, каким образом происходит процесс изменения состояния системы в течение переходного процесса. Поэтому элементарные значения работы и теплоты не являются

полными дифференциалами и обозначаются символами δA и δQ .

В различных формах движения рассматриваются различные виды работы, но, в конечном счете, все они являются **следствиями переноса энергоносителей через контрольную поверхность системы, а энергоносители обычно содержат в себе комплект координат состояния различных форм движения**. По этой причине И. Коган (1998) в таблице обобщенных величин Таблицы Аналогий применил вместо термина "энергообмен" термин "**обобщенная работа**". **Количество теплоты также можно рассматривать, как частный случай обобщенной работы, так как энергоноситель содержит в себе наряду с координатами состояния других форм движения координату состояния тепловой формы движения (тепловой заряд).**

2. Причины появления обмена энергией (энергообмена).

Рассмотрим причинно-следственную цепочку событий, вызывающих появление энергообмена. Если рассматриваемая форма движения согласно классификации Б.Доброборского (2008) является пассивной, то есть в ней нет изменения внутренней энергии, и равновесной, то потенциал системы P для любой формы движения неизменен. В этом случае энергообмен может возникнуть только при появлении разности потенциалов ΔP этой формы движения в окружающей среде и системе.

В термодинамике, где рассматривают только два вида энергообмена (**работу давления и количество теплоты**), их разность при переходе системы от состояния 1 к состоянию 2 равна изменению внутренней энергии dU . Появление разности потенциалов приводит к изменению количества энергоносителей рассматриваемой формы движения из системы в среду или в обратном направлении и, как следствие, к энергообмену в соответствии с первым законом термодинамики

$$dU = \delta Q - \delta A. \quad (1)$$

Во избежание недоразумений следует помнить, что **понятие "энергообмен" - это следствие "обмена материальными энергоносителями"**, а не непосредственный обмен энергией. **Энергия – физическая величина и переноситься может только с помощью энергоносителей.** Поэтому само понятие "перенос энергии", часто применяемое в физике, нерелевантно. Внутри неравновесной системы поток энергоносителей возникает при возникновении неравномерного

распределения внутри системы потенциалов подсистем. При этом также возникает разность потенциалов, но уже внутри системы. Правда, если энергообмен происходит внутри системы, то общее количество энергоносителей в системе не изменяется, то есть энергообмен системы с окружающей средой не происходит.

Примеры энергообмена приведены в разделе, посвященном формам и видам энергии. В современной физике энергообмен часто отождествляют с работой силы. Однако работа силы является частным случаем энергообмена, применяемым для механической прямолинейной формы движения. А термин "энергообмен" является обобщенным термином, и поэтому его применение при общих рассуждениях предпочтительнее.

3. Обобщенное уравнение обмена энергией (энергообмена)

Перенос энергоносителей через контрольную поверхность системы является процессом, происходящим во времени. Поэтому **систематизация физических величин базируется на рассмотрении как состояния системы, так и процесса изменения этого состояния.** Обычно выбирается какой-то момент времени $t = 0$, который называют **начальным моментом времени**, и исследуется, как меняется состояние системы в течение конечного промежутка времени, прошедшего после начального момента. В физике это называется исследованием поведения системы в динамике. Поэтому **предлагаемая на данной работе система физических величин называется динамической.**

Главной особенностью исследования динамической системы является то, что в ней **акцентируется внимание не на абсолютных значениях физических величин, а на их приращениях относительно значений в начальный момент времени.** В этом заключается суть **условия приращений**, являющегося одним из условий успешной систематизации физических величин.

Потенциал i -ой формы движения равновесной системы P_i равен

$$P_i = (\partial W / \partial q_i)_0, \quad (3)$$

то есть является **скалярной величиной**. Соответственно, скалярной величиной является и элементарное изменение координаты состояния dq_i . Но разность потенциалов ΔP_i между системой и средой и

элементарное количество перемещающихся энергоносителей $(dq_{\eta})_i$ могут быть только векторными величинами, так как они определяются направлением движения энергоносителей. Из этого следует, что **обобщенное уравнение энергообмена** должно быть записано в отличие от уравнения (1) в виде

$$dW = \sum_i \Delta P_i (dq_{\eta})_i . (4)$$

Разность потенциалов ΔP_i была представлено И.Коганом (1998) в скалярной форме для i -той формы движения в виде:

$$\sum_{k=0}^m a_{ki} \frac{d^k q_i}{dt^k} = \Delta P_i , (5)$$

Разность потенциалов ΔP для конкретной формы движения определяется уравнением

$$D q_{\eta} + R dq_{\eta} / dt + I d^2 q_{\eta} / dt^2 = - \Delta P , (6)$$

которое поясняется в разделе, посвященном разностям потенциалов. Приведем примеры координат состояния и разностей потенциалов. Если в механической прямолинейной форме движения координатой состояния выбрано перемещение, то в роли разности потенциалов оказывается сила, как отношение перепада давлений на участке контрольной поверхности. Если в электрической форме движения изменением координаты состояния является изменение количества электрических зарядов, то в роли разности потенциалов оказывается разность электрических потенциалов. Если в гидравлической форме движения (при течении жидкости в трубе) изменением координаты состояния является изменение объёма втекающей (или вытекающей) жидкости, то в роли разности потенциалов оказывается перепад давлений на входе и выходе трубы.

Энергообмен, как и энергия, в любых формах движения имеет одну и ту же размерность, оценивается в одних и тех же единицах.

Уравнение (4) позволило создать единую структуру таблиц энергодинамической системы физических величин ЭСВП, приведенную в работах И.Когана (1998, 2004) и в усовершенствованном виде в данной работе.

Литература

1. Доброборский Б.С., 2008, Об активных и пассивных термодинамических системах.
<http://interlibrary.narod.ru/GenCat/GenCat.Scient.Dep/GenCatPhysics/150000011/150000011.htm> .
2. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.

4.1.16. Обобщенное уравнение состояния

1. Общие сведения об уравнении состояния.

Уравнение состояния рассматривается обычно в термодинамике, под ним обычно понимается уравнение, связывающее между собой **термодинамические параметры системы**: давление p , объем V и термодинамическую температуру T физической системы. Для замкнутой термодинамической системы оно имеет вид

$$f(p, V, T) = 0. \quad (1)$$

Для различных состояний термодинамической системы это уравнение конкретизируется и поэтому имеет много разных форм записи, которые имеют различные названия. Приведем пример уравнения состояния.

2. Уравнение состояния идеального газа.

Чаще всего в физике применяют **уравнение состояния идеального газа** (уравнение Клапейрона-Менделеева), которое в дифференциальной форме выглядит так:

$$p \, dV_M = R \, dT, \quad (2)$$

где V_M – молярный объем, R – универсальная газовая постоянная. Выражение RdT соответствует изменению внутренней энергии dU , а константа R выступает в роли размерного коэффициента, учитывающего соотношение размерностей температуры T и внутренней энергии U .

3. Калорическое уравнение состояния А.Вейника.

В термодинамической системе речь идет лишь о двух формах движения: механической и тепловой, поэтому ни уравнение (1), ни уравнение (2) для систематизации физических величин других форм движения неприемлемы. Для систем с любым количеством форм движения А.Вейник (1968) записал обобщенное уравнение состояния для равновесных систем в виде

$$dU = \sum_i P_i dq_i, \quad (3)$$

где dU – изменение внутренней энергии системы, P_i – обобщенный потенциал i -ой формы движения системы, dq_i – изменение координаты состояния i -ой формы движения. Уравнение (3) названо им дифференциальным калорическим уравнением состояния. Оно позволило А.Вейнику формулировать изменения энергии в любой форме движения.

4. Обобщенное уравнение состояния системы.

Обобщенное уравнение состояния системы с любым количеством форм движения можно записать, например, так (В.Сычев, 1970):

$$dW = \left(\frac{\partial W}{\partial q_1} \right)_0 dq_1 + \left(\frac{\partial W}{\partial q_2} \right)_0 dq_2 + \dots = \sum_{i=1}^n dW_i. \quad (4)$$

В скобках записаны частные производные от изменения энергии системы dW по приращениям координат состояния ∂q_i в каждой i -ой форме движения системы. Нижний индекс "0" после каждой скобки означает, что при дифференцировании изменения энергии i -ой формы движения не учитываются изменения координат состояния в других формах движения системы. Это подчеркивает важность точного выбора координаты состояния при исследовании i -ой формы движения.

Выбрав в уравнении (4) координату состояния q_i , мы тем самым выбираем ту форму движения, которую будем рассматривать.

Таким образом, полное изменение энергии системы dW можно представить в виде суммы изменений энергии в отдельных формах движения системы, то есть в виде $\sum_i dW_i$.

5. Вывод закона сохранения энергии из обобщенного уравнения состояния.

При суммарном изменении энергии системы в уравнении (4) $dW_i = \sum_i dW_i = 0$ суммарная энергия системы постоянна ($W = \text{const}$), и сумма изменений энергий в разных формах движения системы тоже постоянна. Поэтому обобщенное уравнение состояния (4) можно считать математической записью закона сохранения энергии в физической системе.

6. Обобщенное уравнение энергообмена системы и среды.

Обобщенное уравнение состояния определяет изменения энергии разных форм движения внутри системы, так как каждое слагаемое уравнения (4) является P_i - обобщенным потенциалом i -ой формы движения системы. А при энергообмене системы с окружающей ее средой следует рассматривать сумму разностей потенциалов ΔP_i между системой и окружающей средой для i -ой формы движения. Принимая во внимание необходимость учета направления движения энергоносителей (из системы или вовнутрь системы), разность потенциалов является векторной величиной $\Delta \mathbf{P}_i$, как и перемещающаяся координата состояния i -ой формы движения \mathbf{q}_i . И тогда уравнение (4) записывается в виде обобщенного уравнения энергообмена

$$dW = \sum_i \Delta \mathbf{P}_i (d\mathbf{q}_i)_i . \quad (5)$$

которое было приведено в разделе, посвященном энергообмену между системой и средой. Разность потенциалов $\Delta \mathbf{P}$ в том же разделе определяется уравнением

$$D \mathbf{q}_i + R d\mathbf{q}_i / dt + I d^2 \mathbf{q}_i / dt^2 = - \Delta \mathbf{P} , \quad (6)$$

которое поясняется в разделе, посвященном разностям потенциалов. Приведем два примера применения обобщенного уравнения энергообмена в механических системах.

7. Уравнения работы силы при прямолинейном перемещении.

Рассмотрим уравнение состояния из теории упругости, связывающее деформацию растяжения-сжатия Δl и деформирующую силу \mathbf{F} с изменением потенциальной энергии W_p :

$$\mathbf{F} \Delta l / 2 = W_p, \quad (7)$$

называемое уравнением Клапейрона. Деформация dl соответствует (dq_{ii}) из уравнения (5), а сила \mathbf{F} соответствует производной ΔP_i из того же уравнения. То есть уравнение (7) - это аналог уравнения (5), только для одного слагаемого. Уравнение (7) чаще записывается в форме произведения модулей векторных величин.

Рассмотрим уравнение для определения элементарной работы силы dA при прямолинейном перемещении на расстояние dx :

$$dA = \mathbf{F} ds. \quad (8)$$

Уравнение (8) аналогично уравнению (7). Работа силы является частным случаем изменения энергообмена.

При воздействии на систему со стороны физического поля сила взаимодействия зарядов поля становится причиной совершения работы силы поля над системой. В приведенном в качестве примера уравнении (7) силой \mathbf{F} может оказаться сила тяготения либо кулоновская сила. Приведенные примеры показывают, что обобщенное уравнение энергообмена в записи (5) может служить в качестве клише для разных форм движения.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Сычёв В.В., 1970, Сложные термодинамические системы. – М.: Энергия.

4.1.17. Сколько значений у слова “сила“?

1. Разные определения термина “сила”.

С термином “сила” знакомятся на первых же этапах изучения физики. К тому же, этот термин является, пожалуй, чемпионом среди терминов, применяющихся в самых различных смыслах, и об этом подробно рассказывается в работе К.Гомоюнова (1983).

Приведем определение силы по метрологическому справочнику А.Чертова (1990): “Сила – это векторная величина, являющаяся **мерой механического действия** одного материального тела на другое”. Но это определение не совсем точно. Во-первых, в метрологии “величина” и “мера” – понятия различные. Во-вторых, неясно, как надо понимать слова “механическое действие”? Ведь **механическое действие в реальности осуществляется по площади, а не в точке**. Подробнее о взаимосвязи силы и давления в конце раздела.

Определение силы, как меры механического действия, ставит под сомнение правомочность применения понятия “**силы инерции**”. Их в учебнике по физике И.Савельева (2005, кн.1), например, считают фиктивными силами, не оказывающими механическое действие одного материального тела на другое. В то же время С.Кадыров (2001) доказывает, что силы инерции являются реальными мерами, но не действия, а противодействия. Явление инерции в гравитодинамике совершенно аналогично явлению самоиндукции в электродинамике, но магнитную силу, воздействующую на электрический заряд при самоиндукции, никто не считает фиктивной силой.

В физике часто применяют иное, нежели в метрологии, определение силы: “Сила – это векторная величина, являющаяся мерой взаимодействия материальных систем”. Это определение учитывает взаимодействие заряженных систем в физическом поле.

Выводить понятие “сила” из второго закона Ньютона, как это часто принято при преподавании, нелогично, и это мнение обосновывает Р.Фейнман (1965, т.1). Поэтому понятие “сила” часто применяется в сочетании с каким-то дополняющим словом (сила инерции, магнитная сила, сила Кориолиса, сила Лоренца и т.п.). В механике под понятием “сила” понимается частный случай разности потенциалов в поле переноса в механической прямолинейной форме движения. Словарь естественных наук (Глоссарий.ру) приводит расширенное определение силы: “мера взаимодействия материальных

тел на расстоянии", отсюда и термин "силовое поле", применяемый часто вместо термина "физическое поле".

2. Что же такое сила?

Сила является мерой любого действия: воздействия, противодействия и взаимодействия. Когда говорят "движущая сила" или "ускоряющая сила", то речь идет о мере воздействия, имея в виду, что потенциал окружающей среды больше, чем потенциал системы. Сила инерции является мерой противодействия инертности системы. Таким образом, **когда говорят о движущей силе, то подразумевается не сила, а разность сил воздействия и противодействия.** К сожалению, это уточнение не всегда принимается во внимание.

Сила тяготения в гравитинамике, кулоновская сила и магнитная сила в электродинамике являются мерами взаимодействия заряженных систем в силовых полях, то есть разностями потенциалов поля, а не разностями потенциалов системы и среды. При изменении положения системы в поле сила может быть расценена и как мера противодействия поля. Определяющие уравнения (уравнения связи) для сил воздействия в механике и термодинамике и для сил взаимодействия в электродинамике и гравитинамике различны, хотя их размерности и единицы одинаковы. Это лишний раз подчеркивает тот факт, что **физическое содержание величины определяется не размерностью, а уравнением связи.**

В СИ силу \mathbf{F} определяют из второго закона Ньютона $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$, и поэтому ее размерность равна ЛМТ^{-2} , а единица равна 1 Н (ньютон) = 1 м кг с⁻². Однако сила \mathbf{F} – всего лишь один из вариантов разности потенциалов ΔP между системой и окружающей средой. Согласно уравнению состояния в термодинамике сила должна определяться по уравнению:

$$\mathbf{F} = (\delta A/dx) \mathbf{e}_F, \quad (1)$$

где δA – работа расширения системы; $dx = dV/dS$, dV – изменение объема системы; dS – элементарная площадка, на которую действует сила; \mathbf{e}_F – орт направления движения, параллельный орту силы. Анализ размерностей уравнения (1) показывает, что размерность силы в системе размерностей ELACT равна EL^{-1} , а единица равна $1\text{Н}=1\text{Дж м}^{-1}$. Таким образом, признание энергии основной физической величиной приводит к естественно воспринимаемым размерности и единице силы.

3. Неверные применения слова “сила”.

Приведем примеры неверного применения термина “сила”. В электромагнетизме говорят об **электродвижущей силе (ЭДС) и магнитодвижущей силе (МДС)**. Но ЭДС и МДС являются не силами, а множителями в определяющих уравнениях для сил взаимодействия в электромагнитном поле, их размерности не равны размерности силы. ЭДС и МДС роднит с силами только одно: они могут являться разностями потенциалов, но каждая – в своей форме движения. К слову, в словосочетании “**ЭДС самоиндукции**”, согласно замечанию К.Гомоюнова (1983), действует вовсе не электродвижущая сила (как мера воздействия), а электротормозящая сила (как мера противодействия).

В.Эткин (2005) предлагает называть термином “сила” любые разности потенциалов, например, термодвижущую силу, гидродинамическую силу, диффузионную силу и т.д. Но, поскольку подобные “силы” не всегда имеют размерность силы в механике, то это предложение не целесообразно, так как приводит к недопониманию при преподавании.

Далее, в словосочетаниях “сила тока”, “сила звука” и “сила света” слово “сила” совершенно неуместно. Здесь слово “сила” воспринимается как “интенсивность”. Именно так и звучат эти словосочетания на английском языке. Рационально было бы последовать этому примеру и в физической терминологии на русском языке. Например, термин “сила тока” уже заменяют на термин “электрический ток”, а термин “сила звука” – на термин “интенсивность звука”.

Точно так же неверно применяется слово “сила” в случае, когда напряженность электрического поля, необходимую для нейтрализации остаточной поляризованности сегнетоэлектрика, или напряженность магнитного поля, полностью размагничивающую магнетик, называют “**коэрцитивной силой**”. Напряженность поля и сила – различные физические величины и по содержанию, и по размерности.

Отсутствие системности в определениях силы привела к тому же и к бессистемности в индексации символов, обозначающих силу. Плохо, конечно, когда эта индексация различна в разных учебных пособиях. Но еще хуже, когда в метрологических справочниках или учебниках по физике у символов, применяемых для обозначения различных сил, индексация вообще отсутствует, а это, к

сожалению, тоже имеет место. И приходится ломать голову над тем, что же понимается в каждом конкретном случае под символом F.

4. О взаимосвязи понятий "давление" и "сила".

В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) давление p определяется так: физическая величина, равная отношению силы dF , действующей на элемент поверхности нормально к ней, к площади dS этого элемента:

$$p = dF/dS . (2)$$

В этом определении пропущено одно слово, следовало написать "модуля силы". В справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) уравнение (2) уточнено, оно имеет несколько иной вид:

$$p = dF_n /dS , (3)$$

и указано, что dF_n – численное значение нормальной силы. Уравнение (3) в справочнике А.Чертова (1990) тоже присутствует, но применяется для определения нормального напряжения σ при упругой деформации тела, а сила dF_n называется упругой силой.

Если учесть, что в любом случае сила **F** является векторной величиной, то согласно уравнениям (2) и (3) давление тоже должно было бы считаться векторной величиной. Но давление p является скалярной и интенсивной величиной. Причиной такого несоответствия является тот факт, что уравнения (2) и (3) не соответствуют принципу причинности. Ибо на самом деле сила – это абстрактная величина.

Реальной величиной и причиной, обуславливающей появление силы, является векторная разность давлений Δp между системой и окружающей ее средой или разность давлений между двумя соприкасающимися системами. И разность давлений направлена либо к системе, либо от системы, почему и является векторной величиной. Эта разность давлений действует на какой-то участок контрольной поверхности. Сила является лишь следствием наличия перепада давлений Δp , и поэтому должна определяться уравнением

$$F = \Delta p S \quad \text{или} \quad dF = \Delta p dS . (4)$$

В механике жидкостей и газов давление можно представить следующим образом. Пусть вовнутрь системы с текучей средой помещено тело, о которое упруго ударяются со всех сторон молекулы среды с силой \mathbf{F}_i . Результирующая этих сил $\Sigma_i \mathbf{F}_i$, отнесенная к участку площади S_i , определяет разность давлений в соответствии с уравнением $\Delta p = \Sigma_i \mathbf{F}_i / S_i$ между системой и телом. Суммарное воздействие на тело со всех сторон равно нулю. То есть, скалярную величину "давление", определяемую уравнениями (2) и (3), следует считать абстрактной величиной.

Литература

1. Гомоюнов К.К., 1983, Совершенствование преподавания технических дисциплин. – Изд. Ленинградского ун-та, 206 с.
2. Кадыров С.К., 2001, Всеобщая физическая теория единого поля. – Бишкек: “Кыргыз Жер“, №1, также <http://www.newphysics.h1.ru/Kadyrov/Kadyrov-contents.htm>.
3. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., 1965 - 1977, Фейнмановские лекции по физике, в 9 томах. М.: “Мир”.
4. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
5. Эткин В.А., 2005, Многоликая энтропия. - http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/mnogolikayaentropyja.shtml
6. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.

4.1.18. Что понимается под работой и мощностью?

1. Определения работы.

Понятие “работа“ как название физической величины раскрывается двояко: как **механическая работа (работа силы)**, зависящая от векторов силы и перемещения, и как **термодинамическая работа** — количество энергии, переданной или полученной системой путём изменения её внешних параметров. Правда, в физике применяется также понятие “**работа поля**“, но оно трактуется, как “**работа сил поля**“.

Рассмотрим существующие определения работы силы. В БСЭ **работа силы** определяется, как “мера действия силы, зависящая от численной величины и направления силы и от перемещения точки её приложения“. В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) определение работы силы присутствует в виде словесной формулировки определяющего уравнения для элементарного изменения работы dA силы \mathbf{F} на элементарном перемещении $d\mathbf{r}$ (в виде скалярного произведения векторов) без раскрытия физического содержания этого понятия:

$$dA = \mathbf{F} d\mathbf{r} . \quad (1)$$

Из уравнения (1) следует, что на конечном перемещении работа силы $A = \mathbf{F}\mathbf{r}$. Учебник по физике И.Савельева (2005) так определяет физическое содержание работы силы: “Работа результирующей всех сил, действующих на частицу, идет на приращение кинетической энергии частицы“. Однако в следующем параграфе этого же учебника работа силы трактуется уже, как причина приращения потенциальной энергии, из чего можно сделать вывод, что работа сил идет на приращение любого вида энергии. Что именно понимается под видами энергии, показано в разделе, посвященном формам и видам энергии.

Термодинамическая работа — это способ передачи энергии от системы к окружающей ее среде (или в обратном направлении), связанный с изменением внешних параметров системы. В термодинамике ее называют также **работой расширения** δA , она и количество теплоты δQ являются двумя функциями процесса изменения состояния системы. Их можно объединить понятием “энергообмен” системы со средой. Наряду с обозначением A (от немецкого слова Arbeit) часто применяется обозначение W (от английского слова work).

2. Работа как энергообмен в конкретных формах движения.

Понятие “работа“ можно применять не только в прямолинейной форме движения и можно говорить не только о работе силы. С таким же успехом и с той же размерностью можно говорить и о **работе вращающего момента** \mathbf{M} при вращательной форме движения, и о **работе перепада давлений** Δp при объемной форме движения, и о работе в других формах движения. То есть уравнение (1) можно записать также в виде:

$$dA = \mathbf{M} d\phi \quad (2)$$

Или

$$dA = \Delta p dV, \quad (3)$$

где $d\varphi$ – элементарный угол поворота; dV – элементарное изменение объёма.

В разделе, посвященном различным формам движения, показано, что это различие определяется только выбором координаты состояния. И уж по координате состояния определяется вид разности потенциалов.

В приведенных выше примерах выбор в качестве координаты состояния *перемещения* предопределил то, что в качестве разности потенциалов появилась сила, выбор *угла поворота* предопределил появление вращающего момента, выбор *изменения объёма* предопределил появление перепада давлений. **Именно такая причинно-следственная цепочка имеет место в природе, хотя при изучении физики по современной методологии складывается впечатление, что всё наоборот.**

Таким образом обобщенное определение понятия "работа" может выглядеть так: ***Работа – это энергообмен между системой и средой в любой конкретной форме движения.***

3. Чем отличается понятие "работа" от понятия "энергия"?

Работа – это функция процесса энергообмена, она характеризует процесс переноса энергоносителей между системой и окружающей ее средой или внутри неравновесной системы.

Энергия – это количественная мера движения материи, она не указывает непосредственно на процесс энергообмена. Энергия может быть связана только с состоянием физической системы, например, потенциальная энергия. Энергия может быть характеристикой элементарной частицы, например, энергия покоя. Энергия может характеризовать работоспособность системы. Например, у В.Эткина (2013) "*энергия – это способность совершать любую (упорядоченную и неупорядоченную, внешнюю и внутреннюю, полезную и диссипативную, механическую и немеханическую) работу*".

Таким образом, **энергия – более содержательное и более обобщающее понятие, чем работа**. По этой причине в рассматриваемой на данной работе энергодинамической системе величин ЭСВП энергия включена в комплект основных величин с символом размерности E .

4. Существующие определяющие уравнения для мощности.

Приведем определение мощности из БСЭ: *“физическая величина, измеряемая отношением работы к промежутку времени, в течение которого она произведена”*. По стандарту мощность обозначается символом P (от английского слова power). К сожалению, тот же символ P применяется и для обозначения потенциала системы.

Физическая величина **“мощность”** в современной физике имеет разные определяющие уравнения. Задачей систематизации физических величин является выяснение того, какие из этих определяющих уравнений первичны, а какие вытекают из них в качестве следствий. В общем случае, в соответствии с приведенным определением из БСЭ, мощность определяется формулой

$$P = dA/dt, \quad (4)$$

где dA – элементарное изменение работы за элементарный промежуток времени dt . Однако в метрологическом справочнике А.Чертова (1990) указанное определение мощности проходит как вторичное, а в качестве первичного приводится определение мощности в виде скалярного произведения векторов силы \mathbf{F} и скорости \mathbf{v} , то есть только для механической прямолинейной формы движения:

$$P = \mathbf{F} \mathbf{v}. \quad (5)$$

Нетрудно показать, что на самом деле первичным является уравнение (4), а уравнение (5) вытекает из него после простых математических преобразований:

$$P = dA/dt = d(\mathbf{F} \mathbf{r})/dt = \mathbf{F} d\mathbf{r}/dt = \mathbf{F} \mathbf{v}.$$

Наконец, определения в справочнике А.Чертова даны в виде словесных формулировок, что не раскрывает физического содержания мощности.

5. Обобщенное определяющее уравнение для мощности.

Обобщенное физическое содержание мощности раскрывается уравнением

$$P = dE/dt, \quad (6)$$

так как элементарное изменение работы dA является синонимом элементарного изменения энергообмена dE (изменения внутренней энергии системы). В уравнении (6) мощность относится к любой форме движения, и ее обобщенное физическое содержание можно определить, как изменение энергии потока энергоносителей в течение элементарного промежутка времени dt в любой форме движения.

Именно уравнение (6) является определяющим для мощности в любой форме движения, так как **изменение энергообмена dE является общим для всех форм движения, а работа силы dA применима лишь в механике.** Поэтому физическое содержание понятия “мощность” хорошо отражается следующей фразой: мощность – это мгновенное значение энергии потока энергоносителей, входящего в физическую систему или выходящего из нее.

Литература

1. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
2. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
3. Эткин В.А., 2013, Теоретические основы бестопливной энергетики. "Altaspera", Канада, а также http://www.etkin.iri-as.org/etkin_book.pdf

4.19. Как понимать термин “момент” в физике?

Слово “момент” в переводе с латыни означает “движущий”. И этот смысл вполне оправдывает себя в применении к понятиям “**вращающий момент**”, “**крутящий момент**”, “**изгибающий момент**”. Эти физические величины являются обычно векторными произведениями радиус-вектора, перпендикулярного линии действия силы, на вектор силы. Однако со временем слово “момент” стали применять к любому произведению радиус-вектора на любую физическую величину, причем не обязательно векторную. В этих

случаях лексический смысл слова “момент” (то есть, придающий движение) отходит на второй план или совсем теряется. Приведем примеры.

Нелогичные применения термина “момент”

Термин “**момент количества движения**” в буквальном переводе на русский язык является тавтологией (то, что движет количество движения). Правда, сейчас термин “количество движения” несправедливо считается устаревшим, и вместо него применяют термин “импульс”. Однако слово “импульс” означает в переводе “толчок”, и тогда термин “**момент импульса**” в переводе на русский язык означает “то, что движет толчок”. Физический смысл буквального перевода указанных двух терминов выглядит весьма туманно. При этом имеются основания полагать, что количество движения и импульс – понятия не равнозначные. В английском языке слово “импульс” звучит, как “momentum”, а слова “момент импульса”, как “moment of momentum”. Ситуация не лучше.

Другим примером является применение термина “**кинетический момент**”. В буквальном переводе на русский язык получается также тавтология, что-то вроде “двигающий и сообщающий движение”, причем слово “кинетический” пришло из греческого языка, а слово “момент” – из латыни. Мало того, в переводе этого термина нет и намек на то, что речь идет о вращательном движении. Может быть, поэтому в квантовой механике вместо термина “кинетический момент” применяют термин “**угловой момент**”, что примерно означает в переводе на русский язык “побуждающий угловое движение”. В данном случае хотя бы указывается на угол поворота при вращении.

На английском языке термины “кинетический момент” и “момент количества движения” звучат как “moment of inertia”. Однако первый из этих терминов относится к вращательной форме движения, а второй термин относится к орбитальной форме движения. Как описано в разделе , посвященном формам и видам движения, это разные формы движения, и поэтому кинетический момент и момент количества движения имеют разные определяющие уравнения.

Словосочетание “moment of inertia” переводится с английского языка на русский еще и как “**момент инерции тела**”. А это уже явная терминологическая путаница, так как момент инерции тела является параметром противодействия при вращении тела (конкретно:

инертность тела при вращении). Кинетический момент и момент инерции тела определяются по разным уравнениям и имеют разные размерности, то есть это разные физические величины. Интересно, что термин “момент инерции тела” переводится на русский язык с латыни буквально, как “движущий инерцию“, хотя такой перевод не имеет никакого физического смысла.

Наконец, в термине “момент времени“ перевод слова “момент“ приводит к бессмысленности, ибо получается что-то вроде “двигающий время“.

Неверное применение термина “момент“

Нелогичность терминологии сочетается порой с ошибкой. Например, **ВИКИПЕДИЯ** считает кинетический момент, угловой момент, орбитальный момент, момент количества движения и момент импульса синонимами. Однако систематизация законов сохранения показывает, что эти понятия, хотя и имеют одну природу, принадлежат разным физическим величинам, поскольку они определяются по разным уравнениям.

В дополнение к тому, что сказано выше о моменте инерции тела, скажем, что он является вовсе не векторной величиной, как все упомянутые ранее моменты, а скалярной, и в его определяющем уравнении одним из сомножителей является не радиус, а квадрат радиуса.

И всё же все приведенные термины имеют определенное отношение к движению. А вот что получается при искусственном переносе терминов из динамики в статику. Появляется такой термин, как “**статический момент**“, в котором существительное и его определение в переводе на русский язык имеют противоположные по смыслу значения, нечто вроде “неподвижно движущий“.

Существует и определенное различие между такими разными физическими величинами, как “вращающий момент” и “момент силы”. Вращающий момент является воздействием на тело при его вращении, то есть применяется в динамике. А момент силы – это векторное произведение силы на радиус-вектор, величина, применяемая в статике при расчете конструкций. Когда метрологи начнут применять угол поворота в качестве размерной величины, станет ясно, что у вращающего момента и момента силы разные размерности.

А такой термин из статики, как “**момент инерции сечения**”, вообще вызывает недоумение, ибо, во-первых, понятие “инерция” твердо увязано с динамикой, и, во-вторых, сечение не имеет массы и, следовательно, вообще не может обладать инертностью.

Плохую услугу оказывают сокращения терминов. Например, **орбитальный момент импульса электрона** называют сокращенно **орбитальным механическим моментом**. Однако, несмотря на то, что все моменты являются механическими (кроме момента времени), они нередко являются разными физическими величинами. И поэтому когда в термине опускаются слова “орбитальный” и “электрона” и остается просто термин “механический момент“, то мы приходим к неопределенности.

Выводы и предложение по поводу термина "момент".

Приведенных примеров достаточно, чтобы понять, какие психологические трудности приходится преодолевать думающей личности, пока она разберется, какое содержание несет в себе слово “момент“ в каждом конкретном случае его применения. Конечно, при частом применении ко всем терминам привыкают, и, возможно, не стоило бы увязывать их физический смысл терминов с их переводом на русский язык, если бы это не мешало пониманию физического содержания терминов, в которых применяется слово “момент”.

Мы полагаем, что понятие “момент” следует определить однозначно и применять всегда именно в этом значении.

Применять это слово следует в соответствии с его лексическим смыслом только в динамике и применительно к вращению, даже если придется отказаться от целого ряда привычных терминов.

Чтобы избежать этого, П.Пирнат (2005) предложил ввести обобщенную физическую величину, названную им “**quantity moment**”, что в переводе на русский язык означает “**момент величины**“, в виде произведения радиус-вектора на любую физическую величину (как векторную, так и скалярную). В физике имеется пример такого применения: **электрический момент электрического диполя, равный произведению вектора расстояния между зарядами диполя на заряд диполя.** По нашему мнению, это предложение следует поддержать.

Литература

1. Pirnat P., 2005, Physical Analogies. – <http://www.ticalc.org/cgi-bin/zipview?89/basic/science/physanal.zip;physanal.txt>

4.2. Физические величины, их классификация, размерности, единицы

4.2.1. Что такое физическая величина?

Физические величины отражают свойства физических систем.

Поэтому для уяснения того, что называется физической величиной, полезно предварительно ознакомиться с содержанием раздела , посвященном разъяснению понятия "физическая система".

1. Определение физической величины.

В Международном словаре по метрологии JCGM 200:2012 дано такое определение физической величины: *"свойство явления, тела или вещества, которое может быть выражено количественно в виде числа с указанием отличительного признака как основы для сравнения"*. В примечании указано, что понятие "величина" в общем смысле может быть подразделено, например, на понятия "физическая величина", "химическая величина" и "биологическая величина". В соответствии с принципом причинности различают основные физические величины, которые независимы, и производные физические величины, которые зависят от основных величин.

В словаре-справочнике М.Юдина и др. (1989) это определение звучало несколько иначе: *"физическая величина (величина) – характеристика одного из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общая в качественном отношении многим физическим объектам, но в количественном отношении индивидуальная для каждого объекта"*. В этом определении физическая величина – не свойство, а характеристика одного из свойств. Однако существенной разницы между понятиями "свойство" и "характеристика" нет.

Возьмем, например, такое свойство, как длина. Она действительно применяется для характеристики совершенно разных объектов. В механике – это длина пути, в электричестве – длина проводника, в гидравлике – длина трубы, в теплопередаче – толщина стенки радиатора и т.д. Но численное значение длины у каждого из перечисленных объектов различно. Длина автомобиля равна нескольким метрам, длина рельсового пути или провода высоковольтной линии электропередач – многим километрам, а толщину стенки радиатора проще оценивать в миллиметрах. Хотя природа длины во всех перечисленных примерах одна и та же.

2. Анализ термина "величина".

Русское слово "величина" имеет несколько иной смысл, чем английское слово "quantity" в Международном словаре по метрологии JCGM 200:2012. В Словаре Ожегова (1990) русское слово "величина" трактуется как "размер, объем, протяженность предмета". Но на английский язык это слово переводится 11-ю разными словами, из которых наиболее подходят по смыслу 4 слова: quantity (физическое явление, свойство), amount (количество), size (размер, габариты), value (численное значение). Согласно словарю Ожегова русскому лексическому значению слову "величина" подходит английское слово "size". А термин "quantity" отражает физический смысл слова "величина", именно так оно должно переводиться в работах по метрологии.

Обратим также внимание на то, что в приведенном словарном определении понятие "физическая величина" не увязано напрямую с процессом измерений, поскольку имеются физические величины, которые не измеряются, а рассчитываются. По этому поводу К.Гомоюнов (1983) замечает: "...*физическую величину можно рассматривать как мысленную модель свойства. Более конкретно – как количественное выражение свойства или как количественное знание о свойстве*". Поэтому включение в понятие "физическая величина" упоминания о процессе измерения не обязательно.

Физическая величина обязательно имеет размерность и единицу измерения, этим она отличается от математического числа. Хотя существуют числа, отражающие свойства физических явлений, но физическими величинами не являющиеся. Это так называемые **порядковые величины**, определяемые в JCGM 200:2012 так:

“величина, определенная в соответствии с принятой по соглашению методикой измерений, для которой может быть установлено, в соответствии с ее размером, общее порядковое соотношение с другими величинами того же рода, но для которой не существует алгебраических операций между этими величинами”. Это, например, сила землетрясения по шкале Рихтера, октановое число автомобильного топлива. Такие величины не имеют ни размерностей, ни единиц измерения, для них существуют свои шкалы значений.

3. Классификация физических величин.

Физические величины классифицируются по нескольким признакам:

1. По направленности.

Физическую величину, отражающую направление движения, называют **векторной величиной**, в противном случае – **скалярной величиной**.

2. По характеру размерности.

На сегодняшний день в русскоязычной научной литературе физическую величину, имеющую **формулу размерности**, состоящую из последовательности символов размерностей основных величин, в которой хотя бы один символ размерности имеет ненулевой показатель степени, называют **размерной величиной**. Если же все символы размерности имеют нулевой показатель степени, то такую величину называют **безразмерной величиной**.

В разделе, посвященном **безразмерным величинам**, пояснено, что в этом русскоязычном термине допущены две ошибки. Во-первых, термин "безразмерная величина" должен звучать в буквальном переводе как "безразмерностная величина" (dimensionless quantity), поскольку у **величины нет размерности, а размер у нее имеется**. А, во-вторых, **безразмерных величин, в принципе, не существует, ибо любая безразмерная величина имеет размерность, равную 1**.

Словарь JCGM 200:2012 разрешает применение термина "безразмерная величина" (dimensionless quantity) лишь по историческим причинам, поскольку к нему все привыкли, но рекомендует к применению другой термин (“quantity of dimension one“), который в переводе на русский язык звучит буквально, как "величина с размерностью один". Русский перевод "величина с размерностью единица" не совсем адекватен, так как слово "единица" понимается в русскоязычной метрологии, как единица измерений. Можно также применять этот термин в записи "величина с размерностью 1", пока не будет утверждено международное название единицы размерности 1.

3. По возможности суммирования.

Физическую величину называют **аддитивной величиной**, если ее значения могут быть просуммированы (на латыни *additio* - прибавление), умножены на числовой коэффициент, поделены друг на друга, как, например, это можно сделать с силой или моментом силы, и **неаддитивной величиной**, если эти математические операции не имеют физического смысла, как, например, у термодинамической температуры.

4. По свойствам внутри физической системы.

Физическую величину называют **интенсивной величиной**, если её значение не зависит от размера системы, например, как у термодинамической температуры, давления, плотности, концентрации. Интенсивные величины не аддитивны, то есть они не суммируются. Вычитание интенсивных величин возможно, но к разности интенсивных величин уже не применим термин "интенсивная величина", это качественно другая величина.

"**Экстенсивные величины** - это такие, которые изменяются пропорционально массе системы, если при этом ее внутреннее состояние не меняется" (Сивухин Д.В., *Общий курс физики*, т.2, с. 139). Примерами экстенсивных величин являются энергия, объём, количество вещества. Экстенсивные величины аддитивны внутри системы, так как их значения складываются из значений той же физической величины для подсистем, из которых состоит система, например, как у объёма.

Из определения "экстенсивных величин" следует, что применение этого термина относится только к отдельно взятой системе. Если термин "интенсивные величины" можно применять как к системе, так и к окружающей ее среде, то термин "экстенсивные величины" для применения к среде неприемлем, поскольку понятие "масса среды" не имеет физического смысла. Вне системы применять термин "экстенсивная величина" не имеет смысла. Однако экстенсивная величина, приведенная к единице объёма и ставшая, таким образом, плотностью экстенсивной величины, становится интенсивной величиной.

4. О недостатках в методологии применения физических величин.

При анализе каждой физической системы может рассматриваться сколько угодно форм движения внутри этой системы. **Каждая форма движения имеет свои собственные свойства, каждое из которых**

является физической величиной. Пусть даже этих свойств будет немного, но, умножив количество свойств на количество форм движения, а затем на количество физических систем, мы получим огромное количество физических величин.

Однако число физических величин может оказаться меньшим, чем имеется в справочниках. Многие физические величины как бы повторяют друг друга в разных разделах физики, только в новом качестве. Причина подобного дублирования состоит в том, что в методологии современной физики и техники наблюдаются, по нашему мнению, три серьезных недостатка (И.Коган, 1998, 2006).

Первый недостаток заключается в том, что одни и те же по своему физическому содержанию величины в разных разделах физики называют по-разному и обозначают разными символами. И вследствие этого узкому специалисту не всегда удается понять другого узкого специалиста, хотя говорить они могут об одном и том же. Выход видится таким: **если трудно менять названия и символы, то следует четко указать, какие величины в одном разделе физики соответствуют аналогичным величинам в другом разделе. Это и является одной из задач обобщения и систематизации понятий в физике.**

Второй недостаток заключается в том, что одни и те же по своему физическому содержанию закономерности в разных разделах физики и техники записываются по-разному, и это вводит в заблуждение узких специалистов. Например, в уравнении колебаний и уравнении переходного процесса коэффициент пропорциональности при первом слагаемом называется в механике жёсткостью, а в электродинамике применяется обратная величина, называемая ёмкостью. Значит, надо найти обобщенную форму записи родственных закономерностей в разных разделах физики и техники. А это, в свою очередь, **сможет помочь находить новые еще неизвестные науке закономерности в постоянно появляющихся новых разделах физики и техники.**

Больших успехов в этом направлении добилась теория физических аналогий. Но простые аналогии – это совпадения, которые могут оказаться, а иногда и оказываются случайными. **Новое направление в физике – энергодинамика – подводит под теорию физических аналогий строгую теоретическую базу, доказывая, что физические аналогии вытекают из законов природы, базирующихся на обобщенных закономерностях, и приводит такие закономерности.**

Энергодинамика показывает, какая именно форма записи физических аналогий соответствует законам природы, а какая неверна.

Третий недостаток заключается в том, что при взгляде на списки физических величин в различных справочниках становится непонятно, какой логикой руководствовались авторы справочников, располагая физические величины в той или иной последовательности. При этом в разных справочниках последовательность расположения величин тоже разная. Обычно непонятно, по какой причине одна величина стоит в списке величин раньше другой? Причиной этого недостатка является, как правило, **пренебрежение принципом причинности, частным проявлением которого является принцип последовательности.**

Литература

1. Гомоюнов К.К., 1983, Совершенствование преподавания технических дисциплин. – Л.: Изд. Ленинградского ун-та, 206 с.
2. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
3. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
4. Ожегов С.И., 1990, "Словарь русского языка", 22-е изд.
5. Юдин М.Ф., Селиванов М.Н, Тищенко О.Ф., Скороходов А.И., 1989, Основные термины в области метрологии. – М.: Изд. Стандартов.
6. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL:
http://www.bipm.org/utills/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
7. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL:
<http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf>

4.2.2. Что такое основная физическая величина?

1. Равноправны ли физические величины?

Видный метролог Л.Брянский (2002) утверждает: *“Все величины обозначают существующие свойства, среди которых нет ни основных, ни производных от них. Все величины в этом смысле равноправны. Человек над ними не властен.”* Это верно, пока речь не идет о систематизации величин. А любой системный подход подразумевает иерархию элементов системы, когда одни элементы являются составной частью других элементов. И тогда одни величины оказываются на вершине иерархии и их называют **основными величинами**, а другие величины, находящиеся в иерархии ниже их и определяемые с их помощью, называют **производными величинами**.

Определяемая величина всегда является следствием соотношения определяющих ее величин. Это соотношение называется **определяющим уравнением** величины или **уравнением связи** между величинами. И если одна величина определяется по другой, то эти величины не равноправны, поскольку следует учитывать наличие между ними причинно-следственной связи.

2. Определение основной величины

В Международном словаре по метрологии JCGM 200:2012 дано такое определение основной величины: *“одна из величин (в оригинале величина) подмножества, условно выбранного для данной системы величин так, что никакая из величин подмножества не может выразиться через другие величины”*. С двумя примечаниями: *“Подмножество, упоминаемое в этом определении, называется набором основных величин”* и *“Основные величины относят к взаимно независимым, так как основная величина не может быть выражена как произведение степеней других основных величин”*. В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) приведено более короткое и понятное определение основной физической величины: *“физическая величина, входящая в систему величин и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы”*.

В обоих определениях не учитывается, что сейчас основные величины системы величин ISQ просто соответствуют основным единицам СИ. И это противоречит принципу причинности, поскольку набор основных единиц должен вытекать из набора основных величин, а не наоборот. К тому же, в работе И.Когана (2011б) показывается, что **системы**

величин и системы единиц это **не одно и то же**, и наборы основных величин и основных единиц не обязаны совпадать друг с другом.

3. В каком случае основную величину можно принимать условно?

По этому вопросу уже почти сто лет ведется дискуссия среди физиков и метрологов. Ведь имеются такие величины, которые не определяются уравнением связи по другим величинам. То есть такие основные величины, которые выбраны самой Природой, без всяких условностей. Будем называть их **естественными основными величинами**.

Это при выборе основных единиц при унификации единиц измерений важно, чтобы основными единицами было бы удобно пользоваться, чтобы их было удобно точно и экономично измерять. В этом состоит главная причина того, что системы величин и системы единиц могут быть не адекватны друг другу. А **при систематизации физических величин** необходимо, чтобы основные величины были такими, для которых в Природе отсутствуют определяющие уравнения. И в этом случае никакие практические соображения не должны влиять на то, какие величины следует считать основными. Если речь идет о систематизации физических величин, то слова “условно выбраны” следует изъять из определения основной величины. Их возможно применять только при создании систем единиц.

В системах единиц имеются “*примеры, в которых безразмерные величины в одной системе единиц оказываются размерными в другой системе*” (Л.Брянский, А.Дойников и Б.Крупин, 1999). Эти примеры свидетельствуют о том, что при составлении систем единиц не соблюдаются правила системного подхода. Не случайно в той же статье сказано: “*Выбор числа единиц, принимаемых за основные, и самих этих единиц произволен.*” **Стандартизация единиц измерений, начавшаяся исторически как унификация мер и весов, так и осталась унификацией по своей природе. Наличие международных соглашений еще не говорит о том, что имеет место систематизация единиц.** Ведь термин “систематизация” можно применять только при отсутствии произвольности при выборе основных элементов системы. (Определения терминов “систематизация“, “унификация“ и “классификация“ приведены в разделе, посвященном терминологии системного подхода).

4. Необходимость деления основных величин на естественные и условные

Системный подход требует придерживаться принципа причинности. А следствием принципа причинности является **принцип последовательности: производные величины, что находится на более низком иерархическом уровне, должны определяться величинами, находящимися на более высоком иерархическом уровне. Только те величины, которые находятся на самом высоком иерархическом уровне, заслуживают того, чтобы их считали основными**. А уж в каких единицах будет их измерять человек, – для Природы это совершенно безразлично. **Эти величины не определяются уравнениями связи, их следует называть естественными основными величинами**. А производные величины, которые по практическим соображениям принято условно считать основными величинами, следует называть **условными основными величинами**.

Набор естественных основных величин (на греческом языке базис) устанавливает наука. Любые соображения и действия при выявлении базиса естественных основных величин не должны относиться к разряду волевых событий, даже если такие события имеют форму международных конференций. Волевой подход при систематизации физических величин приводит только к бессистемности, чьи признаки мы и наблюдаем, когда анализируем набор основных единиц СИ.

5. Сколько должно быть естественных основных физических величин?

Число основных физических величин, как считает К.Широков (1979), определяется путем вычитания числа уравнений связи между физическими величинами из общего числа этих величин. Хотя он же указывает на то, что *“такой способ не всегда дает однозначный результат”*. Так что способ, предлагаемый К.Широковым, является ненадежным критерием для определения числа основных величин. К.Широков считает также, что свидетельством того, что число основных величин неполно, является наличие одинаковых размерностей у физических величин, имеющих разную физическую природу. **Но физическую природу величины определяет уравнение связи, а не размерность величины.**

Известен пример, когда одинаковую размерность имеют такие различные физические величины, как вращающий момент и энергия. Этот недостаток исчезает после того, как в число естественных основных величин добавляется угол поворота. Бессистемность в размерностях и единицах физических величин, применяемых при описании колебаний и волн, устраняется после добавления в число естественных основных величин числа структурных элементов, как частного случая считаемых величин. В периодических явлениях это выглядит в виде числа периодов колебаний или числа волн (И.Коган, 2011в).

Число основных величин в XX веке в СИ достигло семи за счет условных основных величин. Есть основания полагать, что в результате обновления СИ добавятся еще 2 основные величины (угол поворота и количество считаемых величин).

По нашему мнению, число естественных основных величин должно равняться пяти. Именно такое число представлено в разделе , посвященном набору естественных основных величин. Такое же число (пять) представлено К.Томилиным (2006) после анализа истории создания естественных систем единиц. Заметим, что число 5 не накладывает никаких ограничений на число условных основных величин в СИ или на число основных единиц, так как современные стандарты разрешают введение условных основных величин и условных основных единиц.

Литература

1. Брянский Л.Н., 2002, Непричесанная метрология. – М.: ПОТОК-ТЕСТ, 160 с.
2. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н., 1999, О “размерностях” безразмерных единиц. – Законодательная и прикладная метрология, № 4, с.с. 48-50.
3. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
4. Коган И.Ш., 2011а, Основные физические величины назначаются или продиктованы природой? – “ Законодательная и прикладная метрология, 3, с.с. 55-56.
5. Коган И.Ш. 2011б, Природа размерности и классификация физических величин. – “ Законодательная и прикладная метрология, 4,

с.с. 40-50.

6. Коган И.Ш. 2011в, Метрологические и терминологические проблемы описания периодических процессов и выбора единиц измерений. – “Мир измерений”, **6**, с.с. 12-18.
7. Томилин К.А., 2006, Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах. – М.: Физматлит, 368 с.
8. Широков К.П., 1979, Размерность физических величин и их применение в метрологии. – “Измерительная техника”, **6**, с. 13.
10. Чертов А.Г., 1990, Физические величины.– М.:Высшая школа,336 с.
9. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL:
http://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
10. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL:
<http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf>

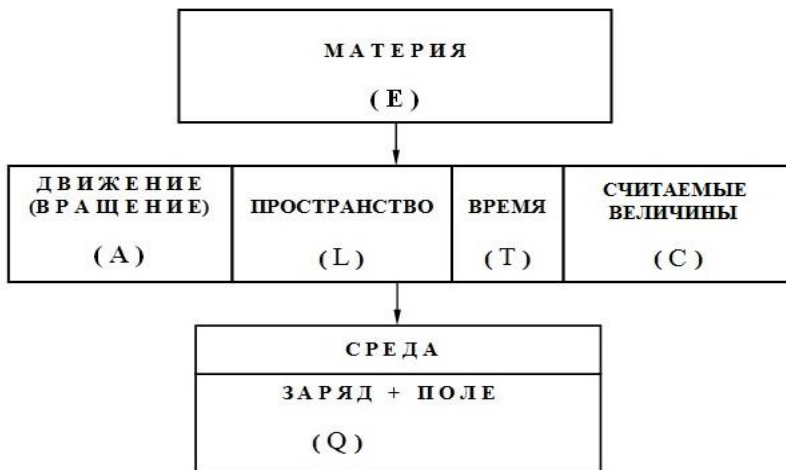
4.2.3. Каким должен быть комплект естественных основных величин?

1. Комплект естественных основных величин.

Основные требования, предъявляемые к величине, для того, чтобы ее можно было считать естественной основной величиной, зависят от того, рассматривается ли система величин или система единицы измерения. Различие между системами величин и системами единиц описывается в отдельном разделе, а также в статье И.Когана (2011).

Комплект основных единиц СИ, как и комплект основных единиц любой системы единиц, должен соответствовать комплекту основных величин, в настоящее время - **комплекту международной системы величин ISQ**. Но фактически всё обстоит наоборот, комплект основных величин ISQ в точности соответствует комплекту основных единиц СИ, в полном противоречии с принципом причинности. Но в СИ **основные единицы** могут выбираться условно, исходя из

практических соображений. В результате в комплекте основных величин ISQ появились такие величины, которые имеют определяющее уравнение, например, сила тока, количество вещества, чего быть не должно. Выход из этой противоречивой ситуации видится в том, чтобы создать систему естественных основных величин, определяемых законами природы, а не постановлениями Международных конференций.



Естественные основные величины характеризуют 5 категорий, описывающих понятие “материя”:

1. Сама материя, количественной характеристикой которой является энергия.
2. Основное свойство материи - движение, являющееся вращательным.
3. Вместительность движущейся материи - пространство.
4. Свойство, определяющее последовательность событий, - время.
5. Количество считаемых величин, представляющих собой материальные объекты, заполняющие пространство.

В круглых скобках в ячейках схемы указаны символы (коды) размерностей естественных основных величин, положенных в основу системы величин, соответствующие этим пяти категориям. В системе величин ISQ основных величин больше за счет копирования набора основных единиц СИ.

Материальные объекты, заполняющие пространство, составляют в совокупности **среду**. Материя отдельной Вселенной, согласно **теории структурного строения материи**, состоит из встроенных друг в друга **уровней**, в которых **свойства материальных объектов различны**. Теория структурного строения материи, называемая сокращенно **уровневой физикой**, развита в конце XX века. Наиболее полно она представлена в обобщающих работах О.Бондаренко (2005) и В.Пакулина (2012).

Наименьший материальный объект любого уровня структуры материи можно назвать **элементарным (единичным) зарядом**. Объединяясь элементарные заряды образуют **физическую систему**, обладающую **зарядом системы**. Наличие различных физических систем с различными зарядами создает неравновесное состояние среды. Систему уравнений, описывающих это состояние, называют **физическим полем**.

На каждом уровне структуры материи структурные элементы среды характеризуются различными значениями энергии, поэтому характеристики элементарных зарядов являются для каждого уровня его фундаментальными константами. Например, такие константы, как масса и заряд электрона, характеризуют структурный элемент среды на **уровне "Вещество"**.

2. Последовательность перечисления естественных основных величин.

Последовательность перечисления естественных основных величин в комплекте основных величин, показанная на схеме, продиктована **структурным строением материи**, в основу которого положена **современная космология (теория Черных дыр и Белых дыр)**. При движении материи в результате флуктуаций появляется **вращательное движение (вращение)**, в результате которого появляются **вихревые объекты**, характеристикой которых является **угол поворота** вихря вокруг собственной оси. **Вихревые материальные объекты становятся элементарными зарядами каждого уровня**, а их **оболочки образуют физические поля** на данном уровне.

Прямолинейное движение вихря является его движением по криволинейной траектории (орбите), радиус кривизны которой

стремится к бесконечности. При конечном значении радиуса кривизны его поворот относительно центра кривизны орбиты характеризуется **угловым перемещением** с той же размерностью, что у угла поворота.

Поля заряженных систем взаимодействуют друг с другом, но это взаимодействие оценивается уже производной величиной, размерность которой состоит из размерностей естественных основных величин. Поэтому наличие такого субъекта, как "заряд", в составе основных величин не обязательно. Однако его отсутствие приводит к появлению в размерностях и единицах производных величин дробных показателей степеней (см. п. 5 раздела). Поэтому условное включение заряда в набор основных величин оказывается удобным средством для упрощения записи размерностей и единиц. **Но забывать о том, что заряд является производной, то есть условной основной физической величиной, нельзя.**

Для подсчета количества материальных объектов среды становится необходимой пятая естественная основная величина - число структурных элементов однородной системы (оно же количество сущностей, number of entities, количество считаемых величин). На этом список естественных основных величин заканчивается.

Последовательность расположения символов размерностей естественных основных величин в формуле размерности может быть любой, у нас она такова: E, L, A, C. Что касается символа размерности времени T, то его следует ставить **в конце формулы размерности**, так как изменениям во времени подвержены все первые в этом списке физические величины. В итоге система естественных основных величин может читаться, как **ELACT-система**.

3. Свойства естественных основных величин.

Энергия является главным свойством материи. Энергия может быть как скалярной, так и векторной величиной. Символом размерности энергии принята буква E. Добавим, что в работе по физической экономике Д.Конторова и др. (1999) сказано: "*Экономика имеет две основные меры: энергию и деньги, вообще говоря, сводимые*". Экономика – наука социальная, построенная на категориях социального общества, из приведенной фразы можно сделать вывод о том, что энергия – основная величина не только для неживой природы, но и для социальных обществ. В деталях этот вопрос рассмотрен в отдельном разделе.

Энергия в современной физике считается скалярной величиной, поскольку характеризует материю количественно. Однако движущаяся материя имеет направление, следовательно, энергию можно рассматривать и как векторную величину. При такой трактовке понятие "энергия" ничем не отличается от понятия "движение". Поэтому движение можно считать синонимом энергии, то есть физической величиной. Подробнее об этом в разделе о движении, как о физической величине.

Движение материи по своей природе является вращением вихрей. **Вращение вихря характеризуется углом поворота, как при кольцевом, так и при торообразном вращении**. Значение собственного вращения отдельного вихря и направление его вращения характеризуются угловым моментом, а, следовательно, и углом поворота, оцениваемого плоским углом. О необходимости признания плоского угла основной величиной с присвоением ему символа размерности А говорили многие авторы (Г.Кортум, 1972, Дж.Винанс, 1976, П.Мурдок, 1978, Р.Штиллер, 1978, Л.Барброу, 1978, В. Эдер, 1982, А.Торренс, 1986, Е.Оберхофер, 1992, К.Броунштейн, 1997). И.Коган (2007) предложил в набор основных физических величин включить угол поворота, а плоский угол считать численным значением угла поворота.

Прямолинейное движение материальных объектов происходит в пространстве. Количественно оно характеризуется линейным перемещением, оцениваемым единицами длины. А темпом движения характеризуется временем. Необходимость включения в комплект основных величин длины и времени дополняющих разъяснений не требует. О количестве считаемых величин, как основной величине, следует сказать подробнее.

4. Почему количество объектов должно являться естественной основной величиной?

Уровневое строение материи показывает, что переход от более высокого уровня к более низкому характеризуется тем, что материальные объекты, более энергичные, меньшие по размерам и с большими угловыми скоростями вращения, объединяются в объекты, менее энергичные, большие по размерам и с меньшими угловыми скоростями вращения.

Каждый уровень структуры материи характеризуется минимальными (граничными) значениями характеристик материальных объектов данного уровня, воспринимаемыми как фундаментальные физические константы. Материальный объект с такими граничными значениями воспринимается как неделимый **структурный элемент** данного уровня. Он и является единичным объектом на любом структурном уровне. Все материальные объекты любого уровня состоят из целого **числа структурных элементов** или **количества считааемых величин** (символ размерности С).

При уменьшении значений характеристик единичных материальных объектов ниже значений фундаментальных физических констант данного уровня материальные объекты переходят на более высокий иерархический уровень с другими значениями фундаментальных физических констант. Это схематично изображено на странице, посвященной **уровневому строению материи**. Однородность структурных элементов лежит в основе законов сохранения элементарных частиц, например, в основе закона сохранения электрического заряда.

Всё сказанное выше является обоснованием того, что естественной системой величин должна быть ЕЛАСТ-система величин. Такая система величин названа И.Коганом (ее автором) **энергодинамической**, поскольку в ее основе лежат энергия и движение. О том, как эта проблема рассматривалась в физике в разные периоды времени, детально рассказывается в разделе **“История проблемы систематизации”**.

5. О размерностях и единицах величин, характеризующих заряд.

Все величины, в размерность которых входит в первой степени размерность заряда системы Q, являются **величинами первого порядка** (см. статью И.Когана, 2011, п.8 и 9). По отношению к ним в соответствии с законом всемирного тяготения Ньютона и законом Кулона, в которых присутствует произведение двух зарядов системы, энергия и длина являются **величинами второго порядка**. Поэтому **заряд системы** по отношению к энергии и длине является производной величиной, размерность которой $Q = E^{1/2}L^{1/2}$. Деление физических величин на величины первого и второго порядка и объясняет причину появления дробных степеней показателей размерностей.

Размерность элементарного (единичного) заряда (например, электрона в электрическом заряде системы) равна $E^{1/2}L^{1/2}C^{-1}$, где размерность C относится к количеству элементарных зарядов в заряде системы. Это соответствует единицам Дж^{1/2} м^{1/2} для заряда системы и Дж^{1/2} м^{1/2} шт⁻¹ для единичного заряда. Вместо единицы штука можно поставить единицу cnt (от count - считать), хотя название этой единицы пока находится в состоянии обсуждения.

Включение заряда системы Q в комплект основных величин условно, оно не обязательно. Просто если заряд системы не ввести в систему величин в качестве условной основной величины, то размерности энергии и длины в величинах второго порядка, будут иметь в формулах размерности дробные показатели степени с числом 2 в знаменателе. Это и имело место в системе единиц СГС у всех электромагнитных величин. Некоторые ученые (к ним относится и такой известный физик, как Зоммерфельд) называли дробные показатели в степени размерности неестественными, но это не так. Они неудобные, но вполне естественные. Единицу электрического заряда с помощью единицы электрического тока ввели в СИ именно для того, чтобы избавиться от неудобства.

6. Комплект естественных основных величин соответствует современным представлениям.

В основе выбора комплекта естественных основных величин лежит представление о движении материи, как о механическом движении материальных объектов на любом уровне структуры материи.

Согласно современным представлениям для замкнутых систем (см. классификацию физических систем) существуют особые функции координат и скоростей, называемые **интегралами движения**, характеризующие физическую систему в целом. Среди них выделяют три особых интеграла движения, обладающих **свойством аддитивности**. Под этим свойством понимается то, что значение интеграла движения для всей системы равно сумме значений интегралов движения для каждой из частей системы. **Эти три аддитивных интеграла движения называются энергией, импульсом и моментом импульса, они сохраняются неизменными.**

В основе сохранения **энергии E** лежит однородность **времени T** , характеризуемого **длительностью** процесса движения. В основе сохранения **импульса** лежит однородность **пространства**,

характеризуемого **протяженностью** L . В основе сохранения **момента импульса** лежит **изотропия пространства**, понимаемая в том смысле, что поворот системы, характеризуемый **углом поворота** A , **не отражается на свойствах системы**. Поэтому эти четыре физические величины с размерностями E , A , L и T являются естественными основными величинами. В разделе, посвященном **законам сохранения**, показано, что базовым является **закон сохранения энергии**. **Закон сохранения импульса** и **закон сохранения момента импульса** вытекают из закона сохранения энергии в качестве частных случаев.

7. Отличие естественной системы величин от Международной системы величин ISQ.

В Международную систему величин ISQ (см. Международный словарь JCGM 200:2012) наряду с естественными физическими величинами включено 5 **условных основных величин**. Это масса, электрический ток, термодинамическая температура, сила света и количество вещества.

В частности, сила света является производной величиной от энергии. **Электрический ток** введен вместо электрического заряда потому, что его удобно измерять. **А введение в качестве основной величины количества вещества с единицей моль является просто ошибкой**

Напомним, что введение в систему величин любой производной величины в качестве условной основной разрешается существующим стандартом. Лишь бы было удобно и экономично измерять и создавать измерительные эталоны. На этом построена вся практическая метрология. **В отличие от систем единиц системы естественных величин в наличии измерительных эталонов не нуждаются.**

Литература

1. Бондаренко О.Я., 2005, Уровневая физика. Что это? – Сборник статей, Бишкек, 96 с.
2. Коган И.Ш. 2011, Природа размерности и классификация физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология, **4**, с.с. 40-50.
3. Конторов Д.С., Михайлов Н.В., Саврасов Ю.С., 1999, Основы физической экономики. (Физические аналогии и модели в экономике.) – М.: Радио и связь, 184 с.

4. Пакулин В.Н., 2012, Структура материи. Вихревая модель микромира. – СПб, НТФ "Истра", 120 с.
5. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL:
http://www.bipm.org/utlis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
6. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL:
<http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf>
7. Barbrow L.E., 1978, Dimensionally correct units for rotation. *Mech. Eng.*, **100**, 129
8. Brownstein K.R., 1997, Angles—let’s treat them squarely. *Am. J. Phys.*, **65**, 605–614
9. Eder W.E., 1982, A viewpoint on the quantity “plane angle“. *Metrologia*, **18**, 1–12
10. Kortum H., 1972, Bemerkungen zu den Masseinheiten in Rotationssystemen. *Feingeratetechnik*, **21**, 518-519
12. Murdoch P., 1978, Taking another look at the angle. *Eng. Educ. News*, **5**, No. 6, 2
13. Oberhofer E.S., 1992, What happens to the “radians“? *Phys. Teach.*, **30**, 170–171.
14. Stiehler R.D., 1978, Getting the right angle. *Eng. Educ. News*, **5**, No. 2, 2
15. Torrens A.B., 1986, On angles and angular quantities. *Metrologia*, **22**, 1–7
16. Winans J.G., 1976, Definitions and units in mechanics. *Found. Phys.*, **6**, 209-219

4.2.4. Обобщенная координата состояния как условно принятая основная величина

История появления понятия ”обобщенная координата состояния”

Понятие "обобщенная координата" не новое, его ввел в 1788 г. французский физик Ж.Лагранж для обозначения обобщенной механической величины, получающей в каждой конкретной механической форме движения конкретное содержание. В таком смысле это понятие и вошло в физику, его и сейчас применяют в механике (С.Тарг, 1995).

Через 200 лет после этого А.Вейник (1968) пришел к выводу о существовании независимых друг от друга и не сводимых друг к другу элементарных форм движения, каждая из которых однозначно определяется физической величиной, которую он назвал зарядом. Но, по сути, это и есть обобщенная координата Ж.Лагранжа, примененная не только для оценки состояния механической системы, а для оценки состояния любой физической системы. И.Коган (1993) пришел к выводу о том, что термин "заряд" является обобщенным понятием не для форм движения, а для форм физического поля, и вернулся в работе (1998) к термину "обобщенная координата состояния".

Системный подход привел И.Когана (1998, 2004) к выводу о существовании обобщенной физической системы. В дальнейшем в его работах (2006, 2007) эта идея была проиллюстрирована в виде иерархической схемы систематизации и получила название условия аналогий. **Обобщение физических величин и представление об обобщенной физической системе логически привело к введению понятия обобщенной координаты состояния, содержание которой раскрывается через основные физические величины в каждой конкретной форме движения.** Модель обобщенной координаты состояния, примененная для конкретной формы движения, определяет и содержание этой формы движения.

Обобщенная координата состояния в системе величин ЭСВП

В работе И.Когана (1993) было предложено присвоить размерности обобщенной координаты состояния обобщенный символ К. Для этой обобщенной производной величины получилась такая формула размерности:

$$K = E^{\alpha} L^{\beta} A^{\gamma} C^{\delta} T^{\varepsilon}. \quad (5)$$

Обобщенная координата состояния с размерностью К существует только в обобщенной физической системе, в конкретных формах

движения ее размерность заменяется размерностью координаты состояния этой формы движения при подстановке конкретных значений показателей степеней α , β , γ , δ и ε . Поэтому размерность K не вносит никакие дополнительные затруднения ни в практику пользования размерностями, ни в процесс анализа размерностей.

Для многих форм движения некоторые показатели степеней α , β , γ , δ и ε приравняются нулю, что свидетельствует о стремлении упростить модели форм движения путем упрощения их координат состояния. (Например, в прямолинейной форме движения $\alpha = \beta = \delta = \varepsilon = 0$, и тогда $K = L$.) Один и тот же физический процесс может быть представлен в целях практической целесообразности в виде разных форм движения с разными координатами состояния. (Например, в механике текучих сред применяются три разные формы движения с различными координатами состояния: в аэродинамике – с массой, в гидродинамике – с объемом, а в практической гидравлике – с весом.)

Всё это проще всего увидеть в Таблицах физических величин, просмотрев хотя бы несколько из них.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Коган И.Ш., 1993, Основы техники. Киров, КГПИ, 231 с.
3. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, **5**, с.с. 30-43.
4. Коган И.Ш., 2004, “Физические аналогии” – не аналогии, а закон природы. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7438.html>
5. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
6. Коган И.Ш., 2007, Системы физических величин и системы их единиц – независимые друг от друга понятия. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8792.html>
7. Тарг С.М., 1995, Краткий курс теоретической механики. – М.: Высшая школа, 334 с.

4.2.5. Понятие "движение" в физике

Определения понятия "движение" в физике

В классической физике применяют уже ставшее классическим определение: “движение есть способ существования материи”. Имеется и такое определение в Словаре по естественным наукам (Глоссарий.ру): “Движение – форма существования материи; способ бытия материальных объектов, состоящий в их изменениях и взаимопревращениях”. Оба эти определения трактуют движение, как следствие существования материи. Само же понятие "материя" трактуется философами и физиками не однозначно.

Согласно энциклопедии “История философии“ материя – это “философская категория, которая в материалистической традиции обозначает субстанцию, обладающую статусом первоначала (объективной реальностью) по отношению к сознанию (субъективной реальности)”.

В Словаре по естественным наукам такая категория, как "сознание", уже не упоминается. Там сказано: “считается, что материя существует либо в виде вещества, либо в виде поля. Формами существования материи являются пространство и время”. Развивающееся новое научное направление (**уровневая физика**) считает, что **вещество - это лишь один из уровней структуры материи в том макром мире, в котором мы живем. И. Коган** полагает, что **поле является не уровнем структуры материи, равнозначным веществу, а системой математических уравнений, результаты использования которых соответствуют результатам экспериментов. А также полагает, что каждому уровню структуры материи соответствует своя среда и своя система уравнений, то есть своё поле. И что пространство и время характеризуют движение материи, являются характеристиками движения, а не формами движения материи.**

Определение физической величины "движение"

Движение является свойством материи и, следовательно, согласно определению физической величины, является физической величиной. И, поскольку движение от других физических величин не зависит, то его можно, в принципе, считать **основной физической величиной.**

Движение имеет направление, следовательно, оно является векторной величиной. А модуль этой векторной величины, характеризующий

материю количественно, или, как говорят, является количественной мерой материи, называется энергией. Энергия обычно обозначается символом E (или W), если она является величиной скалярной.

Движение, как было показано выше, – величина векторная, модулем которой является энергия. И поэтому **движение как векторную величину** будем обозначать сиволом \mathbf{E} (или \mathbf{W}). А неподвижные материальные объекты характеризуются накопленной и законсервированной в них энергией как скалярной величиной.

Разумеется, **размерность энергии является одновременно и размерностью движения**. Из сказанного вытекает важный вывод: **при наличии движения закон сохранения энергии должен быть следствием закона сохранения движения**.

А.Вейник (1968), основатель энергодинамики, утверждал, что *“самой общей и вместе с тем наиболее естественной (и простой) характеристикой движения является энергия”*. В.Эткин (2005) определяет содержание энергии такими словами: *“...если в механике энергия рассматривается в качестве одного из интегралов движения, то в энергодинамике она становится основной величиной, вводимой на основании опыта”*. Это утверждение обосновывает и В.Пакулин (2004): *“Энергия – единственная универсальная для всех уровней величина, которая сохраняется при всех взаимопревращениях”*.

Следствия определения движения как физической величины

Запишем произведение движения \mathbf{E} на элементарный промежуток времени dt в виде изменения векторной физической величины \mathbf{S} :

$$d\mathbf{S} = \mathbf{E}dt. (1)$$

Модуль величины \mathbf{S} хорошо известен в физике, **это физическая величина действие**. Только из уравнения (1) следует, что действие является векторной величиной. И это следует даже из названия этой величины: действие всегда имеет направленность.

Единица действия известна, она равна Дж с. Размерность действия в системе величин ЭСВП (системе размерностей ELACT), в которой энергия считается основной величиной, равна ET.

Квантом действия М.Планк назвал введенную им величину h , которую впоследствии назвали постоянной Планка. Судя по уравнению (1), постоянная Планка тоже является векторной величиной \mathbf{h} .

Произведение векторной величины на бесконечно малый интервал времени называют в физике изменением импульса этой величины. В механике, например, физическую величину $d\mathbf{S} = \mathbf{F}dt$, аналогичную по структуре величине $d\mathbf{S} = \mathbf{E}dt$ из уравнения (1), называют изменением **импульса силы**. Так что по аналогии можно сказать, что изменение действия $d\mathbf{S}$ является импульсом движения.

В современной физике считается, что движение характеризуется энергией (скаляром), импульсом (вектором) и моментом импульса (вектором). В предлагаемой естественной системе величин импульс и момент импульса по отношению к энергии (движению) являются производными величинами. Понятие "импульс", понимаемое сейчас как "количество движения", несмотря на ту же размерность, что у импульса силы, имеет другое физическое содержание.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Пакулин В.Н., 2007, Структура поля и вещества. – Санкт-Петербург, а также Структура материи. 2004 – <http://www.valpak.narod.ru>
3. Эткин В.А., 2005, Альтернатива “Великому объединению”. – http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/oputjahvelikogoobiedinenija.shtml.

4.2.6. Что такое единица физической величины?

Определение термина “единица физической величины”.

В литературе применяются разные понятия: “единица физической величины”, “единица измерения” и просто “единица”. Разницы в физическом содержании этих понятий нет. **Унификацией единиц измерения занимается наука, называемая метрологией. В буквальном переводе – это наука об измерениях.** Когда мы опускаем слово “измерения”, подразумевается, что можно не только измерить физическую величину, но и подсчитать ее.

Согласно определению по Международному словарю по метрологии JCGM 200:2012 единица измерения – это “*действительная скалярная величина, определенная и принятая по соглашению, с которой можно сравнить любую другую величину того же рода и выразить их отношение в виде числа*”.

Единица измерения может рассматриваться и как самостоятельная физическая величина. Но между физической величиной и единицей измерения существует важное отличие: единица измерения имеет фиксированное, принятое по соглашению, числовое значение в конкретной системе единиц. Единицы измерения для одной и той же физической величины могут быть разные. Например, расстояние может иметь такие единицы: метр, сантиметр, километр, миля (морская и сухопутная), световой год. Заметить разницу между ними нетрудно.

Не менее важным словом в вышеприведенном определении единицы являются слова “по соглашению”. Они вставлены в определение потому, что их принятие диктуется практическим удобством применения единиц в науке, в технике и в быту. И не в последнюю очередь удобством и экономичностью создания измерительных эталонов единиц. Эталон, разумеется, изделие штучное и очень дорогое. Не каждому государству по карману иметь свои собственные эталоны единиц. Удобство и экономичность имеют не только физическое обоснование, но и историческую, экономическую и психологическую подоплеку.

В настоящее время обсуждается определение основных единиц по фундаментальным физическим константам. Это мероприятие описывается в разделе, посвященном переопределению единиц.

Системы единиц.

Унификацию единиц измерений всегда старались проводить весьма тщательно, поскольку без этого оказывалось невозможным поступательное развитие науки и техники, международной торговли и экономики. Ученые за несколько веков разработали различные системы единиц (например, СГС, СГСЕ, СГСМ, МКС), существующая сейчас система единиц СИ является 16-ой по счету. Постоянно появляются новые открытия, вынуждающие корректировать системы единиц. Международная система единиц СИ разработана в середине

XX века, она удовлетворяет пока почти всех. В настоящее время происходит ее модернизация, называемая переопределением основных единиц. История систем единиц подробно описана в книге А.Власова и Б.Мрина (1990).

Студенты и инженеры обычно озабочены тем, что единицы различны при переходе от одной формы движения к другой, от одной формы физического поля к другой, от одного раздела физики к другому. Сами единицы называются по-разному, и перебросить мостик от одной единицы к другой бывает непросто, постоянно приходится заглядывать в справочники или в поисковые системы.

Одной из причин такой ситуации является желание физиков увековечивать фамилии наиболее выдающихся ученых, называя ими единицы измерений. Но главной причиной большого количества именованных единиц в электричестве и магнетизме является зрительное несоответствие размерностей величин их физическому содержанию, поскольку в размерностях электромагнитных величин присутствует размерность массы M . Неудобно также и то, что одни и те же по содержанию физические величины в СИ имеют одни названия единиц, а в системе единиц СГС, которой еще пользуются, – другие названия. И надо переводить одни в другие.

Понять, почему единицы переименовываются, удается не всегда. Чем, например, была неудобна единица измерений давления Н м^{-2} , и почему ее переименовали в Па (Паскаль)? Почему единицу м с^{-1} произносить удобно, а единицу Н м^{-2} – неудобно? Или такой пример: вместо привычной всем единицы атмосферного давления мм.рт.ст. стали применять гектопаскали, но это не приживается.

Физики и метрологи давно поняли, что проводить какие-либо обобщения физических величин, опираясь на единицы измерения, сложно и необъективно, и нашли выход из положения, придумав размерности физических величин, которые вытекают непосредственно из определяющих уравнений (уравнений связи между величинами).

Правила написания единиц измерения

На момент написания этой работы в русскоязычной литературе еще действует ГОСТ 8.417-81, согласно которому "буквенные обозначения единиц, входящих в произведение, следует отделять точками на средней линии, как знаками умножения". В случае деления

применяется косая черта, как знак деления. Например, такая единица: Вт/(м²·К). В пункте 8 стандарта имеется примечание, согласно которому "допускается буквенные обозначения единиц, входящих в произведение, отделять пробелами, если это не приводит к недоразумению". До последнего времени встречаться в русскоязычной литературе с применением этого примечания не приходилось.

Однако наличие точки и косой черты при написании единиц наводит на мысль о существовании математических операций умножения и деления единиц измерения. В этой связи появились публикации о существовании "метрологического умножения" и "метрологического деления", отличающихся от математического умножения и деления. На самом деле **ни "метрологического умножения", ни "метрологического деления" не существует**.

Поэтому в настоящее время в международной метрологической литературе введены новые правила написания единиц. И теперь единица Вт/(м²·К) должна записываться так: Вт м⁻² К⁻¹.

Литература

1. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL: http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
2. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL: <http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf>
3. Власов А.Д., Мурин Б.П., 1990, Единицы физических величин в науке и технике. – М., Энергоатомиздат, 176 с.

4.2.7. Что такое размерность физической величины?

Понятие “размерность физической величины“ играет в процессе систематизации физических величин очень важную роль. На практике

его нередко путают с понятием “единица измерения” или считают, что это одно и то же. Но это два принципиально различных понятия.

1. Размерность – более объективное понятие, чем единица измерений.

Единицы измерения хорошо знакомы, но обратим внимание на практику применения единиц. Скорость можно измерить в м с^{-1} , а можно – в км час^{-1} . Объем воды в водопроводе измеряют в м^3 , объем воды в океане – в км^3 , объем напитка в бутылке – в литрах, объем лекарства в пипетке – в миллилитрах, а объем продаваемой нефти – в баррелях. Различия очень существенные. Например, в метрологическом справочнике А. Чертова (1990), например, приведены 18 различных единиц для объема, 20 единиц для массы и 16 единиц для давления. Множество справочников посвящено тому, как переводить одни единицы в другие для одних и тех же физических величин. Этот разноречивый объясняется историческими и этнографическими причинами, не говоря уже о соображениях элементарного удобства для пользователей.

Природа ко всем единицам измерения не имеет никакого отношения, все они придуманы людьми на планете Земля для того, чтобы общаться друг с другом, торговать друг с другом и понимать друг друга. На любой другой планете, населенной разумными существами, если таковая, наконец, найдется, для хорошо знакомых нам физических величин будут применяться совершенно другие единицы измерения. Останутся теми же разве что фундаментальные константы, например, отношение длины окружности к ее радиусу, хотя и они будут называться и обозначаться иначе.

Из этого следует, что в науке уравнения связи одних физических величин с другими, необходимо анализировать не с помощью единиц измерения, которых может быть много разных для одной и той же физической величины, а с помощью каких-то других понятий, однозначных для одной и той же физической величины. С этой целью и придумали **размерности**. Правда, после введения в физику этого понятия возникла оживленная дискуссия по поводу того, что считать первичным: размерность или единицу измерения. Суть этой дискуссии и выводы по ее поводу приведены в отдельном разделе.

2. Определение понятия "размерность" и ее обозначение.

Процитируем **определение размерности** из Международного Словаря по метрологии JCGM 200:2012: *“выражение зависимости величины от основных величин системы величин в виде произведения степеней сомножителей, соответствующих основным величинам, в котором численные коэффициенты опущены.”* **Каждой размерности присвоен свой символ, и последовательность расположения этих символов регламентирована.**

Основными величинами в Международной системе величин ISQ (International System of Quantities) являются длина (символ L), масса (символ M), время (символ T), электрический ток (символ I), термодинамическая температура (символ Θ), количество вещества (символ N), сила света (символ J). Разъяснению понятия “основная физическая величина” посвящен отдельный раздел.

Иногда символы размерностей основных величин называют **логическими операторами**, иногда – **радикалами**, чтобы подчеркнуть, что эти символы не обозначают физические величины. Это такие же операторы, как div , rot и ∇ (набла) в векторном анализе, как условные значки, обозначающие логические операции в булевой алгебре (формальной логике), как дифференциальный оператор $s = d/dt$, заменяющий условно операцию дифференцирования и т.п. **Следует твердо помнить, что символ размерности не является обозначением какой-либо конкретной физической величины.**

Процитируем следующий отрывок из брошюры СИ8 (2006, стр. 106) о размерности: *“В общем случае размерность любой величины Q пишется в форме произведения размерностей*

$$\dim Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} I^{\delta} \Theta^{\epsilon} N^{\zeta} J^{\eta}, \quad (1)$$

где показатели $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta$ и η являются, как правило, небольшими целыми числами, которые могут быть положительными, отрицательными или равными нулю, они называются показателями размерностей”. Выражение (1) в форме произведения символов размерностей, некоторые из которых возведены в степень, называют также **формулой размерности**. Следует обратить особое внимание на слова *“в форме произведения”*, поскольку выражение (1) произведением не является, оно только выглядит похожим на произведение.

Следует также обращать внимание на то, каким шрифтом записан

символ. При обозначении скалярных физических величин применяют **наклонный шрифт** (курсив, италик), при обозначении векторных физических величин применяют **прямой жирный шрифт**, при обозначении операторов (например, \dim , \ln , \sin) и числовых величин (в том числе, и символов размерностей) применяют **прямой нежирный шрифт**.

3. Преимущества применения размерностей физических величин.

Размерность объема любого тела (газа, жидкости или твердого тела, очень маленького или очень большого) всегда будет обозначаться символом L^3 , независимо ни от какого числового коэффициента, стоящего в уравнении для расчета объема. Точно так же размерность скорости перемещения хоть черепахи, хоть космического корабля будет обозначаться символом LT^{-1} , хотя значения этих скоростей не сравнимы. Даже если эти скорости будут измеряться в разных единицах, как, например, в приведенных двух случаях: м/час или км/с.

Пусть на любой другой обитаемой планете длину и время местные ученые обозначат другими символами. Заменить эти символы на L и T совсем не сложно. Но размерности объема или скорости и на Земле, и на другой планете будут одинаковыми, разве что будут по-разному записываться. А уж единицы измерений объема или скорости на другой планете наверняка будут другими.

Однако, как указывают А.Власов и Б.Мурин (1990), *“размерность, будучи качественной характеристикой физической величины, несомненно, не является полной и исчерпывающей, а лишь условной ее характеристикой”*. Это замечание очень важно, ибо немало физиков в последние полвека пытается приписать размерностям какое-то мистическое значение, определяющее место физической величины в системах величин и системах единиц. Подобное направление описано в разделе, посвященном работам Р.О. ди Бартини, и в последующих разделах, посвященных его последователям.

На самом деле ни размерность, ни единица измерения не определяют физическое содержание величины, оно определяется только уравнением связи.

4. В определении размерности не должно быть упоминания об умножении.

Применение слов “в виде произведения” в определении размерности нельзя считать удачным. Такие слова в сочетании с записью в виде произведения приводят к мысли о том, что символы размерностей перемножаются. Применяется даже такой термин, как “метрологическое умножение” (И.Йоханссон, 2010). Правда, после этого идет подробное разъяснение, чем метрологическое умножение отличается от арифметического умножения. **Но вредно даже употребление такого термина, как “метрологическое умножение”. Нет ни метрологического умножения, ни метрологического деления ни размерностей, ни единиц.** И разъяснять некорректность слов “в виде произведения” возможно и необходимо еще в школе при первом же знакомстве с единицами измерения.

По нашему мнению, правильно было бы в определении размерности заменить слова “в виде произведения” словами “в виде последовательной записи символов размерностей основных величин с указанием степени, в которую они возведены”. Добавив предложение: “Порядок последовательности записи символов в размерности производной величины условен и определяется стандартом.”

Литература

1. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL: http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
2. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL: <http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf>
3. Брошюра СИ8. The International System of Units (SI), 8-th edn, 2006, Paris: Bureau International des Poids et Mesures. URL: http://www.bipm.org/en/si/si_brochure/
4. I. Johansson, 2010, Metrological thinking needs the notions of parametric quantities, units and dimensions. *Metrologia*, **47**, p.p. 219–230
5. Власов А.Д., Мурин Б.П., 1990, Единицы физических величин в науке и технике. – М., Энергоатомиздат, 176 с.
6. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.

4.2.8. Энергия, а не масса, является естественной основной величиной.

Почему естественной основной величиной является энергия?

Идея включить в состав основных физических величин энергию была высказана еще в конце XIX века французским физиком А. Пуанкаре (1878): *“Поскольку мы не в состоянии дать общее определение энергии, закон сохранения энергии следует рассматривать просто как указание на то, что существует нечто, остающееся постоянным (в любом физическом процессе). К каким бы открытиям не привели нас будущие эксперименты, мы заранее знаем, что и тогда будет нечто, обладающее способностью сохраняться, и это нечто мы можем называть энергией.”*

В качестве основной величины стал рассматривать энергию автор нового научного направления **энергодинамики** А. Вейник (1968). Развивающий это направление В. Эткин (2005) утверждает: *“...если в механике энергия рассматривается в качестве одного из интегралов движения, то в энергодинамике она становится основной величиной, вводимой на основании опыта”*. Это утверждение обосновывает и популяризатор уровневого подхода в физике В. Пакулин (2004): *“Энергия – единственная универсальная для всех уровней величина, которая сохраняется при всех взаимопревращениях”*.

Основными возражениями против этого являются доводы о том, разные виды энергии являются производными величинами, поскольку они имеют свои определяющие уравнения. Например, потенциальная энергия и кинетическая энергия в метрологическом справочнике А. Чертова (1990) обозначаются собственными символами – Π и T .

Знаменитая формула Эйнштейна $E_0 = mc^2$ относится к такому виду энергии, как энергия покоя E_0 , которая является своего рода потенциальной энергией. Из чего следует, что массу m можно рассматривать, как коэффициент пропорциональности между E_0 и $1/c^2$, то есть $m = E_0/c^2$. Сама же энергия покоя является составляющей полной энергии E . Второй составляющей полной энергии движущейся частицы является ее кинетическая энергия. Общеизвестный вид

формулы Эйнштейна в записи $E = mc^2$ является не более, чем историческим недоразумением, как разъяснил Л.Окунь (1989).

В начале XX века М.Планк создал естественную систему единиц, метрологической особенностью которой является то, что единицы ее основных констант при выражении их через единицы других систем включают в себя единицу энергии джоуль. Например, единицей постоянной Планка является Дж с, единицей постоянной Больцмана – Дж К⁻¹, а единицей инертной массы – Дж с² м⁻².

В работе К.Томила (2006), посвященной фундаментальным физическим константам, приводится таблица, обобщающая все известные на сегодня естественные системы единиц. В них основной единицей является масса электрона, измеряющаяся в атомной физике и в физике высоких энергий в единицах энергии (в электрон-вольтах). К.Томилин делает обоснованный прогноз о том, что масса электрона вскоре будет заменена одной из четырех констант, каждая из которых измеряется в единицах энергии. **Таким образом, масса является производной величиной и может быть включена в комплект основных величин лишь условно.**

Практические шаги по введению энергии в качестве естественной основной физической величины

Энергию в качестве основной величины в систему физических величин ввел в 1993 г. И.Коган, но в виде работы силы, он предложил в качестве символа размерности энергии букву E. Но затем пришел к выводу, что работа силы является изменением энергообмена системы с окружающей средой лишь в механической прямолинейной форме движения, и поэтому в дальнейшем в качестве основной физической величины уже принимал саму энергию, оставив тот же символ размерности E.

Основываясь на признании энергии основной величиной, И.Коган (1998, 2003, 2006) создал энергодинамическую систему физических величин и понятий (ЭСВП). В том же ключе выдержана работа Д.Ермолаева (2003), в которой он также считает энергию основной физической величиной. В качестве основной величины энергия появилась также в работе Д.Конторова (1999).

Почему единица массы является основной единицей во всех системах единиц?

В системах единиц каждая основная единица должна иметь свой измерительный эталон, и чем он точнее и дешевле, тем лучше. На этом основана вся практическая метрология. История развития метрологии в значительной мере определялась историей увеличения точности измерительных эталонов и совершенствования методов измерения.

В разделе, посвященном унификации единиц измерений, достаточно подробно описана история этой унификации. Для определения массы пользуются до сих пор эталоном веса, пересчитываемого в гравитационную массу. В современной физике признается принцип эквивалентности гравитационной и инертной масс, который трактуется как принцип равенства значений этих масс. В разделе, посвященном принципу эквивалентности масс, показано, что такая трактовка применима только в макромире. **Однако все системы единиц приспособлены для практического использования лишь в земных условиях, то есть в макромире.**

Высокая точность равенства измеренных значений гравитационной и инертной масс в земных условиях еще не означает идентичность их физического содержания. Более того, сама двойственность понятия "масса" не обоснована. Л.Окунь (1989) доказывает, что масса едина и нет оснований на для ее различного понимания. Это ставит под вопрос обоснованность принятия массы в качестве естественной основной величины.

Массу можно вводить в системы величин и системы единиц лишь в качестве условной основной величины.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Ермолаев Д.С., 2003, Обобщенные законы физики или физика для начинающих. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4959.html>
3. Коган И.Ш., 1993, Основы техники. Киров, КГПИ, 231 с.
4. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.

5. Коган И.Ш., 2003, Пути решения проблемы систематизации физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7073.html>
6. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, Изд. Рассвет, 207 с.
7. Конторов Д.С., Михайлов Н.В., Саврасов Ю.С., 1999, Основы физической экономики. (Физические аналогии и модели в экономике.) – М.: Радио и связь, 184 с.
8. Окунь Л.Б., 1989, Понятие массы (Масса, энергия, относительность). – М.: "Успехи физических наук", т. 158, вып.3, с.с.511-530
9. Пакулин В.Н., 2010, Структура материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НТФ "Истра".
10. Пуанкаре А. Избранные труды.- М.: Наука, 1974. Т.3.-С.521, 557-558.
11. Томилин К.А. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах, – М.: Физматлит. 2006, 368 с.
12. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
13. Эткин В.А., 2005, Альтернатива "Великому объединению". – http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/oputjahvelikogoobiedinenija.shtml.

4.2.9. Число структурных элементов (количество считаемых величин) – основная физическая величина

1. Как понимать термин "число структурных элементов".

Термин "число структурных элементов" входит в Российском стандарте в определение основной величины СИ, называемой "количеством вещества" и измеряемой единицей моль. В Международном метрологическом словаре JCGM 200:2012 для этой величины применяется термин "number of entities" (в русском переводе

- количество объектов или количество сущностей). В JCGM 200:2012 (п.1.4, прим. 3) сказано: "*Количество объектов можно рассматривать как основную величину в любой системе величин*". Однако эта величина пока еще не включена в состав основных величин международной системы величин ISQ (JCGM 200:2012, п.1.6), в соответствии с которой должен формироваться набор основных единиц СИ (JCGM 200:2012, п.1.6, прим. 2).

В статье П.Мора и В.Филиппса (2015) справедливо указывается на то, что следует различать количество объектов (number of entities) и количество событий (number of events), их можно объединить одним термином **количество считааемых величин** (number of counting quantities), поскольку под "**считааемыми величинами**" понимаются "**структурные элементы**" анализируемого объекта или анализируемого процесса.

Согласно современным физическим представлениям, вещество и поле квантуемы. Уровневый подход к анализу структуры материи говорит о том, что **квантуемость** присуща всем структурным уровням материи. Непрерывность изменения характеристики какого-нибудь физического явления на любом уровне структуры материи выглядит как квантуемость на иерархически вышележащем уровне. На любом структурном уровне материи среда состоит из материальных объектов этого уровня, в которых сконцентрировано некоторое число квантов энергии, характерных для данного уровня. **Эти кванты энергии являются структурными элементами (энергоносителями) каждого уровня материи.** Если единичный объект по каким-либо причинам распадается на части, то каждая его часть является считааемой величиной более высокого уровня или подуровня.

Структурные элементы в молекулярной физике – это атомы и молекулы. При переходе от рассмотрения атомов и молекул к рассмотрению их составных частей мы переходим на более высокий подуровень – на подуровень "Частицы" (протоны, нейтроны, электроны). С другой стороны, **атомы и молекулы являются частями структурных элементов подуровня "Рабочие тела", которые рассматриваются уже в термодинамике.** Пример из экономики: при купле-продаже яйца считаются в штуках. Если яйца разбить, то они перестают быть структурными элементами, а вместо них можно рассматривать их составные части (желток, белок, скорлупа, зародыш). Если это нужно. **В информатике единичным событием считается один переход триггерного элемента из одного**

из двух состояний в другое, здесь единичную считаемую величину делить на части невозможно. Поэтому выходной сигнал триггера может иметь только два значения: единицу или ноль.

Эталоном числа структурных элементов (считаемых величин) является сам структурный элемент. К.Томилини (2006) так разъясняет этот феномен: *”Еще до открытия фундаментальных постоянных человек применял абсолютные эталоны, когда измерял множества, которым можно сопоставить натуральный ряд. Например, один человек является абсолютным эталоном для измерения группы людей, а одна овца — для измерения отары овец и т.д.”.*

В разделе о фотоэффекте структурными элементами считаются **фотоны и электроны**, их количество можно измерять в штуках, и **процесс считается квантуемым (корпускулярным)**. При изучении теплового излучения на уровне ”Излучение” процессы считаются непрерывными (волновыми), их структурным элементом является **волна, количество волн тоже можно измерять в штуках**. Однако физическая природа волны и фотона как частицы (корпускулы) различны, **никакого корпускулярно-волнового дуализма не существует**, несмотря на то, что число волн и число корпускул имеют одну и ту же единицу измерения. Единицы не отражают физического содержания величины, это содержание видно только из определяющего уравнения.

2. Число структурных элементов в молекулярной физике.

В СИ основной величиной с размерностью N является количество вещества *n*, определяемое уравнением

$$n = N/N_A, (1)$$

где *N* – число структурных элементов однородной системы без единицы; *N_A* – постоянная Авогадро с единицей моль⁻¹. Числовое значение постоянной Авогадро называется числом Авогадро *A_N*, оно равно числу атомов в 0,012 кг изотопа углерода ¹²C. Однако уравнение (1) противоречит определению основной величины из Международного словаря по метрологии JCGM 200:2012: *”одна из величин (в оригинале величина) подмножества, условно выбранного для данной системы величин так, что никакая из величин подмножества не может выразиться через другие величины“.*

В уравнении (1) количество вещества n выражается через число структурных элементов N и постоянную Авогадро N_A . Причина такого противоречия оправдывается двумя словами из определения: "условно выбранного". Но условно нельзя принимать противоречивые решения. В статье М.МакГлашана (1995) указано, что величина "количество вещества" неудачно названа. А вот истинное число структурных элементов N в уравнении (1) ни размерностью, ни единицей в СИ пока не обладает. В работе В.Дайнеко и др. (1997) говорится: "Естественная единица измерений числа частиц **штука** пока не узаконена. В результате эта величина оказывается ... безразмерной, а постоянная Авогадро имеет абсурдную единицу измерений моль⁻¹ (чего "на моль"?)". В статье Г.Прайса (2010) указывается, что количество вещества n в СИ – это излишняя величина и что моль в СИ не имеет отношения к практическим химическим измерениям, вызывает серьезную путаницу у химиков и дополнительные расходы.

Единица моль⁻¹ вовсе не вытекает однозначно из уравнения (1). Если у количества объектов N будет своя единица (например, штука) то из уравнения (1) будет следовать, что у постоянной Авогадро N_A будет единица штук-в-моле, имеющая ясный физический смысл. П.Мор и В.Филлипс (2015) предлагают решить эту проблему, присвоив постоянной Авогадро единицу ent моль⁻¹, где ent - единица количества объектов. Но при этом они не указывают, что тогда и количество объектов N в уравнении (1) должно иметь единицу ent.

Имеется возможность решить эту проблему по-иному, путем преобразования уравнения (1) в другое уравнение:

$$n_A = N/A_N, (2)$$

где количество объектов N и число Авогадро A_N имеют одну и ту же размерность С. (от count - счет), предложенную Б.Леонардом (2011), и единицу ent. Величина n_A становится критерием подобия. Оно будет равным 1 при количестве объектов N равном числу Авогадро A_N . В таком варианте в единице моль нет необходимости вообще. Устроит ли такое решение химиков, им решать. Но метрологи точно вздохнут с облегчением.

3. Число структурных элементов в циклических процессах

Рассмотрим квантуемый циклический процесс, под которым понимается процесс, состоящий только из целого числа полных циклов. Отдельно взятый цикл является структурным элементом периодического процесса. "Число циклов" является частным случаем числа структурных элементов. Тогда частота колебаний определяется, как число циклов в единицу времени, то есть имеет единицу цикл c^{-1} . Такая единица уже использовалась в СИ до 1960 г., но после 11-й Генеральной конференции по мерам и весам вместо нее стала применяться единица герц, подразумеваемая как c^{-1} . Подробно об этом в разделе, посвященном метрологии периодических процессов.

Волновое излучение обычно представляют в виде целого числа волн, и поэтому его считают квантуемым периодическим процессом, в котором каждая отдельно взятая волна является структурным элементом волнового излучения. Поэтому число волн является числом структурных элементов процесса излучения.

4 . Число структурных элементов в информатике.

Информация - очень распространенное понятие, подробный анализ этого понятия дан, например, в статье И.Паращенко (2002), а Д.Конторовым (1999) было выдвинуто предложение включить информацию в число основных физических величин. Но оба эти автора считают информацию не понятием, а величиной, путая это понятие с величиной "**количество информации**", которая и должна иметь свою единицу, как это принято в метрологии. В.Глушков (1964) дал такое определение: **информация - это мера неоднородности материи, определяемая неравенством чисел структурных элементов материи на различных участках пространства и в различные промежутки времени.**

В компьютерной технике, (словарь Глоссарий.ру) количество информации - это "*мера оценки информации, содержащейся в сообщении*", оно имеет единицу – бит, которая трактуется, как двоичная единица количества информации. Более развернутое определение: "*бит - минимальная единица измерения количества передаваемой или хранимой информации, соответствующая одному двоичному разряду, способному принимать значения 0 или 1*". (Не путать бит с байтом, последний является **наименьшей адресуемой единицей данных** в памяти ЭВМ и равен 8 битам).

Каждый бит информации соответствует определенному

энергетическому состоянию технического устройства, хранящего или передающего информацию и представляющего собой физическую систему. Единственная особенность числа структурных элементов в информатике состоит в том, что его единица имеет численное значение не в десятичной, а в двоичной или в восьмиричной системе исчисления.

5. Число структурных элементов в квантовой механике.

С введением в квантовую механику в качестве основной величины числа структурных элементов должны измениться размерность и единица **постоянной Планка** h , и определяемой сейчас из уравнения

$$\varepsilon = h\nu, (3)$$

где $\varepsilon = \varepsilon_n/n$ – энергия одного кванта излучения; n – число частиц (или волн излучения); ε_n – полная энергия излучения; ν – частота осциллятора. Если излучение имеет волновой характер, то представлять волну в виде кванта излучения не совсем корректно, ибо волна имеет фазу. Только при рассмотрении целого числа волн можно рассматривать волну как квант. Следует также уточнить, что элементарные частицы, являющиеся вращающимися объектами, осцилляторами не являются, и вместо частоты ν следует говорить об угловой скорости собственного вращения ω .

В современной физике постоянной Планка называют чаще всего величину $\hbar = h/2\pi$, хотя правильное её название \hbar – редуцированная постоянная Планка (постоянная Дирака). Подобная путаница вредна, поскольку постоянные h и \hbar имеют разное числовое значение и, как будет показано ниже, разные единицы. Редуцированная постоянная Планка \hbar является коэффициентом в другом уравнении:

$$\varepsilon = \hbar \omega_0, (4)$$

где ω_0 – угловая скорость вращения радиус-вектора на координатной плоскости при применении метода векторных диаграмм. При этом, во избежание путаницы, нельзя опускать нижний индекс 0 при ω .

Если включить в набор основных величин энергию с размерностью E (как в системе величин ЭСВП) и количество считаемых величин с размерностью C (см. раздел 2), то энергия одного кванта ε будет иметь размерность EC^{-1} , а частота волн ν или угловая скорость ω будут иметь

размерность СТ^{-1} . П.Мор и В.Филиппс (2015) допускают ошибку, считая единицу кванта энергии ε равной джоулю, тогда как эта единица равна Дж снт^{-1} . Анализ размерностей уравнения (3) с учетом сказанного показывает, что постоянная Планка \hbar будет иметь размерность $\text{ЕС}^{-2}\text{T}$ и единицу Дж с снт^{-2} .

Применение единиц СИ при анализе уравнения (3) не позволяет сделать вывод о том, что ε – это энергия одного кванта, поскольку в СИ пока еще нет основной величины "количество считааемых величин" со своей единицей. И потому в СИ постоянная Планка пока имеет единицу Дж с . Угловая скорость ω_0 должна иметь размерность АТ^{-1} и единицу об с^{-1} (в СИ - рад с^{-1}). Поэтому в уравнении (4) размерность ε оказывается равной ЕА^{-1} с единицей Дж об^{-1} , а это означает, что ε в уравнении (4) – это количество энергии, приходящееся на один оборот радиус-вектора, что не имеет физического смысла, ибо ω_0 – это искусственно введенная в физику математическая величина. Редуцированную постоянную \hbar , судя по уравнению (4), следовало бы трактовать, как количество энергии, приходящееся на единицу угловой скорости ω_0 , что тоже не имеет физического смысла.

Анализ размерностей уравнения (4) показывает, что редуцированная постоянная Планка \hbar имеет размерность $\text{ЕА}^{-2}\text{T}$ и единицу Дж с об^{-2} . Но физический смысл имеют частицы, а не вращение радиус-вектора, характеризуемое углом поворота. Поэтому, чтобы соблюсти правило размерностей в уравнении $\hbar = h/2\pi$, необходимо искусственно придавать размерность и единицу геометрической константе 2π (См. статью о размерности числа π). То есть следует считать размерность π равной АС^{-1} , а единицу π равной об снт^{-1} . А это дает повод для возникновения не только терминологической, но и метрологической путаницы. Редуцированную постоянную Планка \hbar следует считать не имеющей физического содержания математической интерпретацией постоянной Планка h и ни в коем случае не называть просто постоянной Планка.

Изменения, которые ожидают метрологию в квантовой механике, представлены в табличной форме. В качестве единицы количества считааемых величин применена единиц снт .

Т

Название величины	в СИ	в системе величин ЭСВП
----------------------	------	---------------------------

	Обозначени е	Единиц а	Обозначени е	Единиц а
Постоянная Планка	h	Дж с	h	Дж с cnt^{-2}
Частота испускания частиц	ν	с^{-1}	ν	$\text{cnt} \text{с}^{-1}$
Редуцированна я постоянная Планка	\hbar	Дж с	\hbar	Дж с об^{-1} cnt^{-1}
Угловая частота (Угловая скорость радиус-вектора на диаграмме)	ω	рад с^{-1}	ω_0	$\text{об} \text{с}^{-1}$
Энергия одного кванта	$\varepsilon = h\nu = \hbar\omega$	Дж	$\varepsilon = h\nu = \hbar\omega_0$	Дж cnt^{-1}
Число квантов испускания	n	-	n	cnt
Полная энергия испускания	$\varepsilon_n = nh\nu = n\hbar\omega$	Дж	$\varepsilon_n = nh\nu = n\hbar\omega_0$	Дж
Размерный коэффициент	2π	-	2π	$\text{об} \text{cnt}^{-1}$

—

6. Число структурных элементов в атомной физике.

В процессе радиоактивного распада считают среднестатистические значения срабатываний триггерного счетчика детектора. Единицей измерения активности радиоактивного источника в СИ является Бк

(Беккерель) = s^{-1} . Но эта единица также должна иметь размерность CT^{-1} , где размерность C будет характеризовать количество радиоактивных распадов. При этом следует также учитывать тот факт, что детектор регистрирует не все факты излучения. В этой связи применяют понятие "эффективность детектирования". П.Мор и В.Филлипс (2015) указывают на то, что в этой области физики применяют единицу cnt в смысле "импульс счетчика детектора". А фактическое число радиоактивных распадов (decays) имеет единицу (dcu). В результате скорость радиоактивного распада измеряется в единицах $cnt\ s^{-1}$ и $dcu\ s^{-1}$.

7. Число структурных элементов в термодинамике.

А.Вейник (1968) высказал важную идею о том, что тепловой заряд, как координата состояния тепловой формы движения, является квантуемой величиной. Он выдвинул гипотезу о существовании **единичного теплового заряда**, назвал его **термоном**, обозначив символом τ , и подсчитал его значение, оно оказалось в 3 раза большим постоянной Больцмана. Поскольку постоянная Больцмана трактуется, как кинетическая энергия поступательного движения одной степени свободы молекулы идеального газа, то термон можно трактовать, как кинетическую энергию движения трех степеней свободы молекулы. И тогда суммарную кинетическую энергию молекулы определять по двум равнозначным уравнениям:

$$W_k = 3kT/2 = \tau T/2, \quad (5)$$

где T – термодинамическая температура. Если применить для размерности температуры символ Θ , то размерности k и τ будут одинаковы и равны

$$\dim \tau = \dim k = E\Theta^{-1}, \quad (6)$$

Развивая этот подход, укажем на то, что кинетическая энергия одной молекулы, как единичного теплового заряда, – это энергия одного термона, а кинетическая энергия всех молекул системы равна энергии термона τ , умноженной на число термонов. При такой трактовке термодинамическую температуру T в уравнении (5) следует уже трактовать, как **количество термонов** в однородной системе. То есть температура T фактически имеет размерность C с единицей cnt . И это соответствует формуле размерности

$$\dim \tau = \dim k = \text{ЕС}^{-1} . (7)$$

Так что размерность термона τ отражает количество тепловой энергии всех молекул системы, приходящееся на число молекул. Единица термона, соответствующая этой размерности, – Дж cnt⁻¹.

Современная единица температуры Кельвин и единица cnt друг другу не противоречат. Единица Кельвин, равная численно градусу Цельсия, – это разность температур на температурной шкале, равная сотой доле разности температур между точкой таяния льда и точкой кипения воды. Если бы, например, было бы решено взять одну пятидесятую долю, то кельвин был бы в два раза больше. Получается, что еще в середине XX века в СИ единицей основной физической величины (температуры) сделали единицу числа структурных элементов, назвав эту единицу кельвин.

8. Резюме по поводу числа структурных элементов и его единицы.

Всеобщность величины "количество считаемых величин" уже не оспаривается метрологами. Г. Трунов (2004) предлагает ввести число атомов и молекул вещества во второй закон Ньютона с целью введения концентраций веществ и гравитационных масс в этот закон, чтобы в итоге исключить из физики понятие об инертной массе. В работе А. Митрохина (2002) утверждается, что хотя единица *"штука не узаконена в СИ и, соответственно, в отечественных метрологических стандартах, т.е. де-юре такой единицы измерения не существует, однако де-факто, т.е. в реальной жизни, она узаконена в русском языке очень давно"*. В. Ацюковский (2006) считает, что *"единицей числа любых структурных единиц является «штука»"*. Важность и необходимость введения в перечень естественных основных физических величин числа структурных элементов со своей размерностью и единицей уже признается, хотя и осторожно, Международным стандартом ISO 80000-1, на базе которого составлен Международный словарь JCGM 200:2012.

Рассматриваемая проблема числа структурных элементов имеет значение не только для метрологии. Например, В. Эткин (2005) обнаружил нарушение правила размерностей в законе излучения М.Планка. Применение числа структурных элементов привело И. Когана к обнаружению ошибки в современной записи уравнения закона излучения М.Планка. Исправление этой ошибки позволило снизить разность между теоретическими и экспериментальным

значениями постоянной Планка.

Конечно, необходимо договориться о едином названии для единицы числа структурных элементов в разных разделах физики и в различных научных направлениях. И.Миллс (1995) указывал на то, что единица *one* (на английском языке “один“) для “количеств однородных элементов“ должна рассматриваться как единица СИ. Он указал также на то, что *one* в квантовой механике является целым числом, а в других разделах физики – нецелым числом. Чтобы избежать путаницы, И.Миллс (1995) предложил для числа структурных элементов название единицы *эйс* (на английском – *heis*, что на классическом греческом *εις* означает единицу). Несколько позже было предложено (Т.Квинн, И.Миллс, 1998) дать этой единице название *уно* (на английском – *uno*) и использовать ее с приставками для замены десятичной доли, процента и промилле.

Однако суть дела несколько иная. Целым числом являются единицы количества считаемых величин, а нецелые числа характеризуют критерии подобия. И это принципиально разные группы величин независимо от того, в какой области физики они применяются. Размерность критериев подобия всегда равна и будет равна 1, она при анализе размерностей ни на что не влияет, **нецелым числом является численное значение критериев подобия**. Подробный анализ размерностей и единиц как количества считаемых величин, так и критериев подобия приведен в статье И.Когана (2015).

Количество считаемых величин должно быть включено в набор основных величин со своей размерностью и обобщенным названием единицы. Символы размерности и названия единиц этой величины уже применяются в литературе. Правда, предлагаются и такие единицы, как *mcl* для числа молекул, *atm* для числа атомов и *pcl* для числа частиц. Но если идти этким путем, то число названий единиц может вырасти до слишком большого значения. А пока все предложения только обсуждаются, применяются те названия единиц, которые стали привычными в разных разделах физики.

Литература

1. Ацюковский В.А., 2006, Всеобщие физические инварианты и предложения по модернизации Международной системы единиц СИ. – "Энергетика Сибири", 3 (8), с.с. 10-11.
2. Вейник А.И. 1991, Термодинамика реальных процессов. – Минск:

«Наука і техніка», 576 с.

3. Глушков В.М., 1964, О кибернетике как науке. Кибернетика, мышление, жизнь. – М.: Наука,
4. Дайнеко В.И., 1997, Памятка для решения расчетных задач по химии (школьникам, учителям, абитуриентам) - М.: Интеллект, 49 с.
5. Коган И.Ш., 1993, Основы техники. Киров, КГПИ, 231 с.
6. Коган И.Ш., 2015, Альтернативный путь к Новой СИ (Часть 1. О величинах с размерностью единица). – Законодательная и прикладная метрология, 1, с.с. 29-42
7. Конторов Д.С., Михайлов Н.В., Саврасов Ю.С., 1999, Основы физической экономики. (Физические аналогии и модели в экономике.) – М.: Радио и связь, 184 с. 80.
8. Митрохин А.Н., 2002, К вопросу об адекватности некоторых понятий, определений и терминов метрологии или слово в защиту единицы измерения. – М.: ”Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с.37-45
9. Парашенко И.П., 2002, О понятии “информация”. – Российская наука в Интернете, http://rusnauka.narod.ru/lib/author/parashenko_i_p/1/
10. Томилин К.А., 2006, Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах. – М.: Физматлит. 368 с.
11. Трунов Г.М., 2004, К вопросу о равенстве инертной и гравитационной массах макроскопического тела. - Законодательная и прикладная метрология, 2, с.с. 60–61.
12. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
13. Эткин В.А., 2005, О законе излучения Планка. - http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/ozakoneizluchenijaplanka.shtml.
13. Leonard B.P. 2011, Why the invariant atomic-scale unit, entity, is essential for understanding stoichiometry without ‘Avogadro anxiety’. Accred Qual Assur 16 p.p. 133–141
14. McGlashan M.L., 1995, Amount of substance and the mole. Metrologia, 31, p.p.447–455
15. Mills I.M., 1995, Unity as a Unit. – Metrologia, 31, p. 537.
16. Mohr P.J., Phillips W.D., 2015/ Dimensionless units in the SI. – Metrologia, v. 52, p.p. 40-47.
17. Price G., 2010, Failures of the global measurement system: I. The case of chemistry Accreditation Qual. Assur. 15 p.p.421–427
18. Quinn T.J. and Mills I.M., 1998, The use and abuse of the terms percent, parts per million and parts in 10ⁿ. Metrologia, 35, p.p. 807–810
19. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL:

http://www.bipm.org/utills/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
20. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL:
<http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf>

4.2.10. Производные физические величины и их классификация

1. Определение и классификация производных физических величин.

Любая физическая величина, для которой существует **определяющее уравнение** или **уравнение связи** с другими физическими величинами, является **производной физической величиной**. В Международном словаре по метрологии JCGM 200:2012 приведено такое определение: "*величина, которая в системе величин определена через основные величины этой системы*". Естественно, что количество производных физических величин очень велико. Тем не менее, и они классифицируются по таким признакам:

- 1.** по признаку очередности образования – производные величины первой, второй (и т.д.) очереди,
- 2.** по признаку наличия у размерности числового коэффициента – когерентные и некогерентные величины,
- 3.** по признаку наличия системной единицы измерения – величины, имеющие размерность, и безразмерные (безразмерностные) величины,
- 4.** по признаку отношения к другой физической величине – удельные

физические величины и базовые физические величины,

5. по признаку наличия дробных показателей степени размерностей – величины первого и второго порядка.

2. Очередность и когерентность производных физических величин.

Производными величинами первой очереди являются такие производные величины, **в определяющих уравнениях которых присутствуют только основные физические величины**. Например, такие производные величины, как скорость и ускорение, являются производными величинами первой очереди, потому что в их определяющих уравнениях присутствуют только основные величины: длина и время.

Производными величинами второй очереди являются производные величины, в определяющих уравнениях которых имеется (кроме основных величин) хотя бы одна величина первой очереди. И так далее в том же порядке.

Подобная классификация производных величин необходима, на наш взгляд, при составлении списков (перечней) физических величин в любом справочнике или учебнике, так как **только расположение физических величин по признаку их очередности согласуется с принципом причинности**. Отметим, что в современных справочниках и учебниках признак очередности в перечнях физических величин не соблюдается.

Производные величины **когерентны (согласованы)**, если в их формулах размерности числовой коэффициент равен 1. В системе единиц СИ все единицы производных величин когерентны. Но этот признак отсутствовал в некоторых системах единиц, существовавших до СИ.

3. Безразмерные производные физические величины.

В Международном словаре по метрологии JCGM 200:2012 (п. 1.8) приведено такое определение **безразмерной величины**: "*величина, для которой все **показатели степени множителей, соответствующих основным величинам в ее размерности, равны нулю***". (В современной русскоязычной литературе до сих пор сохраняется название **безразмерная величина**).

В JCGM 200:2012 в п. 1.8 предпочтительным по сравнению с термином "безразмерная величина" является термин, который в русскоязычном переводе словаря выглядит как "величина с размерностью единица". Такой перевод не точен. В англоязычном оригинале это "quantity of dimension one". Числительное "one" отличается от существительного "единица", оно переводится на русский язык, как "один". Кроме того, термин "единица" (в английском языке - unit) имеет в метрологии другое содержание.

Наиболее подходящим вариантом перевода на русский язык является вариант "**величина с размерностью 1**". Это подтверждается прим. 1 п. 1.8: *"Термин "безразмерностная величина" широко используется и сохранен здесь по историческим причинам. Он связан с тем, что в символическом представлении размерности таких величин все показатели степени равны нулю. Термин "величина с размерностью единица" отображает соглашение, согласно которому символическим представлением размерности таких величин является символ 1"*.

Важным по содержанию является также прим. 3 к п. 1.8: **"Некоторые величины с размерностью единица определяются как отношение двух величин одного рода"**.

В разделе, посвященном безразмерным величинам, показано, почему некорректен сам этот термин, и что безразмерных величин вообще не существует.

4. Удельные и базовые производные физические величины

Удельная физическая величина – это отношение любой физической величины к любой другой физической величине, **условно принятой за основу (за базу)**. **Физическая величина, находящаяся в знаменателе отношения, называется базовой физической величиной**. В удельных величинах чаще всего базовыми величинами бывают длина, площадь, объём, масса.

По причине условности выбора базовой величины удельные физические величины не систематизируются. Поэтому на них не распространяется условие однозначности, заключающееся в том, что одна и та же размерность должна принадлежать физическим величинам одной и той же природы. Удельные величины могут иметь одинаковые размерности при разном физическом содержании. Не распространяется на удельные величины и условие показателей

степеней, заключающееся в том, что физическая величина не может иметь размерность основной физической величины в минус первой степени. .

Если базовыми величинами являются длина, площадь или объём, то такие удельные физические величины называются **плотностями: линейной, поверхностной и объёмной**. Если базовыми величинами являются величины той же размерности, что и величина, находящаяся в числителе отношения, то речь идет о **критериях подобия**.

5. Порядок производной физической величины

История создания различных систем единиц измерения показала, что следует различать **физические величины первого и второго порядка**. Эта классификация не связана с очередностью образования производных величин.

К величинам первого порядка относятся статический заряд центрального физического поля (электрический заряд или гравитационный заряд) и его производная по времени (поток заряда). К величинам первого порядка относятся также все производные величины, в определяющие уравнения которых входят величины первого порядка в нечетной степени (гравитационная масса, потенциал поля, напряженность поля и т.п.).

К величинам второго порядка относятся естественные основные физические величины (энергия, длина, время, угол поворота, число структурных элементов), все производные от них величины (например, сила, мощность, вращающий момент и т.д.) и те производные величины, в определяющие уравнения которых входит заряд центрального физического поля в четной степени.

Если в числе условных основных величин любой системы единиц или любой системы величин отсутствует величина первого порядка, то в показателях размерностей и единиц величин неминуемо будут присутствовать дробные степени с числом 2 в знаменателе, например, $1/2$, $3/2$, $5/2$, $7/2$ и т.д. Подобное наблюдается во всем семействе систем единиц СГС, и касается это в них физических величин электромагнетизма.

6. Имеют ли физический смысл дробные степени в формулах размерностей?

Причиной появления дробных показателей степени в формулах размерности электромагнитных величин во многих системах единиц является то, что **длина входит в уравнение для определения силы взаимодействия зарядов физического поля в виде радиуса во второй степени**. И поэтому в размерность заряда физического поля неизбежно должен войти корень квадратный из размерности длины.

Это вполне закономерно, но дробные степени в размерностях и единицах всегда раздражали и сейчас раздражают многих ученых и инженеров, в том числе, и достаточно известных, считающих их противоестественными и не несущими физического смысла, о чем они открыто высказываются в своих публикациях. Но это следствие закона притяжения Ньютона и закона Кулона, на отсутствие физического смысла в которых не пожалуешься. В действительности же главной причиной раздражения является то, что их неудобно записывать и что с дробными степенями неудобно проводить анализ размерностей или анализ единиц.

Наличие физического смысла или его отсутствие следует выяснять только при анализе определяющих уравнений, а не искать его в том, какой вид имеют показатели степеней в формулах размерностей или в формулах единиц. Единица c^2 , например, имеет не больше физического смысла, чем единица $m^{1/2}$. Считать наличие дробных показателей степеней в размерностях недостатком системы величин или системы единиц можно только с точки зрения психологии восприятия.

Однако психология восприятия тоже важна, и поэтому физики и метрологи пришли к решению заменить систему единиц СГС с дробными степенями показателей в размерностях на систему единиц СИ без дробных степеней показателей. Для этого одну из производных величин первого порядка (электрический ток) сделали в СИ условной основной величиной и постановили считать ее единицу Ампер основной единицей, то есть единицей основной величины.

Многие физики-теоретики недовольны СИ и предпочитают пользоваться системой единиц СГС, называемой также гауссовой системой единиц. Однако система СГС, представляющая собой объединение двух других систем единиц (СГСЭ и СГСМ), имеет

серьезный недостаток: в ней напряженности центрального и вихревого полей имеют одну и ту же размерность, что противоречит их определяющим уравнениям. Этого недостатка нет в системах СГСЭ и СГСМ, взятых в отдельности.

В созданной И. Коганом системе величин ЭСВП нет указанных недостатков системы единиц СГС. Но в системе величин ЭСВП также нет дробных показателей степени, так как в качестве условной основной величины (**обобщенной производной величины**) в ней применяется **заряд поля, являющийся физической величиной первого порядка**. И в ЭСВП напряженности центрального и вихревого полей имеют разную размерность. Этим ЭСВП отличается от СГС, она близка к системе СГСЭ.

Литература

1. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL: http://www.bipm.org/utills/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
2. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL: <http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf>

4.2.11. Условные основные величины

1. Деление основных физических величин на естественные и условные.

В разделе, посвященном основным физическим величинам, приводятся причины, по которым необходимо разделить основные физические величины на **естественные** и **условные**. Одной из важных причин ввода в систему единиц СИ в качестве основной величины такой производной величины, как электрический ток, является то, что многие

физики и метрологи хотели избавиться от дробных степеней в показателях размерностей и единиц электромагнитных величин, присутствовавших в системе единиц СГС.

Производную величину, условно принимаемую в качестве основной, будем называть **условной основной величиной**. Размерность такой производной величины может включать в себя размерности естественных основных физических величин, возведенных в разные степени. Чтобы не нарушить стандартное определение основной величины при вводе в набор основных величин производной величины, в современное определение набора основных величин введены слова: "условно выбранные".

Для естественных основных величин характерно то обстоятельство, что для них нет определяющего уравнения, в то время, как для условной основной величины такое уравнение существует. Учитывая это, составители такого, например, стандарта, как РМГ 29-99 (2002) должны были бы ввести в определение основной величины дополнение, согласно которому необходимо было бы указать **допустимость введения основной величины, размерность которой определяется уравнением связи**. Если бы такое дополнение в стандарте существовало, то введение производной величины в число основных величин было бы легитимизировано, а не носило бы характер волюнтаристского решения, как это получилось при создании СИ.

2. Электрический ток как условная основная величина.

На роль условной основной величины в электромагнетизме логичнее всего подходит **электрический заряд**. Но точнее и экономичнее можно сделать измерительный эталон **электрического тока**. Поэтому в СИ была введена условная основная физическая величина (**электрический ток**) с символом размерности I .

Размерность электрического тока в ЛМТ-системе размерностей (в системе единиц СГСЭ) вытекает из закона Ампера:

$$\dim I = L^{3/2}M^{1/2}T^{-2}. \quad (1)$$

После создания СИ электромагнитные величины стали определяться в ЛМТ-системе размерностей. В результате размерность любой электромагнитной величины в СИ можно получить путем двойной

операции. Сначала к размерности величины в СГСЭ добавляется размерность тока в соответствии с выражением (1) и корректируются соответственно показатели степеней, а затем добавляется размерность тока I . Это привело к любопытной и двусмысленной ситуации.

Оказалось, что электромагнитные величины первого порядка (напряженности и все производные от них величины) могут иметь в СИ две равнозначные размерности: одну в ЛМТІ-системе, а другую – в ЛТІ-системе (см. Таблицу величин физического поля в СИ). И теперь, чтобы выяснить, какая из этих двух записей должна использоваться, необходимо смотреть в справочник. Трудно понять, например, почему размерности напряженностей электромагнитного поля в вакууме предписано принимать в ЛМТІ-системе, а размерности напряженностей электромагнитного поля в веществе – в ЛТІ-системе. А размерности величин второго порядка, таких как энергия, сила, вообще не нуждаются в размерности тока I , так как у размерностей этих величин и раньше не было дробных степеней. (И.Коган, 2015б)

Интересно, что при подстановке размерности I из выражения (1) в размерность магнитной постоянной μ_0 получается размерность скорости в минус второй степени, соответствующая формуле $\mu_0 = 1/c^2$. А электрическая постоянная ϵ_0 получает при этом размерность, равную 1. И это соответствует подлинным размерностям этих величин, являющихся фактически размерными коэффициентами, но зато не соответствует тем размерностям, которые получили эти размерные коэффициенты в СИ. Жаль, что в физике и метрологии пока не хотят заметить такое несоответствие.

3. Электрический заряд как условная основная величина.

В систему единиц СИ для устранения дробных показателей размерностей в качестве условной основной величины ввели электрический ток, исходя из практических соображений, но вопреки принципу причинности. В систему естественных физических величин, не нуждающуюся в создании измерительных эталонов, можно ввести в качестве условной основной величины электрический заряд с размерностью Q . Что и сделано И.Коганом (2006, 2015) при создании системы величин ЭСВП. Символом Q уже обозначалась ранее размерность электрического заряда в системе СГСФ, существовавшей в конце XIX века.

В разделе, посвященном выводу размерности заряда, показано, что из

закона всемирного тяготения Ньютона и закона взаимодействия зарядов Кулона вытекают такие размерности заряда системы q и единичного (элементарного) заряда q_e :

$$\dim q = E^{1/2}L^{1/2}, \quad (2)$$

и

$$\dim q_e = E^{1/2}L^{1/2}C^{-1}, \quad (3)$$

где E является символом размерности энергии (**естественной основной физической величины**), а C является символом размерности **числа структурных элементов (количества считаемых величин)**, величины, вхождение которой в **набор естественных основных величин** обсуждается в настоящее время. Из размерности электрического заряда вытекает и размерность электрического тока $\dim I = QT^{-1}$.

4. Масса как условная основная величина.

Во всех системах единиц единица массы является основной единицей. В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) масса трактуется, как *"одна из основных характеристик любого материального объекта, являющаяся мерой его инертности и гравитации"*. Однако измерительный эталон килограмма до его предстоящего переопределения основан на измерении силы тяготения, следовательно, речь идет лишь о гравитационной массе, как мере гравитации.

Высокая точность совпадения значений инертной и гравитационной масс в опытах, проведенных в земных условиях, лежит в основе так называемого **принципа эквивалентности масс**. Этот принцип лежит в основе работ **В.Васильева** и **В.Ерохина**, в которых обосновывается легитимность ЛТ-системы размерностей, предложенной еще Р.Оди Бартини (1965), и прельщающей многих изяществом форм таблиц физических величин. Однако в разделе, посвященном **ЛТ-системе Р.Оди Бартини**, и в работе К.Томила (2006) продемонстрирована метрологическая несостоятельность этой системы. В статье Г.Трунова (2011) показано, что **понятие инертной массы должно быть исключено из физики**. Из чего следует, что не адекватен и сам принцип эквивалентности масс.

В большинстве естественных систем единиц XX века в качестве эталона единицы массы присутствует масса электрона, которую в атомной физике измеряют в единицах энергии (в электрон-Вольтах), а не в килограммах. В табл. 3.4.1 из работы К.Томилина (2006) приводятся 4 физические величины, имеющие единицу энергии и претендующие на то, чтобы эта единица заменила единицу массы электрона в качестве единицы естественной основной величины. **В естественной системе величин масса, как условная основная величина, должна быть заменена энергией, как естественной основной величиной.** А масса может быть включена только в качестве условной основной величины.

5. Температура, количество вещества и сила света как условные основные величины.

В разделе, посвященном размерности термодинамической температуры, подробно пояснено, почему размерность и единица температуры не должны совпадать с размерностью и единицей энергии, а должны зависеть от размерности и единицы теплового заряда.

Точно так же в разделе, посвященном считаемым величинам, пояснено, что измерение количества вещества в молях приводит к серьезным затруднениям, и показано, как можно избежать их в процессе обновления (И.Коган, 2015а, 2015в).

К условным основным величинам относится и сила света. **Оптическое излучение характеризуется тремя видами фотометрических величин: энергетическими, фотонными и редуцированными** (А.Чертов, 1990). Первые из них измеряются в единицах энергии, вторые – в единицах количества считаемых величин. А редуцированные фотометрические величины, к которым относится сила света, связаны с энергетическими фотометрическими величинами расчетными зависимостями. Решение ввести в качестве условной основной величины силы света с единицей кандела принято в связи с тем, что измерительный эталон этой единицы оказался наиболее точным.

Литература

1. ди Бартини, Роберт Орос, 1965, Некоторые соотношения между физическими константами. – Доклады АН СССР, т. 163, № 4.
2. Васильев В.А., 2004, Периодическая система физики и биологическая картина мира. - Десногорск, Изд. ООО "Газета Авооська", 140 с.
3. Ерохин В.В., 2008, Абсолютная система физических единиц. – <http://new-idea.kulichki.net/?mode=physics&pn=1>
4. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
5. Коган И.Ш., 2015а, Альтернативный путь к Новой СИ (Часть 1. О величинах с размерностью единица). – Законодательная и прикладная метрология, 1, с.с. 29-42
6. Коган И.Ш., 2015б, Альтернативный путь к Новой СИ (Часть 2. О необходимости изменения набора основных величин). – Законодательная и прикладная метрология, 2, с.с. 34-48
7. Коган И.Ш., 2015в, Альтернативный путь к Новой СИ (Часть 3. Кельвин - вариант единицы количества объектов). – Законодательная и прикладная метрология, 3, с.с. 45-56
8. РМГ 29-99, 2002, Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. - Минск: МГС по стандартизации, метрологии и сертификации, 27 с.
9. Томилин К.А. 2006, Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах. – М.: Физматлит. 368 с.
10. Трунов Г.М., 2011, О возможности исключения из физики понятия «инертная масса макроскопического тела» . – “Мир измерений”, 1.
11. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с

4.2.12. Что такое система физических величин?

1. Определение системы физических величин.

По определению из русского перевода JCGM 200:2008 **система величин** это "*совокупность величин вместе с совокупностью непротиворечивых уравнений, связывающих эти величины*". В оригинале JCGM 200:2008 на месте слова "совокупность" стоит слово "set", что в переводе означает не только "совокупность", но и "множество, комплект, набор". Учитывая, что в следующих пунктах

JCGM 200:2008 применяется термин "subset", звучащий в русском переводе, как "подмножество", логично применить вместо слова "совокупность" слово "множество". Тем более, что термины "совокупность" и "множество" входят в различные варианты определения термина "система".

Принципы построения системы физических величин разъясняются в разделе, посвященном основным физическим величинам. В нем, а также в разделе о наборе основных величин в системе величин, ничего не говорится о единицах основных величин, как бы подчеркивая отсутствие необходимости в упоминании о единицах в процессе систематизации физических величин.

Судя по истории проблемы обобщения и систематизации физических величин, начиная с прошлого века было предложено несколько различных систем величин. В настоящее время в соответствии с международным метрологическим словарем JCGM 200:2008 существует Международная система величин ISQ (International System of Quantities), на комплекте основных величин которой должен базироваться комплект основных единиц СИ. В приведенном в JCGM 200:2008 определении понятия "система величин" нет указания на то, что система величин ISQ должна зависеть от системы единиц СИ. Поэтому абсолютно нелогично то обстоятельство, что комплект основных величин в системе ISQ полностью идентичен комплекту основных единиц СИ.

2. Какие известны системы физических величин.

Прообразом системы величин является Таблица физических аналогий Г.Ольсона (1960), в которой отсутствуют единицы величин, а приведены только их размерности. В "Единой математической формуле законов природы", предложенной М.Вудынским (1971), также приведены только размерности величин. Н.Плотников (1978) издает брошюру уже с конкретным названием "Система физических величин", единицы СИ используются Н.Плотниковым только в качестве иллюстрации. Более того, систему Плотникова можно назвать, скорее, системой физических закономерностей.

Главным стимулом для построения систем физических величин послужило создание А.Вейником своей "Общей теории". В ней он обосновал новую теорию о существовании элементарных форм движения, каждая из которых имеет свою координату состояния.

Главной и общей физической величиной А. Вейник предложил считать энергию, по какой причине назвал свою теорию **энергодинамикой**. Воспользовавшись идеями А. Вейника, И. Коган (1993) предлагает ввести Таблицу обобщенных физических величин, а затем, на базе этой таблицы в качестве клише составлять таблицы физических величин разных форм движения. Это публикуется в 1998 г. в метрологическом журнале, а в 2003 г. комплекс таблиц физических величин базе получает название энергодинамической системой физических величин и понятий ЭСВП, которой и посвящена данная работа.

В 1999 г. А. Чуев предлагает оригинальную графическую схему расположения физических величин, пользуясь которой можно систематизировать и даже прогнозировать новые физические закономерности. В дальнейшем, Д. Ермолаев в 2003 и 2008 годах, не зная о работах своих предшественников, публикует практически повторяющую идеи энергодинамики систему физических величин. А в 2008 г. известный физик Г. Голицын показывает, как можно проводить анализ размерностей в физических закономерностях, используя комплект основных величин, включающий в себя энергию.

3. Неточности в современном определении системы величин.

Приведенное выше определение системы величин из JCGM 200:2012 неточно, так как в соответствии с системным подходом совокупность, как некое множество, даже если ее упорядочить, еще не образует систему (см. определение понятия система).

В JCGM 200:2012 дано такое определение системы величин ISQ: "*система величин, основанная на подмножестве семи основных величин: длине, массе, времени, электрическом токе, термодинамической температуре, количестве вещества и силе света*". Получается, что ISQ является подсистемой по отношению к более широкому понятию "система величин", а это предполагает законность существования других систем величин, основанных на других подмножествах основных величин.

Система единиц СИ, будучи подсистемой, устанавливает фактически правила для системы ISQ. И это противоречит такому **основному свойству понятия "система", как эмерджентность**. Получается, что в понятиях "система величин ISQ" и "система единиц СИ" само применение слова "система" не адекватно. Кроме того, как ISQ, так и СИ, не соответствуют такому основному свойству понятия "система",

258

как **целостность**. Они не обладают какими-либо интегральными свойствами, не сводящимися к сумме свойств таких понятий, как "величина" и "единица измерений".

Фактически с момента создания самых первых систем единиц главным принципом являлась **унификация**, определение которой в БСЭ: *"приведение к единообразию, к единой форме или системе"*. **Это было продиктовано и сейчас диктуется необходимостью единообразия основных единиц в международном масштабе с точки зрения единства измерений как в физике и технике, так и в экономике. А понятие "унификация" является подчиненным по отношению к понятию "систематизация". Так что и с этой точки зрения применение понятия "система" в метрологии некорректно. Но обратного пути уже нет.**

4. Необходимость изменения определения системы величин.

Если уже нецелесообразно исключать термин "система величин", то можно, по крайней мере, дать ему новое определение: **"совокупность независимых физических величин, набор которых соответствует законам природы, вместе с совокупностью непротиворечивых уравнений, связывающих эти величины"**. Слова **"соответствует законам природы"** в корне меняют ситуацию. На место существующего волонтаристского подхода приходит научный подход, базирующийся на последних достижениях физики. **И набор основных величин, составляемый согласно этому определению, не обязан соответствовать набору основных единиц.**

Предлагаемая И. Коганом система величин ЭСВП на сегодняшний день, как нам известно, **является единственной**, которая разорвала противоречащую принципу причинности зависимость системы величин от априорно принятой системы единиц. У нее собственный **набор естественных основных величин (базис системы)**. Поэтому сравнивать ЭСВП резонно лишь с системами величин, составляемыми другими авторами, что излагается в обзоре, посвященном **истории развития проблемы** систематизации физических величин.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Вышейшая школа, 464 с. Olson H.F., 1966, Solution of Engineering Problems by

- Dynamical Analogies. – New York, D. Van Nostrand Co.
2. Вудынский М.М., 1971, Законы физики и электроника. – ВИНТИ, Итоги науки и техники, Серия “Автоматика и радиоэлектроника”.
 3. Голицын Г.С., 2008, Наглядность для ряда задач выбора энергии в качестве единицы измерения вместо массы. – “Успехи физических наук”, 178, № 7, с.с. 753-755.
 4. Ермолаев Д.С. Тепловой заряд и обобщение теплофизики. // Актуальные проблемы современной науки, №4(43) 2008г, стр.89, -М: «Компания Спутник+», (<http://icreator.ru/physics/tz0807.htm>)
 5. Коган И.Ш., 1993, Основы техники. Киров, КГПИ, 231 с.
 6. Коган И.Ш., 1998в, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
 7. Коган И.Ш., 2003, Пути решения проблемы систематизации физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7073.html>
 8. Плотников Н.А., 1978, Система физических величин. – Вологда, Областной Совет ВОИР, 34 с., также <http://plotnikovna.narod.ru>
 9. Чуев А.С., 2003, О существующих и теоретически возможных силовых законах, обнаруживаемых в системе физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5811.html>
 10. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL: http://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
 11. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL: <http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf>

4.2.13. Сравнение систем физических величин и систем единиц

1. У систем физических величин и систем единиц разные цели и задачи.

Читатели, знакомящиеся с описываемой в этой работе энергодинамической системой физических величин и понятий ЭСВП,

обычно сразу же мысленно сравнивают ее с Международной системой единиц СИ, и их первый вопрос таков: "Зачем нужна ЭСВП, если уже есть СИ?".

Ответ на этот вопрос обычно не выслушивают, будучи убежденными в том, что ответ кроется в самом вопросе. А настоящий ответ уже давно дал великий поэт Владимир Маяковский, хотя и по другому поводу:

И знал только бог седобородый,
что это животные разной породы.

В данном разделе подробно анализируется различие, которое должно существовать между системами физических величин и системами единиц измерения и которое в современной метрологии не ощущается.

Развернутый ответ на вопрос "Зачем нужна ЭСВП, если уже есть СИ?" или на более конкретный вопрос: "Зачем сопоставлять системы единиц с системами величин?" приведен ниже в таблице.

2. Таблица сравнения систем физических величин и систем единиц измерения.

	СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН (ниже СФВ)	СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ (ниже СЕИ)
Зачем нужны эти системы?	Для систематизации физических закономерностей, представляющих собой уравнения связи между физическими величинами.	Для унификации единиц измерения в международном масштабе.
Какая польза от этих систем?	1. Установление обобщенных закономерностей и на их основе частных закономерностей в	1. Обеспечение единства измерений. 2. Устранение возможных препон для общения ученых и инженеров различных специальностей. 3. Возможность легкого сравнения результатов научных экспериментов.

	<p>различных научных направлениях.</p> <p>2. Устранение разобщенности разных разделов физики и различных технических дисциплин.</p> <p>3. Облегчение процесса преподавания физики и технических дисциплин и процесса усвоения учебного материала.</p>	<p>4. Облегчение торговли изделиями и, как следствие, создание условий для роста экономики.</p>
<p>Влияют ли СФВ и СЕИ друг на друга?</p>	<p>1. СФВ предлагают изменение отдельных терминов, символов и индексов в СЕИ.</p> <p>2. СФВ указывают на желательность корректировки отдельных единиц в СЕИ.</p>	<p>СЕИ в принципе не должны влиять на СФВ, но по чисто психологическим причинам мешают их внедрению в науку и педагогику.</p>
<p>Препятствуют ли СФВ и СЕИ друг другу?</p>	<p>СФВ не препятствуют развитию СЕИ, у них другие цели и задачи.</p>	<p>СЕИ не должны препятствовать развитию СФВ, но по чисто психологическим причинам препятствуют.</p>
<p>Наличие размерностей</p>	<p>Обязательно, размерность – это основа анализа закономерностей.</p>	<p>Анализ размерностей может быть заменен анализом единиц, что и бывает на практике.</p>
<p>Наличие единиц измерений</p>	<p>Не обязательно, разве что в качестве справочного материала.</p>	<p>Обязательно, именно для их унификации и создаются СЕИ.</p>
<p>Основные величины</p>	<p>Существуют в</p>	<p>Набор основных единиц принимается</p>

	природе объективно, задача науки – выявить их. Набор основных величин не обязан совпадать с набором основных единиц.	условно на международных конференциях, отвечает требованиям практики и существует только на Земле.
Независимость основных величин	Для предотвращения записи дробных показателей степеней размерностей в набор основных величин может быть условно включена производная величина.	Некоторые основные единицы могут определяться через другие основные единицы.
Расположение величин в перечнях	Строится на базе принципа причинности и в последовательности, вытекающей из этого принципа.	Априорное, зависит от предпочтений составителя перечня величин.
Формула размерности	Размерность величины определяется только по уравнению связи. Словесные формулировки при определении размерности недопустимы.	Размерности на практике определяются по уравнению, не всегда подчиняющемуся принципу причинности. Словесные формулировки в стандартах допускаются.
Возможность предсказания новых закономерностей	1. СФВ могут и обязаны предсказывать новые закономерности. 2. СФВ могут и обязаны корректировать	Возможность предсказания новых закономерностей в современных СЕИ отсутствует.

	форму записи уравнений связи.	
Удобство при измерениях	В качестве одной из задач СФВ не рассматривается.	Определяет предпочтительность применения той или иной СЕИ .
Удобство при преподавании	Наличие естественных основных величин облегчает процесс преподавания.	В качестве одной из задач СЕИ не рассматривается.
Удобство при научных исследованиях	Наличие естественных основных величин способствует успешным исследованиям в любом разделе физики.	Ученые стремятся использовать ту СЕИ , которая наилучшим образом соответствует конкретному разделу физики.

3. Примечание к таблице сравнения систем величин и систем единиц.

Исторически в связи с развитием учения об электромагнетизме физики вводили последовательно 9 (девять!) систем единиц измерений, а всего в работе Л.Брянского (2002) их перечислено 16 (шестнадцать!!), не считая естественных и неметрических систем единиц. Желая проследить процесс формирования современных систем единиц можно посоветовать заглянуть в монографию А.Власова и Б.Мурина (1990).

Всё это следствие того, что наука до сих пор не знает достоверно, что такое электрический и гравитационный заряды и какова их размерность. Для этого используют законы Кулона и Ньютона, вводя в них размерные коэффициенты и неправомочно называя эти размерные коэффициенты фундаментальными постоянными. Вводили их по-разному, поэтому и возникло такое количество систем единиц.

Несложно представить муки профессионалов (не говоря уже о студентах), которые вынуждены были разбираться в этом нагромождении систем единиц до создания единой СИ. Но и СИ тоже многих и во многом не устраивает. Автор популярного учебника по

физике Д.Сивухин (1979) указывает на то, что СИ навязана физиками метрологам, что СИ неоправданно усложняет научные исследования и преподавание.

4. Чем конкретно отличается система величин ЭСВП от системы единиц СИ.

1. В ЭСВП и в СИ различен набор основных величин. В СИ имеется 7 основных единиц, но лишь 4 из них аналогичны единицам, соответствующим системе величин ЭСВП. 4 основные единицы СИ определяются только на планете Земля (электрический ток, термодинамическая температура, количество вещества, сила света). При систематизации физических величин подобная априорность недопустима.

2. Набор основных величин в ЭСВП, пока не введено в действие переопределения единиц, неприемлем для их унификации. Современная тенденция переопределения основных величин неизбежно приведет к замене измерительных эталонов **фундаментальными физическими константами** (К.Томилин, 2006). Единицу энергии очень просто в процессе переопределения ввести в набор основных единиц.

3. В таблицах ЭСВП все физические величины расположены в строгом соответствии с принципом последовательности, заключающемся в том, что в перечнях физических величин производные величины должны указываться после тех величин, которые их определяют. Во всех таблицах систем единиц, включая СИ, этот принцип не учитывается.

4. Размерности в ЭСВП устанавливаются только по уравнениям связи, а не по словесным формулировкам. Как остроумно заметил Р.Фейнман (1965, т.1), “...из одного определения никогда ничего никто не выводил...”. Поэтому определяющие уравнения в ЭСВП иногда могут не совпадать с существующими словесными формулировками или уравнениями связи, принятыми в СИ.

5. В таблицах ЭСВП устранены те нарушения принципа причинности при составлении уравнений связи, которые сейчас имеют место в СИ. Это не совпадает с мнением ряда практических метрологов, выраженным, например, Н.Студенцовым (1997), который считает, что необходимо “руководствоваться одним единственным принципом – практической целесообразностью”. **При построении системы величин практическая целесообразность должна уступить по**

своему значению принципу причинности.

6. В ЭСВП запись единиц измерений выглядит подчас не так, как в СИ. Например, в СИ в размерностях некоторых электромагнитных величин присутствует размерность массы, и поэтому в единицах этих величин присутствовать единица килограмм, хотя физического содержания в этом нет. Чтобы избежать недоуменных вопросов, физики присвоили единицам электромагнитных величин именованные названия (вебер, тесла, генри, фарада, ом, сименс). И тем самым обрекли на мучения студентов и инженеров, когда им необходимо переходить от одних единиц измерений к другим. В ЭСВП подобное исключено.

7. Большинство инженеров и физиков при анализе размерностей на практике производят не анализ размерностей, а анализ единиц СИ. И это можно понять. Например, единица объёмной плотности энергии в ЭСВП равна Дж м⁻³, и такая единица выглядит понятно и естественно. А размерность той же объёмной плотности энергии в СИ равна ML⁻¹T⁻², что в переводе на единицы означает кг м⁻¹ с⁻². Хотя это то же самое, что Дж м⁻³. Такое раздвоение у практиков кроме раздражения ничего вызвать не может.

Как говорит И. Коган, он понимает чувства тех читателей, которым предлагается расстаться с иллюзией того, что СИ – чуть ли не единственно возможная система единиц. Она хороша лишь для того, для чего создана, и не более того. Не случайно, что метрологи сейчас готовятся к переопределению основных единиц СИ. Но так осторожно, что решение целого ряда проблем откладывается на неопределенное будущее.

Литература

1. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL: http://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
2. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL: <http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf>
3. Бахмутский А., 2007, Детерминант понятия «система». В сб. «Системные исследования и управление открытыми системами», Хайфа, Центр "Источник информации", вып. 3, с.с.9-19.

4. Брянский Л.Н., 2002, Непричесанная метрология. - М.: ПОТОК-ТЕСТ, 160 с.
5. Власов А.Д., Мурин Б.П., 1990, Единицы физических величин в науке и технике. – М.: Энергоатомиздат, 176 с.
6. Сивухин Д.В., 1979, О Международной системе физических величин. – “Успехи физических наук”, **129**, вып. 2, с.с. 335-338.
7. Студенцов Н.В., 1997, Системы единиц и фундаментальные константы. – “Измерительная техника“, **3**, с.3
8. Томилин К.А. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах, – М.: Физматлит. 2006, 368 с.
9. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., 1965 - 1977, Фейнмановские лекции по физике, в 9 томах. М.: “Мир”.

4.2.14. Реальные и абстрактные физические величины

Деление физических величин на реальные и абстрактные величины.

Движение материи происходит в пространстве и во времени. Если движения материи нет, то нет и необходимости в применении таких категорий, как пространство и во время. **В Природе реально существует только движение материи, а пространство и время являются абстрактными категориями, с помощью которых описывается движение.** И поэтому физические величины, зависящие только от пространства и времени, абстрактны, ибо в уравнениях, их определяющих, отсутствует ссылка на свойства материальных объектов. И это относится практически ко всем величинам такого раздела механики, как кинематика. Не случайно их так и называют **кинематическими величинами** (например, система кинематических величин А.Чуева, 2007).

Такая важная и распространенная величина, как **скорость**, абстрактна, так как ее формула размерности не содержит ни размерности массы, ни размерности энергии. И лишь в том случае, когда скорость движения умножается на массу, то полученная величина, называемая количеством движения или импульсом, становится **реальной величиной.** Таким образом, **реальными физическими величинами** следует называть такие величины, в

размерность которых входит размерность энергии или массы. А все физические величины, в размерность которых размерность энергии или массы не входит, следует называть **абстрактными физическими величинами.**

Реальные величины можно, в свою очередь, подразделять на физические и нефизические (относящиеся к общественным наукам), измеряемые и оцениваемые. Оцениваемые величины получаются в результате их расчета по измеряемым величинам.

Примеры реальных физических величин.

Поскольку в размерность заряда входит размерность энергии, значит, реальными являются все физические величины, в размерность которых входит размерность заряда. Поэтому реальные физические величины составляют большинство в электромагнетизме и гравитинамике. Именно поэтому напряженность гравитационного поля является реальной величиной и, следовательно, не должна иметь единицу $m\ c^{-2}$, как это до сих пор имеет место в физике. Реальная размерность и единицу напряженности гравитационного поля указаны в разделе, посвященном напряженностям разных форм физического поля.

Реальными являются все силы и вращающие моменты, а также все физические величины, в определяющие уравнения которых входят силы и вращающие моменты. А это почти все величины такого раздела механики, как динамика. Поэтому А.Чуев (2007) справедливо называет их **динамическими величинами**.

Каким образом физические величины становятся абстрактными.

Производные по времени от любых физических величин являются абстрактными величинами. Производная по времени от любой величины приобретает численное значение при условии, что промежуток времени, в течение которого изменяется эта величина, стремится к нулю (это следует из определения производной). Но при промежутке времени, равном нулю, и само изменение величины тоже равно нулю. То есть производная по времени является математической неопределенностью типа $0:0$.

Физические величины становятся абстрактными также после того, как в определяющих уравнениях появляется операция деления одних

реальных величин на другие реальные величины, и когда в результате этого деления из размерности частного от деления исчезает размерность энергии или размерность массы.

Приведем пример. Когда массовый расход жидкости делят на плотность жидкости (это две реальные величины, так как в их размерность входит размерность массы) или когда весовой расход жидкости делят на удельный вес, то получившийся в результате объемный расход жидкости становится абстрактной величиной. И, действительно, **сам по себе объём является геометрической, то есть математической величиной, он не имеет физического содержания.** Он может приобрести физическое содержание только тогда, когда объем физической системы умножат на плотность. Более детально это разъясняется в разделе, посвященном условию направленности.

Еще дальше в область абстрагирования уходят, когда делят объемный расход жидкости на площадь сечения потока, получая в итоге среднюю скорость потока. Поэтому **вся теория гидродинамики несжимаемой жидкости – это скорее математическая, чем физическая теория.** **Выводы теории гидродинамики несжимаемой жидкости верны лишь постольку, поскольку в итоге в ее уравнения вновь вводят плотность жидкости.** В частности, среднюю скорость потока жидкости нельзя считать аналогом плотности электрического тока, как это часто делают, так как электрический ток – величина реальная. То есть, **скорость потока жидкости и электрический ток – аналоги математические, а не физические.**

Не случайно при анализе размерностей уравнений гидродинамики мы сталкиваемся со случаями нарушения условия показателей степени, заключающегося в том, что размерность основной физической величины не должна быть только в отрицательной степени. Например, такая важная величина, как градиент скорости (сдвиг продольных скоростей поперек потока) имеет в современной гидродинамике размерность времени в минус первой степени.

Математической, а не физической является теория колебаний и волн до тех пор, пока она пользуется только колебательными смещениями, фазовыми и другими скоростями. Если необходимо перейти к практическим выводам об энергии волнового движения, сомножителем становится плотность среды, в которой происходят колебания.

Фазовая скорость света в физическом вакууме, как и скорость распространения любых волн в вакууме, является тоже абстрактной величиной. О реальности этого процесса станет возможно говорить, когда физика признает наличие плотности у полевой среды (у физического вакуума).

Как это ни странно звучит, но в физике пользуются гораздо чаще абстрактными, нежели реальными величинами.

Частный вывод

И. Коган говорит, что он понимает спорность выдвинутой классификации производных физических величин. Как и непривычность представления таких привычных величин, как, например, скорость и ускорение, абстрактными величинами. Но при преподавании и освоении физики необходима научная честность.

Литература

1. Чуев А.С., Система физических величин и закономерных размерностных взаимосвязей между ними. "Законодательная и прикладная метрология", 2007, № 3, с.с. 30-32.

4.2.15. Размерность и единица числа π в физике.

Определение числа π в математике в любых первоисточниках одинаково – это *математическая константа, выражающая отношение длины окружности к длине её диаметра*. Как всякое число в математике, эта константа не имеет размерности. Соответственно, в уравнениях, определяющих площадь окружности, объёмы и площади поверхностей тел вращения, π является просто числовым множителем. А так ли это в физике?

1. Число π во вращательной форме движения, его размерность и единица.

В физике число π имеет отношение к любой физической величине, связанной с вращательным движением и, следовательно, с углом поворота. А угол поворота в физике – это уже не математическая величина под названием плоский угол, а характеристика вращения тела вокруг своей оси, координата состояния вращательной формы движения. Угол поворота является псевдовекторной физической величиной. Он характеризует угловое перемещение любого радиуса, проведенного из центра вращения тела к произвольной точке вращающегося тела. Модуль угла поворота φ обычно представляют в физике в виде:

$$\varphi = 2\pi N + \varphi_0, \quad (1)$$

где $2\pi N$ – угол поворота, кратный N – числу полных оборотов вращающегося тела; φ_0 – угол, равный части одного полного оборота. Последний можно представить в виде

$$\varphi_0 = k_\varphi (2\pi N), \quad (2)$$

где k_φ – доля одного оборота. Один полный угол поворота (при $N = 1$) равен в СИ 2π рад (в радианной мере).

Статус радиана в СИ как единицы четко не определен. Если основываться на том, что радиан равен центральному углу сектора окружности, у которого длина дуги равна радиусу, то радиан является единицей критерия подобия, так как размерности длины дуги и длины радиуса одинаковы. Согласно Международному словарю по метрологии (JCGM 200:2012, п. 1.8) **критерии подобия являются величинами с размерностью опе (один)**. Единицами критериев подобия являются внесистемные единицы. Следовательно, радиан является фактически внесистемной единицей. Но в СИ он практически используется, как основная единица.

С другой стороны, уже много лет ведется дискуссия на предмет признания плоского угла основной величиной (см., например, статью В.Эдера, 1982) с размерностью. **А. И.Коган (2015) считает, что основной величиной должна быть не математическая величина "плоский угол", а физическая величина угол поворота, а основной единицей должен быть оборот, а не радиан.**

Сейчас в СИ все члены уравнений (1) и (2) безразмерны, так что анализ размерностей этих уравнений не требуется. Но если учесть примечание

4 к п. 1.8 Международного метрологического словаря JCGM 200:2012 "*Количество объектов является величиной с размерностью единица*" и статью П.Мора и Филлипа (2015), в которой для количества событий N предлагается применять единицу ent, то проверка правила размерностей уравнения (1) с помощью единиц показывает, что **единицей числа π является рад ent⁻¹**. Если для **размерности количества считааемых величин, частным случаем которого является количество событий**, применять символ C, то размерностью числа π становится AC⁻¹.

К сожалению, в современной физике преобразование числа π в размерную физическую величину не подразумевается. Как показано в разделе, посвященном плоскому углу, это является следствием нечеткости в определении плоского угла, следствием отсутствия в современной физике собственной размерности у угла поворота и следствием недопонимания того, что **угол поворота является физической величиной**, которая лишь оценивается в единицах плоского угла, как математической величины.

2. Число π при математической интерпретации колебаний и волн.

В отличие от однонаправленного вращения колебания и волны следует рассматривать как периодический процесс с разнонаправленным движением, причем не обязательно вращательным. При этом число периодов колебаний или число волн N является уже не математическим числом, а физической величиной под названием **число структурных элементов (количество объектов** согласно Международному метрологическому словарю JCGM 200:2012), и в данном случае - **числом структурных элементов периодического процесса**. В периодическом процессе **единичным элементом процесса колебаний является один период колебаний**, а **одна волна является единичным элементом процесса распространения волн**. При этом **необходимо отличать единицу период от существующего в теории колебаний термина "период"**, под которым в современной физике понимается совсем иное, а именно - **длительность периода, которая измеряется в секундах**.

Периодические процессы в физике исследуют с помощью математического **метода векторных диаграмм**, при котором процесс колебаний интерпретируется вращением радиус-вектора на плоскости ортогональных координат. Основной характеристикой периодического процесса в этом случае становится угловая скорость вращения радиус-

вектора ω_0 на векторной диаграмме, называемая в СИ угловой частотой. Этот термин следует считать неверным, так как слово "угловая" должно относиться к вращательному движению, а его применяют к процессу колебаний, коим однонаправленное вращение не является. При однонаправленном вращении угол поворота постоянно суммируется, повторяются лишь значения тригонометрических функций угла, а это не признак периодического процесса, как физического явления.

При определении угловой частоты в метрологии учитывается только целое число оборотов радиус-вектора на векторной диаграмме, соответствующее целому числу периодов колебаний. Поэтому при применении угловой частоты ω_0 коэффициент $k_\varphi = 0$ и угол $\varphi_0 = 0$. Для периодического процесса вместо уравнения (1) можно записать уравнение:

$$2\pi = \varphi/N. \quad (3)$$

В этом уравнении число 2π становится мерой угла поворота радиус-вектора на векторной диаграмме. И мы вновь приходим к размерности AC^{-1} , где C - **символ размерности количества считаемых объектов**, и к единице об пер⁻¹. Число 2π как бы переводит один оборот радиус-вектора на векторной диаграмме в один период реальных колебаний.

Характеристикой периодического процесса является **собственная частота колебаний** системы f_0 . Она должна иметь размерность CT^{-1} и единицу пер с⁻¹ (что пока соответствует в СИ единице Герц = с⁻¹). Собственная частота f_0 связана с угловой скоростью вращения радиус-вектора ω_0 уравнением:

$$f_0 = \omega_0 / 2\pi, \quad (4)$$

в котором только наличие размерности у π , равной AC^{-1} , приводит к тому, что уравнение (4) начинает удовлетворять требованиям правила размерностей.

3. Как получилось, что число π стало в физике размерной величиной?

При измерении площадей в геометрии число π остается просто числом. Примерно в XVII веке физики стали переходить при измерении угла поворота от градусной к радианной мере, то есть фактически к

применению числа π в качестве меры угла поворота, или в качестве физической величины. Но число π пришло из математики, где оно не имеет размерности, и поэтому физики и метрологи стали считать и считают до сих пор, что и угол поворота, и число π являются безразмерными величинами. Доказательству ошибочности такого представления И. Коган посвятил целый раздел. Нечто подобное случилось в теории колебаний и волн, когда стали применять математический метод векторных диаграмм, интерпретирующий любые колебания вращением радиус-вектора в ортогональной системе координат.

При описании периодических процессов применяется еще одна физическая величина – **число периодов (число волн)**, которая является частным случаем основной физической величины – **числа структурных элементов (количества считаемых величин)**. Поэтому в размерность числа π и должна войти размерность количества считаемых величин. Доводы в пользу необходимости введения этой величины в число основных физических величин появились лишь в конце XX века.

Наличие у π размерности и единицы – это необычный и непривычный для современной физики вывод. Но к этому привело применение математической интерпретации физического процесса. При преподавании необходимо объяснять причины сложившейся ситуации и обязательно учитывать размерность π при систематизации физических величин до той поры, когда физика и метрология придут к выводу о необходимости считать число π в физике размерной величиной.

4. Фундаментальной физической константой является число 2π , а не число π .

После рассмотрения уравнений данного раздела приходится сделать вывод о том, что физическое содержание имеет вовсе не само число π , а число 2π . И этот вывод имеет принципиальное значение. Фундаментальной физической константой является именно 2π , а не π , как это утверждается во всех первоисточниках.

2π , как физическая величина, показывает, чему равен угол поворота в радианах, содержащийся в одном полном обороте при вращении тела.

Почему же в математике и физике несколько тысяч лет применяют не константу 2π , равную отношению длины окружности к длине ее радиуса, а константу π , равную отношению длины окружности к длине ее диаметра. Ответ очень прост: длина диаметра измеряется легко, а длина радиуса – нет. Как это нередко бывает, практические соображения увели в сторону от истины.

Литература

1. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd edition.
2. Международный словарь по метрологии (русский перевод) <http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf>
3. Коган И.Ш., 2015, Альтернативный путь к Новой СИ (Часть 1. О величинах с размерностью единица). – Законодательная и прикладная метрология, 1, с.с. 29-42
4. Eder W.E., 1982, A viewpoint on the quantity “plane angle“. Metrologia, **18**, p.p. 1–12
5. Mohr P.J., Phillips W.D., 2015, Dimensionless units in the SI. – Metrologia, **52**, p.p. 40-47.

4.2.16. Физика и метрология аргументов тригонометрических функций

Различие между применением тригонометрических функций в математике и в физике.

В математике аргументы тригонометрических функций плоского угла определяются в виде отношений сторон прямоугольного треугольника, что и соответствует их названию на греческом языке, а также в виде отношений проекций радиуса окружности, вращающегося в декартовой ортогональной системе координат.

В физике первый вариант применяется при представлении физических величин в виде векторов, когда под сторонами прямоугольного

треугольника подразумеваются физические величины и их проекции на выбранные направления координатных осей. Аргументом тригонометрической функции при этом служат отношения однородных физических величин, называемые в современной метрологии безразмерными физическими величинами, а также величинами с размерностью 1.

Второй вариант лежит в основе так называемого метода векторных диаграмм, на котором базируется вся теория периодических процессов. Это основывается на периодичности тригонометрических функций угла, значения которых не изменяются при добавлении к аргументу функции величины $2\pi N$, где N является целым числом (при измерении угла в радианной мере). В методе векторных диаграмм используется мысленное равномерное вращение на плоскости ортогональных координат радиус-вектора, значение и размерность которого соответствуют значению и размерности амплитуды колебаний физической величины. Фаза колебаний интерпретируется, как угол поворота этого радиус-вектора, а частота колебаний соответствует угловой скорости радиус-вектора и поэтому носит в современной физике название угловой частоты.

Тригонометрические функции при описании периодического процесса.

В методе векторных диаграмм проекция конца радиус-вектора на координатную ось совершает линейное перемещение x по оси Ox , пропорциональное тригонометрической функции $\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$, в соответствии с уравнением:

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (1)$$

где A – длина радиус-вектора, пропорциональная реальной **амплитуде колебаний**; ω_0 – угловая скорость вращения радиус-вектора (угловая частота), пропорциональная реальной **частоте колебаний**; t – время; $\omega_0 t$ – число полных углов поворота радиус-вектора, равное реальному **числу периодов колебаний**; φ_0 – начальный угол поворота радиус-вектора, равный **начальной фазе** колебаний.

Уравнение (1) называется в физике **уравнением гармонических колебаний** и является решением уравнения колебаний. Аргументом тригонометрической функции является $(\omega_0 t + \varphi_0)$ - суммарный угол

поворота радиус-вектора, соответствующий реальной **фазе колебаний**.

Как показано в разделе, посвященном углу поворота, в естественной системе величин ЭСВП угол поворота является основной физической величиной и имеет размерность A , значит, эта же размерность принадлежит и аргументу тригонометрической функции. Если этот аргумент представляет собой сумму слагаемых, то обязательно следует использовать правило размерностей с целью проверки того, все ли слагаемые аргумента имеют одинаковую размерность угла поворота.

В математике аргумент тригонометрической функции безразмерен.

Тригонометрические функции при описании волнового движения.

При описании продольной **плоской волны** методом векторных диаграмм линейно перемещается не только проекция конца радиус-вектора на координатную ось Ox , но и само начало координат.

Суммарное **смещение** проекции конца радиус-вектора обозначается обычно символом ζ и определяется в соответствии с уравнением:

$$\zeta = A \cos(\omega_0 t - kx + \alpha), \quad (2)$$

где x – текущее значение координаты фронта плоской волны; $k = \omega_0 / v$ – **волновое число** (модуль волнового вектора); $v = dx/dt$ – модуль **фазовой скорости** фронта плоской волны; α – начальная фаза колебаний.

Анализ размерностей аргумента тригонометрической функции в уравнении (2) показывает, что только при размерности волнового числа k , равной AL^{-1} в системе величин ЭСВП, все три слагаемых аргумента имеют размерность угла поворота A .

4.3. Физическое содержание векторных величин

4.3.1. В чем особенности применения векторных величин в физике?

1. Природа векторной величины в физике.

В природе нет приложенных к точке векторных физических величин, в этом состоит отличие применения векторных величин в физике от той математической абстракции, которая принята в физике по умолчанию. Рассмотрим для примера самую популярную векторную физическую величину – силу **F**. **В природе приложенных в точке сил не существует. Воздействие на тело всегда распределено по какой-то части поверхности тела площадью S, какой бы малой она не была.**

В природе имеются поля распределенных векторных физических величин, и физическое содержание имеют интегралы векторных величин, взятые по площади участка поверхности (И.Бронштейн и К.Семендяев, 1968). В примере с силой на тело направленно воздействует векторная величина, равная $\int_S \mathbf{F} dS$. Подобную векторную физическую величину **П** ввел в рассмотрение А.Чуев (2003):

$$\mathbf{П} = \int_S \mathbf{F} dS = \mathbf{F} S, \quad (1)$$

назвав ее **действием потенциальным**. Модуль такой векторной величины **П** рассматривается в учебнике физики И.Савельева (2005, кн.1, § 3.13) в теории потенциального (центрального) физического поля, называется он **константой потенциального поля** и обозначен символом α . Аналогичная константа Π , но с виде скаляра и под названием “количество гравитации“ применена в статье И.Бабич (2010), посвященной исследованию гравистатического поля.

Если применять уравнение (1) к потенциальному полю, то прибавление слова “потенциальное“ к слову “действие“ себя оправдывает. А без этого слова может возникнуть путаница с понятием “действие“, введенным Р.Фейнманом для названия физической величины другого содержания. Для устранения этого $\mathbf{П} = \int_S \mathbf{F} dS$ лучше называть словом **воздействие**. Тогда силу **F** можно назвать **локальным воздействием** (приложенным в точке), а векторную величину **П** - **полным воздействием** (или **интегральным воздействием**).

2. Интегральным воздействием в математике является "поток векторного поля".

В математике существует скалярная величина Φ_F , называемая **поток векторного поля** через поверхность и определяемая скалярным произведением двух векторов

$$\Phi_F = \iint_S \mathbf{F} d\mathbf{S} = \int_S \mathbf{F} \int_S d\mathbf{S}. \quad (2)$$

Чтобы избежать по возможности математических абстракций, не имеющих физического содержания, в физике следовало бы отказаться от часто применяемого абстрактного вектора элементарной площадки $d\mathbf{S}$, заменив его выражением $\mathbf{n}dS$, где \mathbf{n} – орт нормали к площадке dS . Направления вектора локального воздействия \mathbf{F} и орта \mathbf{n} в общем случае не совпадают. Поэтому уравнение (2) можно записать в виде

$$\Phi_F = \iint_S \mathbf{F} (\mathbf{e}_F \mathbf{n}) dS, \quad (3)$$

где \mathbf{e}_F – орт вектора \mathbf{F} , а скалярное произведение двух ортов $(\mathbf{e}_F \mathbf{n})$ равно $\cos(\mathbf{e}_F, \mathbf{n})$. Поэтому уравнение (3) можно записать также в виде:

$$\Phi_F = \iint_S \mathbf{F} dS \cos(\mathbf{e}_F \mathbf{n}). \quad (4)$$

Уравнение (4) показывает, что можно обойтись без введения абстрактного вектора $d\mathbf{S}$ и что “поток векторного поля” можно определять не скалярным произведением векторов (2), а произведением вектора на скаляр (4). И тогда становится ясно, что “действие потенциальное” Π является частным случаем потока векторного поля Φ_F .

3. Векторная величина в физике является удельной величиной.

Проделав обратное преобразование с уравнением (4), можно придти к такому выводу: то, что мы сейчас называем в физике векторной величиной, например, силой \mathbf{F} , является на самом деле **поверхностной плотностью воздействия**, равной:

$$\mathbf{F} = d\Phi_F / [dS \cos(\mathbf{e}_F \mathbf{n})]. \quad (5)$$

Отсюда вытекает важный вывод о том, что **векторная величина в физике – это удельная производная величина**, базисом которой является **площадь поверхности**. Судя по уравнению (5), **вектор воздействия Φ_F является причиной, а локальный вектор \mathbf{F} – его следствием**. С этой точки зрения запись уравнения (4) в виде функции $\Phi_F = f(\mathbf{F})$ **противоречит принципу причинности**. А соответствует этому принципу уравнение (5). Это один из примеров того, как непродуманное до конца применение математики в физике нарушает принцип причинности.

4. Природа векторной величины в физике поля.

Математическое понятие “**поток векторного поля**” при его применении в физике сокращают до термина “**поток вектора**”, в котором применение слова “поток” уже становится совершенно неуместным, ибо **вектор течь не может**.

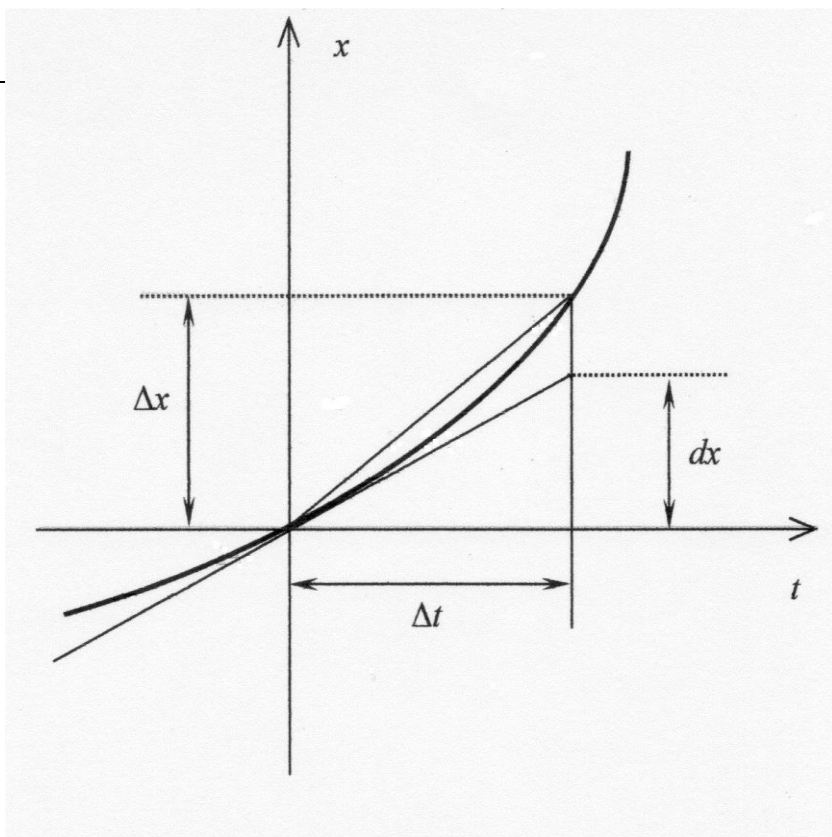
В теории физического поля взаимодействия локальный вектор можно рассматривать как локальную напряженность физического поля, вектор которой приложен к точке на поверхности уровня (на эквипотенциальной поверхности) поля, образованного **полеобразующим зарядом системы**. Напряженность \mathbf{E} является важнейшей векторной характеристикой поля, но ее применение отличается от применения векторных величин в механике.

В механике и в гидродинамике вектор воздействия Φ_F определяется по интегральной сумме локальных векторов \mathbf{F} , направленных, как правило, в одну сторону и воздействующих на часть поверхности тела (часть контрольной поверхности физической системы). Поэтому **вектор воздействия Φ_F в механике обычно не равен нулю. Он вызывает постоянное направленное движение тела или частиц, характерное для проточных систем, то есть для систем с постоянным перемещением частиц через систему.**

В электромагнетизме же речь идет об осесимметричном физическом поле, эквипотенциальная поверхность которого замкнута. Вследствие этого интегральная сумма локальных векторов напряженности поля по всей эквипотенциальной поверхности равна нулю, и вектор воздействия напряженностей Φ_E по всей эквипотенциальной поверхности тоже равен нулю.

Применять вектор воздействия напряженностей Φ_E в теории физического поля в случае, когда поверхность S больше половины площади всей эквипотенциальной поверхности, неудобно, так как часть локальных векторов направлена навстречу друг другу. И по этой причине его стало удобно заменять скаляром Φ_E , неверно называемым поток вектора напряженности (по аналогии с существующим в гидродинамике потоком вектора скорости). Но в гидродинамике эквипотенциальная поверхность S не замкнута, и потому применение понятия “поток вектора скорости” в какой-то мере оправдано.

Указанные соображения показывают, что мнимое удобство



пользования, непродуманная аналогия терминов и недопустимые сокращения названий терминов привели к тому, что при применении математического понятия "поток векторного поля" в физике перестало просматриваться его реальное физическое содержание.

5. Приращения, дифференциалы и производные векторной величины.

Одним из основных условий успешной систематизации физических величин является условие направленности, суть которого в том, что приращения любых (в том числе, скалярных) физических величин

становятся векторными величинами.

Рассмотрим ортогональную систему координат (t, x) , где t – время, а x – модуль векторной величины $\mathbf{x} = x\mathbf{e}_x$, где \mathbf{e}_x – орт вектора \mathbf{x} . На рисунке приведен график функции $x(t)$. Под Δx понимается модуль конечного приращения вектора $\Delta \mathbf{x}$, а под dx понимается модуль бесконечно малого приращения вектора $d\mathbf{x}$.

Понятно, что $\Delta \mathbf{x} \neq d\mathbf{x}$. Однако в окрестностях точки, соответствующей значениям модулей $\Delta \mathbf{x}$ и $d\mathbf{x}$ в момент времени, соответствующий началу переходного процесса, можно записать равенство $d(\Delta \mathbf{x})/dt = dx/dt$. Отсюда следует, что первую и вторую производные от приращения векторной величины $\Delta \mathbf{x}$ можно записывать как в виде $d(\Delta \mathbf{x})/dt$ и $d^2(\Delta \mathbf{x})/dt^2$, так и в виде dx/dt и d^2x/dt^2 . Это замечание важно, так как записи dx/dt и d^2x/dt^2 как бы скрывают тот факт, что речь идет об изменениях приращений векторной величины, а не об изменениях самой векторной величины.

Особенно это важно при изучении переходного процесса и уравнения динамики.

Литература

1. Бабич И.П., 2010, Законы гравитации - поиски физического смысла. URL <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10300.html>.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А., 1986, Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. 13-е изд. – М.: Наука, Физматгиз. 544 с.
3. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
4. Чуев А.С., 2003, О существующих и теоретически возможных силовых законах, обнаруживаемых в системе физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5811.html>

4.3.2. Существует ли поток вектора?

1. Уравнение для потока вектора противоречит принципу причинности.

В современной физике **поток вектора \mathbf{a}** называют скалярную физическую величину

$$\Phi_a = \iint_S \mathbf{a} \cdot d\mathbf{S} = \iint_S (\mathbf{a} \cdot \mathbf{n}) dS, \quad (1)$$

где S – площадь произвольно расположенной поверхности;
 \mathbf{a} – произвольный вектор, начало которого лежит на поверхности S ;
 $d\mathbf{S} = \mathbf{n} dS$ – псевдовектор, поставленный в соответствие ориентированной элементарной площадке (И.Бронштейн и К.Семендяев, 1968); \mathbf{n} – орт нормали к элементарной площадке dS .

Чаще всего приводится первая запись уравнения (1). Но правильнее вторая запись, так как псевдовектор элементарной площадки $d\mathbf{S}$, является чистой математической абстракцией. В разделе, посвященном физическому содержанию векторной величины, показано, что согласно принципу причинности произвольную векторную величину \mathbf{a} следует рассматривать как **локализацию полного воздействия** на систему, распределенного по площади контрольной поверхности. Получаемая в результате этой операции векторная величина приложена в точке с заданными координатами. Именно так это понимается в математике (И.Бронштейн и К.Семендяев, 1986): *"Каждой ориентированной плоской площадке Σ можно поставить в соответствие вектор \mathbf{S} , имеющий направление \mathbf{n} и модуль, равный ее площади S ".*

Когда в математике и физике сначала вводят понятие частной величины (локального вектора), а затем – понятие общей величины, называемой потоком вектора, то мы имеем дело с не всегда оправданным применением индуктивного метода (от частного к общему). А дедуктивный метод (от общего к частному) предполагает сначала введение полной величины (неудачно названной в данном случае потоком вектора), а затем уже – введение локализованной величины (самого вектора). Термин "поток вектора" является, по нашему мнению, отражением неаккуратности в присвоении названий физическим понятиям и должен быть заменен другим термином.

Приведем пример. Такая векторная по своему физическому содержанию величина, как перемещение объема, в гидродинамике считается скаляром, так как определяется скалярным произведением $\Delta V = \mathbf{x} d\mathbf{S}$. Но перемещение \mathbf{x} центра перемещаемого объема dV является следствием перемещения этого объема, а не его причиной. При соблюдении принципа причинности следует записать выражение $\mathbf{x} = dV/dS$. И тогда элементарная площадка dS остается скаляром, чем

она, по сути дела, и является. А понятие о псевдовекторе площадки $d\mathbf{S}$ остается математической абстракцией.

Почему скалярные потоки вектора применяются в теории физического поля? Причина в том, что в современной физике не применяются понятия о проточных системах и перемещаемых координатах состояния. Вследствие этого применение скалярных потоков вектора оправдывает себя теоретически, так как в этом случае оно не противоречит принципу причинности. Но и в этом случае следует заметить, что вместо записи $d\mathbf{S}$, как это принято в векторном анализе, в физике следует указывать запись \mathbf{ndS} . В частности, поток вектора магнитной индукции \mathbf{B} (магнитный поток) $\Phi_m = \iint_S \mathbf{B} \mathbf{ndS}$ является величиной скалярной, ведь **в магнитных цепях никакие энергоносители не перемещаются**. Это следует объяснять при преподавании, чтобы не казалось, будто в магнитных цепях что-то движется. А такие мысли могут появиться по причине того, что в термине "магнитный поток" присутствует слово "поток".

2. Может ли вектор течь?

К сожалению, словосочетание "поток вектора" лишено физического и практического смысла. Прежде всего, словосочетание "**поток вектора**", безотносительно к его применению, противоречит самому понятию "вектор". В векторном анализе (И.Бронштейн и К.Семендяев, 1968) нет термина "поток вектора", там есть термин "**поток поля**" (скалярного или векторного), который представляет собой поверхностный интеграл векторной или скалярной функции. Впрочем, и в термине "поток поля" слово "поток" выглядит не намного понятнее, чем в термине "поток вектора". Почему же?

Слово "поток" крепко-накрепко связано в голове человека с движением, даже чисто на бытовом уровне. Это слово обычно ассоциируется с потоком воды или воздуха, что и подтверждается при изучении гидроаэродинамики (например, "воздушный поток", "гидравлический поток"). Собственно, из гидродинамики и пришел этот термин и в математику, и в физику. Везде и всюду категории векторного анализа, включая понятие "поток вектора", поясняются примерами из гидродинамики.

Но постепенно вместо понятия "*поток жидкости, определяемый векторной величиной под названием скорость*" (определение из Википедии) физики сочли возможным применять более короткое

понятие “**поток вектора скорости**“, которое после такого сокращения лишилось смысла, ибо сам вектор течь не может. Ведь **вектор – это понятие, а не среда, которая может быть текучей**. То, что сейчас понимается под вектором, – это локализация векторной физической величины в точке с определенными координатами. В формуле размерности Φ_a по уравнению (1) **нет размерности времени**, что обычно свойственно для размерностей физических величин, характеризующих любой поток. И это лишний раз подчеркивает неправомочность включения слова “поток“ в термин “поток вектора“.

В своем стремлении к сокращениям текста термина физики не остановились. Из термина “поток вектора скорости“ постепенно исчезло слово “скорость“, и возник физически совсем уж бессодержательный термин “поток вектора“. При первом знакомстве с этим термином в голове интуитивно появляется возражение. Но со временем к любому термину привыкают и перестают видеть его бессодержательность, точнее, вкладывают в содержание термина то, к чему человека приучили. **Возникает явление, которое называется профессиональным сленгом.**

Интересно, что в романских языках русскоязычное понятие “поток“ выражается разными словами. Во всех разделах физики, кроме гидродинамики, применяется слово “flux“ на английском, “Fluss“ - на немецком, “flusso“ - на итальянском. А в гидродинамике применяется слово “flow“ и “stream“ на английском, “Strom“ - на немецком, что и переводится буквально как поток.

3. Путаница с применением слова "поток" в электромагнетизме.

При изучении электромагнетизма появляется термин “**поток напряженности**“, являющийся сокращенным вариантом термина “**поток вектора напряженности**“. При изучении электрического поля объясняют, что напряженность поля, образуемого распределенными электрическими зарядами, характеризует состояние поля в той точке пространства, которая нас интересует. **Но при чем тут слово “поток“? Разве напряженность двигается? Она может изменяться по модулю и во времени, но в данной конкретной точке поля она остается привязанной к этой точке.**

В разделе, посвященном напряженностям электромагнитного поля, показано, что то, что мы называем напряженностью физического поля, следует называть **локальной напряженностью**, то есть,

напряженностью в данной точке эквипотенциальной поверхности. А термин “поток вектора напряженности“ должен быть заменен термином “**полная напряженность**“ поля, имея в виду поверхностный интеграл локальной напряженности по площади участка эквипотенциальной поверхности.

В частности, “**магнитный поток**“, под которым понимается поток вектора напряженности вихревого поля, то есть вектора магнитной индукции, правильно было бы называть **полной магнитной индукцией**. И тогда термин “магнитный поток“ не стал бы наводить неопытных студентов на мысль о том, что в магнитной цепи что-то движется, подобно электрическому току.

Далее, понятие “**поток электрической индукции**“ подразумевает сумму зарядов, находящихся внутри исследуемой системы, которая при этом может быть равновесной, так что и в данном случае слово “поток“ явно лишнее. А когда в качестве синонима термина “**поток электрического смещения**“ применяют термин “**электрический поток**“, похожий по звучанию на термин “электрический ток“, имеющий совершенно другое физическое содержание, то очень легко запутаться. К слову, именно термин “электрический ток“ как раз и является близким родственником термину “гидравлический поток“.

Литература

1. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А., 1986, Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. 13-е изд. – М.: Наука, Физматгиз. 544 с.

4.3.3. Поворот вектора и производная вектора по модулю.

В современной механике не акцентируется внимание на том, что производная вектора по направлению принципиально отличается от производной вектора по модулю. Для производной вектора по модулю

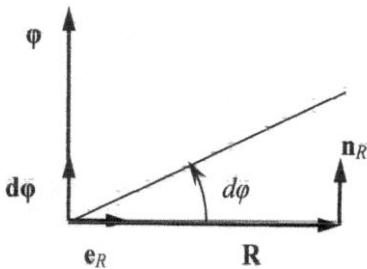
в физике принят термин ”**приращение вектора**” (или ”**изменение вектора**”), а производную вектора по направлению следует называть иначе: **поворотом вектора**.

Различия между поворотом вектора и приращением вектора.

Рассмотрим *три важные отличия* между приращением и поворотом вектора на примере изменений радиус-вектора **R**, проведенного из центра кривизны криволинейной траектории (орбиты) к центру масс тела, движущегося по этой траектории.

1. Приращение модуля радиус-вектора имеет место только при неравномерном движении тела по орбите, а поворот радиус-вектора имеет место и при равномерном движении.
2. Орт (единичный вектор) векторной величины и орт ее приращения один и тот же, а орт поворота вектора - самостоятельная векторная величина, отличающаяся от орта приращения вектора.
3. Орт поворота вектора имеет размерность угла поворота.

Третье отличие можно показать, рассмотрев на рисунке производную по времени от орта **e_R**, для которой имеется уравнение (например, И.Савельев, 2005, кн.1):



$$d\mathbf{e}_R / dt = (d\varphi / dt) \mathbf{n}_R, \quad (1)$$

где $d\varphi$ – элементарный угол поворота радиус-вектора **R** и, следовательно, угол поворота его орта **e_R**; **n_R** – орт вектора, перпендикулярного радиус-вектору **R** и, следовательно,

перпендикулярного орту **e_R**.

Умножив уравнение (1) на dt , получаем выражение для поворота орта $d\mathbf{e}_R$, коллинеарного **n_R**, но не равного ему:

$$d\mathbf{e}_R = d\varphi \mathbf{n}_R. \quad (2)$$

В разделе, посвященном углу поворота φ , доказано, что угол поворота имеет свою размерность, обозначаемую во многих первоисточниках символом А. Поскольку орт **n_R**, как и любой единичный вектор, не

имеет размерности по определению, а размерность $d\varphi$ равна А, то анализ размерностей уравнения (2) приводит к тому, что у поворота орта de_R имеется размерность А. При конечном приращении угла поворота $\Delta\varphi$ вектор поворота Δe_R отклоняется от перпендикулярности вектору \mathbf{R} , но его пропорциональность приращению $\Delta\varphi$ сохраняется, следовательно, сохраняется и размерность А. Таким образом, в размерность поворота любого вектора должна войти размерность угла поворота. В отличие от этого, размерность приращения вектора всегда совпадает с размерностью самой векторной величины.

В итоге, третье отличие между приращением вектора и поворотом вектора состоит в том, что у приращения вектора и у поворота вектора различные размерности. Следовательно, **любой вектор нельзя суммировать с вектором его поворота, ибо это нарушит правило размерностей**. Всё, что сказано о повороте радиус-вектора, точно так же относится и к повороту векторов скорости и ускорения тела, и к повороту вектора силы, действующей на тело.

Истинная размерность поворота вектора должна быть учтена в физике.

В учебнике И.Савельева (2005, кн.1) при выводе формулы для вычисления производной de_R/dt сказано: *”При малом $\Delta\varphi$ модуль вектора Δe приближенно равен углу $\Delta\varphi$ ”*. Наличие собственной размерности у угла поворота и его векторный характер показывают, что никакого равенства, даже приближенного, между векторами $d\varphi$ и de_R (или между векторами $\Delta\varphi$ и Δe_R) быть не может, потому что они находятся в разных плоскостях и имеют разные размерности. ***Поворот вектора является самостоятельной векторной величиной, а не приращением векторной величины.***

Указанный вывод говорит о том, что ***приближенные математические выкладки нельзя переносить в физику без учета их реального физического содержания***. Особенно, когда речь идет о векторных величинах. Изменяются по направлению не только те векторные величины, изменение направления которых может осуществляться на любой угол поворота. Изменяются по направлению и так называемые псевдовекторные величины, направление которых может изменяться только на 180° .

Поворот вектора и приращение вектора – разные величины

Итак, поворот вектора и приращение вектора имеют разные направления и разные размерности. Следовательно, эти две величины не аддитивны, то есть они не могут суммироваться. Это важное положение должно касаться не только физических величин, но и физической терминологии. Оба изменения вектора должны быть охарактеризованы по-разному и, естественно, по-разному называться.

Термином “**приращение вектора**“ следует называть только изменение значения векторной физической величины по модулю. Поэтому понятие “приращение векторной физической величины“ мы бы сформулировали, как *разность между значением модуля физической величины в текущий момент времени и значением модуля этой же величины в начальный момент времени*.

Что касается изменения вектора по направлению (независимо от того, изменяется ли он при этом по модулю), то термин “приращение“ в этом случае не годится. И дело не только в названии. Например, если тело движется по орбите с равномерной угловой скоростью, то при изменении значения движущей силы только по направлению, работа по перемещению тела по орбите не совершается. **Но работа может совершаться при повороте движущегося по орбите тела вокруг своей оси.**

Для изменения значения векторной физической величины по направлению лучше всего применять термин “**поворот**“. И сформулировать этот термин, как *разность между значением модуля угла поворота системы в текущий момент времени и значением модуля этого же угла поворота в начальный момент времени*. Там, где это целесообразно, оба эти термина (приращение и поворот) можно объединить термином “**изменение**“.

Приведем следующий нетривиальный пример применения разделения изменений вектора по модулю и по направлению. В разделе, посвященном производным по времени от тангенциальной скорости при движении по криволинейной орбите движения, приводится доказательство того, что *при равномерном орбитальном движении центростремительного ускорения не существует*.

Литература

1. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель

4.3.4. Есть ли источник у физического поля?

Как попало в векторный анализ слово “источник”

Слово “источник” имеет тот же корень, что и слово “поток”. И это не случайно. Векторная алгебра и векторный анализ в математике развивались исторически одновременно с развитием гидродинамики. До сих пор такие операторы векторного анализа, как поток вектора, дивергенция, циркуляция, ротор иллюстрируются, прежде всего, примерами из области течения жидкостей.

Когда стало развиваться учение об электромагнетизме, об электрическом и магнитном поле, то векторный анализ стал широко использоваться для этого. Но в полях скоростей жидкостей зарядов не было, об этом подробно говорится в разделе, посвященном различию между полями взаимодействия и полями переноса. Так не продуманная до конца аналогия учения об электричестве и гидродинамики привела к тому, что заряд электрического поля стали называть источником электрического поля.

Когда рассматривают электрическое поле, то говорят, что положительные электрические заряды являются источниками силовых линий, а отрицательные заряды – стоками силовых линий. Но силовые линии правильно называть линиями напряженности, ибо эти линии в каждой точке касательны векторам напряженности поля.

Расхождение линий напряженности векторного поля называют **дивергенцией** (от латинского *divergentia* – расхождение) и трактуют, как мощность источника поля, отнесенную к единице объема. Но понятие “мощность источника” в гидродинамике ассоциируется с полем скоростей жидкости, а в электрическом поле неясно, с чем можно ассоциировать мощность источника поля.

В модели электрического поля, предложенной М.Фарадеем, силовые линии электрического поля соответствуют осям вихревых трубок эфира, исходящим из положительного заряда и сходящимся в отрицательном заряде. Но **силовые линии магнитного поля замкнуты, так как магнитное поле является вихревым полем, и ясно, что вихревое поле не может иметь источника силовых линий**.

Заряд как причина существования поля

Силовые линии – это лишь математическая абстракция, визуализирующая физическое поле и тем самым облегчающая его понимание. Теорема Остроградского-Гаусса доказывает, что у вихревого поля нет источников силовых линий. Но заряд физического поля и не должен быть обязательно источником силовых линий в любой форме силового поля. Например, вихревое (магнитное) поле существует в реальности, хотя у него и нет источника силовых линий. Как разрешить этот терминологический парадокс?

Просто не надо путать математику с физикой. Дивергенция поля – это математическая условность, категория векторного анализа, которой лишь приписывается физическое содержание. **Дивергенция поля является характеристикой статического поля. А для вихревого векторного поля применяют другую категорию векторного анализа – ротор поля, тоже математическую условность.**

Заряд физического поля во всех случаях является причиной существования физического поля, и лишь в частном случае (в центральном поле) его можно трактовать в качестве источника линий напряженности.

Но коль скоро статический заряд не является источником или причиной магнитного поля, то что тогда является этой причиной? Она имеется, и ей дано название **токовый заряд**, которому посвящено несколько разделов данной работы. На них будет показано, для каких видов токового заряда справедлива теорема Остроградского-Гаусса, а для каких видов – нет.

4.3.5. Векторные величины в уравнении непрерывности

Взаимосвязь непрерывности и дискретности.

Дискретные и непрерывные свойства Мира. В рамках классической физики основные свойства **среды** рассматриваются как **противоположные друг другу. Они отражают как непрерывность изменения свойств среды в пространстве и времени, так и скачкообразность этого изменения. Странники уровневой структуры строения материи считают, что среда на любом уровне принципиально дискретна, но на уровне, более низком по**

сравнению с рассматриваемым уровнем, дискретность аппроксимируется непрерывностью.

Количественно непрерывность сплошной среды определяется ее **объемной плотностью**

$$\rho = dQ/dV, (1)$$

под которой понимается отношение характеристики среды Q к занимаемому ею объёму V . Неопределенность уравнения (1) заключается в том, что в нем не определено, что следует понимать под величиной Q при рассмотрении среды.

Обобщенное уравнение непрерывности.

Классический вид **уравнения непрерывности** выглядит так:

$$\partial\rho/\partial t + \operatorname{div}(\rho\mathbf{v}) = 0 \quad (2) \quad \text{или}$$

$$\operatorname{div}(\rho\mathbf{v}) = -\partial\rho/\partial t, \quad (3)$$

где объемная плотность среды ρ определяется уравнением (1), а \mathbf{v} – скорость потока элементов среды. Напомним, что дивергенция векторной величины является величиной скалярной.

Анализ размерностей уравнения (3) показывает, что в обеих частях уравнения размерность объемной плотности ρ одинакова, ибо применение дивергенции равносильно внесению размерности длины в минус первой степени в формулу размерности. Поэтому установить размерность ρ по уравнениям (2) или (3) нет возможности. Следовательно, в общем случае невозможно определить, что скрывается под величиной Q в обобщенном уравнении (1) для объемной плотности среды.

О.Репченко (2008), например, называет величину Q термином "количество субстанции", что по-русски означает "количество вещества". В гидродинамике под Q понимается количество частиц текучей среды (молекул, атомов, ионов). Но О.Репченко имеет в виду полевую среду, которая может и не быть веществом.

Что касается **полевой среды, состоящей из безмассовых частиц**, то пока можно лишь анализировать ее модели. Например, В.Пакулин

(2004, 2010) считает эти **безмассовые частицы вихревыми образованиями, состоящими из гравитонов**. В любом случае уравнение (3) можно считать обобщенным уравнением непрерывности, приемлемым для любой среды.

Уравнение непрерывности при зарядке конденсатора.

Для **кондесатора (уединенного проводника)**, как **электрической непроточной системы**, уравнение непрерывности записывается в виде уравнения:

$$\operatorname{div} \mathbf{j} = - \partial \rho / \partial t, (4)$$

где \mathbf{j} – вектор плотности тока зарядки уединенного проводника.

Анализ размерностей уравнения (4) приводит к тому, что размерность $(\operatorname{div} \mathbf{j})$ соответствует размерности объёмной плотности электрического тока, а размерность ρ соответствует размерности объёмной плотности электрического заряда. Так что в уравнении (4) под величиной Q в уравнении (1) подразумевается **количество электрических зарядов**. По аналогии с электродинамикой в гравидинамике под Q следует подразумевать количество гравитационных зарядов (гравитационную массу частиц).

Вектор плотности тока зарядки \mathbf{j} должен в соответствии с векторным анализом определяться уравнением

$$\mathbf{j} = d\mathbf{i}/dS, (5)$$

в котором векторная величина \mathbf{i} является **электрическим током зарядки** через элементарную площадку dS контрольной поверхности уединенного проводника (сечения подводящего провода). Электрический ток зарядки \mathbf{i} , в свою очередь, определяется уравнением:

$$\mathbf{i} = (dq \mathbf{n})/dt, (6)$$

в котором q – количество элементарных электрических зарядов, а \mathbf{n} – орт направления упорядоченного движения этих зарядов, перпендикулярный сечению подводящего провода. Однако в современной физике, как показывается в разделе, посвященном электрическому току, применяют другое определяющее уравнение

$$i = (dq/dt) , (7)$$

в котором скалярную величину (dq/dt) необоснованно называют **силой тока**. Хотя физическая величина (dq/dt) имеет иное физическое содержание, она является скоростью изменения количества элементарных зарядов в уединенном проводнике, и вовсе не отражает направленное движение потока электронов.

В современной физике вместо того, чтобы признать электрический ток \mathbf{i} векторной величиной, в его определяющее уравнение вводят абстрактный псевдовектор площадки $d\mathbf{S} = (dS \mathbf{n})$ и приходят к такому определяющему уравнению:

$$i = \int_S \mathbf{j} \cdot d\mathbf{S} . (8)$$

В результате сила тока i становится потоком вектора плотности тока \mathbf{j} . Однако определять силу тока i (то есть причину) по плотности тока \mathbf{j} (то есть по следствию) можно, только нарушая принцип причинности, один из важнейших принципов материального мира. Возможность применения векторного анализа не оправдывает, по нашему мнению, нарушение принципа причинности.

Уравнение непрерывности для участка проводника.

Для электрического тока, текущего через проводник, то есть через проточную систему, уравнение непрерывности записывается в виде:

$$\text{div } \mathbf{j} = 0 , (8)$$

где \mathbf{j} – плотность электрического тока проводимости.

Судя по уравнению (4), объёмная плотность среды $\rho = \text{const}$, что соответствует действительности, а также означает, что плотность тока проводимости в проводнике $\mathbf{j} = \text{const}$. Из уравнения (5) следует, что ток проводимости \mathbf{i} при равномерном процессе в проточной системе (проводнике) постоянен, за исключением случаев нарушения равномерности процесса. Направление вектора \mathbf{j} соответствует направлению вектора скорости \mathbf{v} носителей элементарного электрического заряда.

Литература

1. Пакулин В.Н., 2004, Структура материи. – <http://www.valpak.narod.ru>
2. Пакулин В.Н., 2010, Структура материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НТФ "Истра".
3. Репченко О.Н., 2008, Полевая физика или Как устроен мир? Изд. 2-е – М.: Галерея, 320 с.

4.4. Виды энергии и законы сохранения

4.4.1. Энергия в физике – скалярная или векторная величина?

1. Анализ современных определений энергии

Согласно БСЭ **энергия** (от греч. *energeia* – действие, деятельность) – это *“общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи”*. В метрологическом справочнике А.Чертова (1990): *“Энергия – скалярная физическая величина, являющаяся общей мерой различных форм движения материи”*. Наконец, в Википедии: *“скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения и взаимодействия материи, мерой перехода движения материи из одних форм в другие”*. Из приведенных определений следует вывод, что **энергия характеризует материю** только **количественно**.

В приведенных определениях присутствует термин “мера”. Ее метрологическое определение: *“Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения значения физической величины”*. В метрологии отсутствует измерительный эталон энергии, следовательно, в приведенных выше определениях **термин “мера” следует заменить термином “характеристика”**, как это сделано в монографии А.Вейника (1968): *“самой общей и вместе с тем наиболее естественной (и простой) характеристикой движения является энергия”*.

К слову “энергия” добавляется много прилагательных, например,

кинетическая, потенциальная, механическая, электрическая, тепловая, внутренняя и внешняя и т.д. В разделах, посвященных классификации форм и видов энергии и классификации энергии в термодинамике, а также в статье И.Когана (2012) приведен подробный обзор всех терминов, связанных со словом “энергия“, и разъяснено, чем отличаются формы энергии от видов энергии.

2. Два разных подхода к пониманию энергии.

Различают два противоположных метода познания: **индуктивный** (от частного к общему) и **дедуктивный** (от общего к частному). При обсуждении понятия «энергия» в физике чаще всего используется индуктивный метод. Обсуждаются различные формы и виды энергии, попытки прийти к обобщенному понятию практически не встречаются.

Теоретическая метрология обычно придерживается дедуктивного метода. Она делит все физические величины на основные и производные. **Основные величины являются независимыми от всех других производных величин**. Другими словами, **основная величина не имеет своего определяющего уравнения**. А **производные величины имеют каждая своё определяющее уравнение, включающее несколько основных величин**. Таким образом, в метрологии сначала определяют общее, и уж по нему определяют частное.

При применении дедуктивного метода к теме раздела выясняется, что физическая величина "энергия" (без всяких дополнений к этому термину) является естественной основной величиной. А **кинетическая энергия, потенциальная энергия, внутренняя энергия, энергия связи и все прочие формы и виды энергии – это производные величины, как векторные, так и скалярные**.

В качестве поясняющего примера применения двух разных подходов приведем такую основную величину, как длина. **Длина – это свойство (характеристика) пространства, и в этом качестве она выступает, как основная величина**. А существуют еще **длина свободного пробега, радиус-вектор, диаметр окружности, длина волны – всё это производные величины, как векторные, так и скалярные**.

Приходится признать, что многие физики, участвующие в оживленной дискуссии по поводу того, является ли энергия векторной или

скалярной величиной, не замечают различия между указанными двумя методами познания применительно к понятию «энергия».

3. Что означает понятие “движение“?

Во всех приведенных выше определениях энергии общим является слово "движение". Выясним предварительно физическое содержание самого понятия “**движение**“. Нами для этого был произведен экскурс по словарям, но оказалось, что это понятие не имеет общепринятого определения.

В Философском словаре и Большом энциклопедическом словаре термин “движение“ не определяется. В Википедии приводится мало содержательное с точки зрения физики определение: “*Философская категория, отражающая любые изменения в мире*“. В Большой Советской Энциклопедии: “*Способ существования материи, важнейший её атрибут*“. В словаре Грамота.ру: “*Необходимое условие существования материи, её всеобщее неотъемлемое свойство; непрерывное изменение и развитие материального мира*“. В Словаре естественных наук (Глоссарий.ру): “*Форма существования материи; способ бытия материальных объектов, состоящий в их изменениях и взаимопревращениях*“.

Привести все эти определения к общему знаменателю можно, лишь считая **движение главным свойством материи**. И дать понятию "движение" краткое и простое определение: "**Движение – это основное свойство материи**".

А теперь приведем определение физической величины из Международного метрологического словаря JCGM 200:2012: “*свойство явления, тела или вещества, которое может быть выражено количественно в виде числа с указанием отличительного признака как основы для сравнения*”.

Движение, как свойство материи, полностью отвечает определению физической величины. Отличительным признаком движения является его направленность. Поэтому ничто не мешает считать **движение векторной физической величиной, обозначив его символом E** . И тогда естественно вытекает вывод, что энергия E , как скалярная величина, является модулем векторной величины "движение".

Введение новой физической величины "движение" вряд ли будет принято в физике. Кроме того, векторную величину и ее модуль не принято называть разными терминами. Остается один выход: считать, что **свойством материи является энергия, как векторная величина.**

4. Потока энергии не существует, есть поток энергоносителей.

Рассмотрим физическую величину, называемую в современной физике **потоком энергии**. Анализ этого термина показывает, что он не корректен, так как **энергия - это физическая величина, характеризующая движение материи, то есть свойство движущейся материи. А характеристика (свойство) двигаться или течь не может, течь могут лишь энергоносители.** Само применение термина "поток энергии" является одним из проявлений **понятийной бессистемности в физике.**

Обозначим вектор производной по времени от энергии (как вектора **E**) символом **P**, то есть

$$\mathbf{P} = d\mathbf{E}/dt . (1)$$

Уравнение (1), записанное в скалярном виде $P = dE/dt$, является в современной физике определяющим уравнением для **мощности P**, как скалярной величины. А векторную величину **P** из уравнения (1) можно назвать **мощностью потока энергоносителей**.

5. Вектор Умова-Пойнтинга – это плотность мощности волнового потока.

В современной физике мощность потока энергоносителей рассматривается только в теории волн (так как каждая **волна является энергоносителем**) и только в виде мощности волнового потока, отнесенной к площади поперечного сечения этого потока, с единицей Дж м⁻² с⁻¹ или Вт м⁻².

В учебнике по физике И.Савельева (2005, кн.4, п.1.6) для потока волн растяжения-сжатия в упругой среде применяется вектор Умова

$$\mathbf{j} = w\mathbf{v} , (2)$$

где $w = W/S$ – объемная плотность энергии в цилиндре достаточно

малого размера, S – площадь поперечного сечения волнового потока, \mathbf{v} – фазовая скорость волны. (Символ W часто применяется для обозначения энергии вместо символа E .)

При выводе уравнения для вектора Умова в учебнике И.Савельева применяется понятие поток энергии Φ волн растяжения-сжатия, определяемый уравнением $\Phi = dW/dt$, аналогичным уравнению (1), только в скалярном виде. При применении величины Φ правильно было бы вектор Умова определять уравнением

$$\mathbf{j} = (d\Phi/dS) \mathbf{n}_{ds}, \quad (3)$$

где \mathbf{n}_{ds} – орт нормали к сечению потока энергоносителей, то есть орт нормали к площадке dS . Но, как было показано выше, понятие "поток энергии" не корректно.

В электромагнетизме путем сложных математических преобразований плотность мощности потока энергоносителей (электромагнитных волн) в физическом вакууме обозначают символом \mathbf{S} , называют вектором Пойнтинга и определяют уравнением:

$$\mathbf{S} = [\mathbf{E} \mathbf{H}], \quad (4)$$

где \mathbf{E} – напряженность электрического поля, \mathbf{H} – напряженность магнитного поля в веществе. Поскольку вектор Пойнтинга определяется в физическом вакууме, а не в веществе, уравнение (4) некорректно, так как следует применять не напряженность магнитного поля в веществе \mathbf{H} , а напряженность магнитного поля в физическом вакууме, то есть магнитную индукцию \mathbf{B} . В Фейнмановских лекциях по физике (т.6, гл.27, п.3) вектор Пойнтинга определяется уравнением

$$\mathbf{S} = [(\epsilon_0 c^2 \mathbf{E}) \mathbf{B}]. \quad (5)$$

Как вектор Умова, так и вектор Пойнтинга являются частными случаями поверхностной плотности мощности волнового потока энергоносителей.

По внешнему виду определяющих уравнений (2-5) почти невозможно увидеть истинное физическое содержание векторов Умова и Пойнтинга. **Только введение энергии как векторной величины, обозначаемой в данном случае символом W , и ее производной по времени P позволяет с помощью уравнения (1) понять это**

содержание, как отношение мощности волнового потока к площади поперечного сечения этого потока.

6. Обновленная трактовка закона сохранения энергии

Важнейший вывод из сказанного выше: закон сохранения энергии при движении материи можно трактовать иначе, нежели сейчас, а именно: при движении энергоносителей должна сохраняться энергия, как скалярная величина E и как векторная величина \mathbf{E} .

В соответствии с этим законом любое изменение направления движения одной части физической системы должно сопровождаться аналогичным и противоположным по знаку изменением направления движения другой части системы таким образом, чтобы осталось прежним не только количество энергии физической системы, но и суммарное направление потока энергоносителей.

Естественно, что под направлением движения энергоносителей понимается не только направление прямолинейного движения, но и направление вращательного движения. В частности, на подобной трактовке закона сохранения энергии основано, например, одновременное возникновение двух разнонаправленно вращающихся вихрей с одинаковым количеством энергии вращательного движения.

При такой трактовке закона сохранения энергии два других важнейших закона (закон сохранения импульса и закон сохранения момента импульса) вытекают в качестве частных случаев именно из закона сохранения энергии, как векторной величины, а не являются независимыми законами.

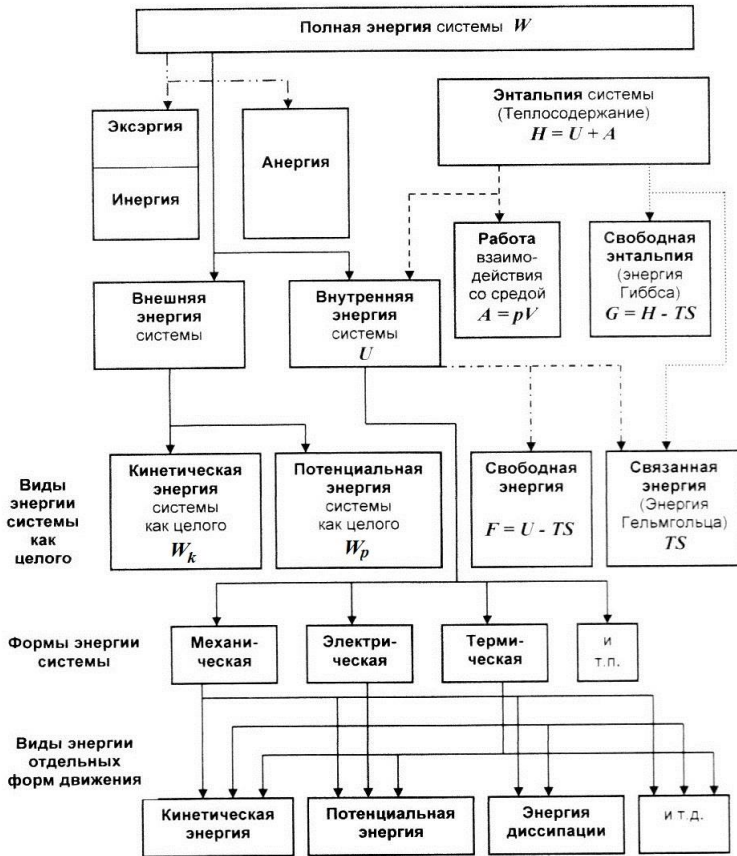
Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Коган И.Ш., 2012, Энергия как основная физическая величина. – “Законодательная и прикладная метрология”, 1, с.с. 48-53.
3. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (кн. 4). – М.: АСТ: Астрель
4. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
5. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd edition.

4.4.2. Классификация определений энергии в термодинамике

Особую важность представляет собой решение проблемы классификации понятий, связанных с энергией, в термодинамике, поскольку там это невозможно сделать без классификации так называемых **термодинамических потенциалов**. **Последние по своей физической природе являются разновидностями энергии, а не разновидностями потенциалов системы, как это следует из их названия.**

Воспользовавшись справочником Б.Яворского и А.Детлафа (1990), работой В.Эткина (2006) и словарными определениями, мы схематизировали на представленном рисунке терминологию, относящуюся к понятию “энергия” в термодинамике. На этой схеме мы воспользовались общепринятой символикой. На схеме учтена классификация энергии по формам и видам, опубликованная в работах И.Когана (2007, 2009).



Общепризнанная в современной физике классификация, показанная на части рисунка, возникла после введения в 1851 г. У.Томсоном (Кельвином) понятия “внутренняя энергия“. Приведем определения приведенных разновидностей энергии:

Полная энергия системы является суммой внешней и внутренней энергии системы. **Внешняя энергия системы** состоит из кинетической энергии механического движения системы как целого и потенциальной энергии системы во внешних силовых полях. **Внутренняя энергия**

системы – это энергия системы, зависящая только от ее внутреннего состояния и не включающая в себя виды энергии системы как целого.

Внутренняя энергия системы включает в себя формы энергии **всех форм движения, существующих в системе, и, соответственно, все виды энергии каждой формы энергии, взятой в отдельности.** Это подробно рассматривается в разделе, посвященном **классификации форм и видов энергии.** Связи между полной энергией системы и ее составными (аддитивными) частями указаны на схеме **сплошными линиями.**

Проанализировав эту классификацию, В.Эткин (2006) показал, что *“часть внешней энергии системы зависит от внутреннего состояния системы”*. Он показал также, что *“деление энергии на внешнюю и внутреннюю не позволяет в полной мере отразить в терминологии качественные различия форм энергии”*. О его предложении будет сказано ниже.

Рассмотрим, как хронологически вводились в термодинамику новые определения, связанные с энергией. Обратим при этом внимание на то, что **перечисляемые понятия применимы только для равновесных систем.**

В 1865 г. после введения Р.Клаузиусом физической величины S под названием **“энтропия”** появились дополнительные варианты классификации энергии, учитывающие качественные различия разновидностей энергии. Энергию системы стали различать по признаку **работоспособности системы.**

В 1874-1878 г.г. Дж.Гиббс разработал метод термодинамических потенциалов и ввел понятие **энтальпии системы (теплосодержания системы)**, хотя сам термин "термодинамические потенциалы" был введен в науку не им, а его последователями. **Энтальпия – это сумма внутренней энергии системы и совершенной термодинамической системой работы взаимодействия со средой.** Эта сумма на схеме указана **штриховыми и пунктирными линиями.** Работоспособная часть энтальпии (называемая также **энергией Гиббса**) была названа **свободной энтальпией.**

В 1882 г. Г.Гельмгольц ввел деление внутренней энергии системы на свободную энергию и связанную энергию. **Свободная энергия** – это работоспособная часть внутренней энергии системы. А **связанная**

энергия – это неработоспособная часть внутренней энергии системы, связанная с хаотическим движением составляющих систему частиц, или так называемая “**обесцененная**” **энергия системы**. Ее называют также **энергией Гельмгольца**. Классификация Гельмгольца показана на схеме штрих-пунктирными линиями.

Между классификациями Гиббса и Гельмгольца имеется взаимосвязь, показанная на схеме пунктирными линиями. **Энергия Гиббса и энергия Гельмгольца в сумме составляют энталпию системы**.

В 1955 г. З.Рант ввел новые два понятия – **эксергию** и **анергию**. Они были призваны различать полную энергию системы только по признаку работоспособности. Это деление на схеме показано также штрих-пунктирными линиями, но с двумя точками. **Эксергия** – это работоспособная (технически пригодная, превратимая) часть полной энергии системы. Согласно БСЭ, это “*максимальная работа, которую может совершить система при переходе из данного состояния в равновесие с окружающей средой*”. **Анергия** – это неработоспособная (технически непригодная, непревратимая) часть полной энергии системы.

В.Эткин (2006) указал на то, что работа совершается системой “*не только за счет энергии самой системы, но и окружающей среды (пополняясь в процессе теплообмена с ней)*” и что эксергия З.Ранта тоже зависит от параметров окружающей среды. И это, по мнению В.Эткина, “*делает понятие эксергии неоднозначным и неполным*”. В.Эткин предложил взамен термина “эксергия” ввести для превратимой (неравновесной) составляющей полной энергии новое понятие “**инергия**”. В.Эткин определяет инергию как “*способность системы к внутренним превращениям безотносительно к тому, в чем эти превращения будут выражаться – в совершении полезной или диссипативной, внешней или внутренней работы*”. И далее В.Эткин поясняет: “*... в системах, проявляющих тенденцию к установлению внутреннего равновесия, инергия понижается в любых необратимых процессах вследствие совершения внутренней работы диссипативного характера*”.

Это позволило В.Эткину объединить 1-е и 2-е начала термодинамики в одно простое и понятное утверждение: "При протекании самопроизвольных процессов в изолированных системах работоспособная часть ее энергии (инергия) превращается в неработоспособную (анергию); при этом их сумма

сохраняется". Это и есть не что иное, как закон сохранения энергии для изолированных систем. Далее В.Эткин (2006) утверждает, что деление полной энергии системы на внешнюю и внутреннюю лишь осложнило понимание такой физической величины, как полная энергия. Он считает, что информативнее и вернее деление полной энергии системы на инергию (превратимую часть) и анергию (непревратимую часть). Из этого В.Эткин делает вывод о том, что **"...отношение инергии к энергии системы является мерой её упорядоченности."**

В 2007 г. И.Коган ввел понятия **"формы энергии" и "виды энергии"**, опубликовав схему, представленную на рисунке. Внутренняя энергия представлена в виде суммы форм энергии в различных формах движения, и каждой форме энергии соответствуют $(m + 1)$ видов энергии, где m - максимальное значение порядка производной от изменения координаты состояния по времени. Формы и виды энергии показаны на схеме в двух нижних рядах. Более подробно о формах и видах энергии и энергообмена рассказано в следующем разделе.

Непосредственного отношения к систематизации физических величин приведенная классификация понятий и определений, связанных с энергией, не имеет, но может помочь разобраться в том скоплении терминов, относящихся к понятию "энергия", которое существует сейчас. Следовательно, эта **схема имеет прямое отношение к систематизации физических понятий.**

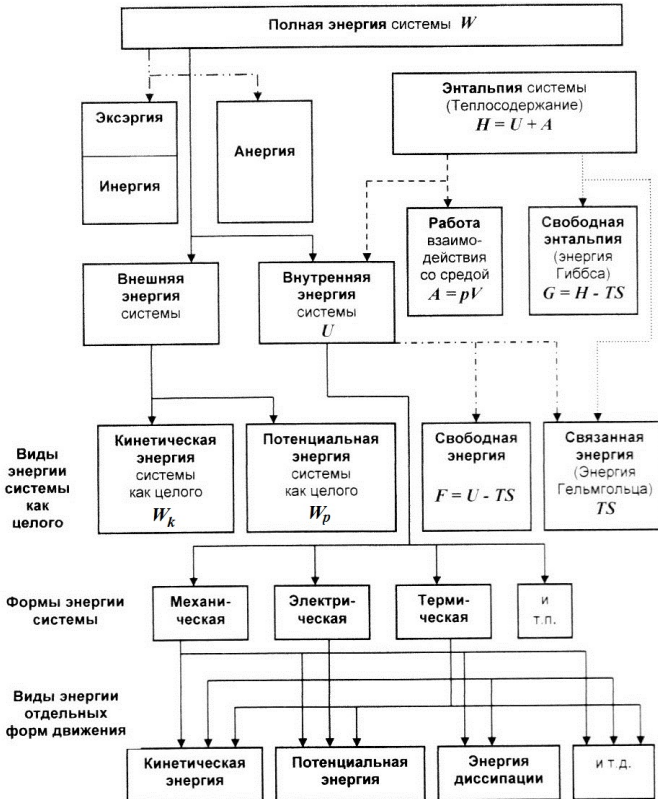
Литература

1. Коган И.Ш., 2007, Систематизация и классификация определений и дополнений к понятию "энергия" – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8784.html>
2. Эткин В.А., 2006, Энергия и анергия. – http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/energijaianergija.shtml.

4.4.3. Формы энергии и виды энергии и энергообмена

1. Путаница в определениях форм и видов энергии.

Понятие “энергия” в современной научной, учебной и справочной литературе и, особенно, в средствах массовой информации обросло большим количеством дополнений и определений, которые подчас не имеют никакого отношения к физике. История их возникновения приведена вкратце в предыдущем разделе и проиллюстрирована схемой, приведенной ниже на рисунке.



Но в вопросе систематизации понятий “формы энергии” и “виды энергии” четкости нет. Приведем определения из различных первоисточников.

В словаре Глоссарий.ру “энергия – это скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения материи и мерой перехода движения материи из одних форм в другие”. О том же говорит и БСЭ: “Энергия в природе не возникает из ничего и не исчезает; она только может переходить из одной формы в другую”.

В этих двух определениях речь идет только о формах движения и о формах энергии.

А в метрологическом справочнике А.Чертова (1990) сказано так: “Различным видам движения и взаимодействия материи соответствуют разные виды энергии: механическая (кинетическая и потенциальная), внутренняя, электромагнитная, ядерная и др.”. **Здесь речь идет уже о видах движения и видах энергии.** В учебнике по физике И.Савельева (2005, кн.1) энергия также делится только на виды. Вот цитата: “В соответствии с различными формами движения материи рассматривают разные виды энергии - механическую, внутреннюю, электромагнитную, ядерную и др.”. И далее: “Механическая энергия бывает двух видов - кинетическая и потенциальная”. **Здесь уже виды энергии соответствуют формам движения.**

Но можно привести и примеры смешения понятий “формы энергии” и “виды энергии”. Например, в справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) приведено такое словосочетание: “различные виды (формы) энергии”. Здесь формы и виды энергии приравнены друг другу. О.Бондаренко и С.Кадыров (2000) подразделяют энергию на иерархически высшие и низшие области, к первым они относят кинетическую, магнитную, механическую энергии, ко вторым – потенциальную, электрическую, тепловую. Тут вообще непонятно, почему механическая и кинетическая энергии равноправны в смысле их классификации.

В.Эткин (2008) вводит понятия упорядоченной и неупорядоченной энергии, выводя эти понятия из упорядоченной работы технических устройств, предназначенной для “целенаправленного преобразования одних видов энергии в другие”, и неупорядоченной работы, при которой отсутствует упорядоченное движение физической системы (ее перемещение). **Однако энергия не может быть упорядоченной и**

неупорядоченной, эти прилагательные можно отнести только к формам движения энергоносителей. Это они движутся, перенося с собой энергию, сама по себе энергия двигаться не может, это физическая величина.

Приведенные сведения свидетельствуют о том, что в современной физике и в современной метрологии энергия на формы и виды не подразделяется вообще. А если подразделяется, то формы и виды энергии трактуются по-разному. Однако таким терминам, как “формы энергии” и “виды энергии” следует обязательно придать однозначность, такая попытка предпринята в работах И.Когана (2006, 2007, 2009).

2. Что следует назвать формами энергии?

Прежде всего, следует выяснить лексическое содержание слов “форма” и “вид”. Словарь русского языка так толкует эти два понятия: “**Форма** – устройство, тип, структура, характер которой обусловлен содержанием. **Вид** – понятие, обозначающее ряд предметов, явлений с одинаковыми признаками и входящее в более общее понятие рода”. Судя по этому толкованию, форма является более общим, а вид – менее общим понятием. Следовательно, **вид должен входить в форму как ее составная часть**. Применим этот вывод к понятиям “форма энергии” и “вид энергии”.

В БСЭ в словарной статье “энергия” указывается: “В соответствии с различными формами движения материи рассматривают различные формы энергии”. Это напрямую вытекает из закона сохранения энергии, приведенного в разделе, посвященном **потенциалам системы**, где изменение внутренней энергии системы dU равно сумме изменений энергии во всех формах движения системы и определяется уравнением

$$dU = \sum_i P_i dq_i, (1)$$

в котором P_i – потенциал i -ой формы движения, а dq_i – изменение координаты состояния i -ой формы движения. Учение о различных **формах движения** было развито в трудах А.Вейника (1968).

В соответствии с различными формами движения материи, следует

рассматривать и различные **формы энергии**: *механическую, гидравлическую, тепловую, электромагнитную, ядерную* и т. д., что и изображено в предпоследнем ряду приведенной выше схемы. Схема взята из статьи, посвященной классификации понятий, связанных с энергией, в термодинамике.

3. Что следует назвать видами энергии?

Для выяснения того, что можно понимать под видами энергии, следует рассмотреть для какой-то одной i -ой формы движения изменение разности потенциалов ΔP_i между равновесной системой и средой, влекущее за собой переходный процесс изменения состояния системы, или изменение разности потенциалов ΔP_i внутри неравновесной системы, влекущее за собой процесс выравнивания потенциалов внутри системы. Это приводит к уравнению динамики системы, представленному в статье И.Когана (1998) в виде:

$$\sum_{k=0}^m a_{ki} \frac{d^k q_i}{dt^k} = \Delta P_i, \quad (2)$$

где k – порядок производной по времени; m – наибольший порядок производной, ограничиваемый в современной физике числом 2. Каждой форме энергии соответствуют $(m + 1)$ видов энергии, показанных на приведенной выше схеме в нижнем ряду. В современной физике рассматриваются обычно лишь три разных вида противодействий системы при переходном процессе, что обычно соответствует $m = 2$. Фактически $m > 2$, но производными по времени более высокого порядка обычно пренебрегают.

При $k = 0$ речь идет о противодействии жесткости, при $k = 1$ – о диссипативном противодействии и при $k = 2$ – о противодействии инертности. Каждое из этих трех противодействий входит в уравнение, определяющее один из трех видов энергии i -ой формы движения: *потенциальной энергии, энергии диссипации и кинетической энергии*.

4. Кинетическая и потенциальная энергии принадлежат каждой форме энергии.

Неверно приписывать кинетическую и потенциальную энергию только механической форме движения, как это сделано, например, в справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990). Виды энергии должны трактоваться в обобщенном смысле, ибо они относятся к любой форме движения и, следовательно, к любой форме энергии. Например, имеется кинетическая электрическая энергия, и это не то же самое, что кинетическая механическая энергия. Это кинетическая энергия движения электронов проводимости, а не кинетическая энергия механического движения тела. Точно так же потенциальная электрическая энергия это не то же самое, что потенциальная механическая энергия.

Обычно вместо слов “кинетическая электрическая энергия” говорят просто об электрической энергии, даже не подразумевая слово “кинетическая”. **Но слово “электрическая” определяет форму энергии, а не вид энергии**, ведь может быть еще и потенциальная электрическая энергия, и электрическая энергия диссипации. Точно так же, когда произносят два слова “кинетическая энергия”, то имеют обычно в виду только кинетическую механическую энергию, но слово “механическая” при этом опускают. В плане сказанного выше это не совсем конкретно, хотя, если вдуматься, имеет основание. Действительно, **в основе любой формы энергии лежит механическое движение энергоносителей (движение электронов, ионов, молекул газа или жидкости), описываемое одним и тем же обобщенным уравнением динамики**.

И всё же в результате смешения понятий “формы энергии” и “виды энергии” возникают подчас неверные физические аналогии. Некоторые сторонники теории физических аналогий считают, что кинетическая механическая энергия может быть аналогична потенциальной электрической энергии, хотя такая аналогия некорректна. Формально такая аналогия может себя оправдывать на практике в отдельных случаях, но это не будет отражать физического содержания.

Виды энергии могут переходить друг в друга, оставаясь принадлежащими одной и той же форме энергии. Переход разных видов энергии друг в друга является следствием перераспределения значений этих видов энергии внутри одной и той же формы движения. Например, кинетическая энергия любой формы движения в неконсервативных системах переходит в энергию диссипации. Не исключается также перенос любого вида энергии одной формы движения в любой вид энергии другой формы движения.

У А. Вейника (1968) это называется законом взаимности.

В разных разделах современной физики математическая запись одного и того же вида энергии в разных формах движения часто выглядит по-разному. Иногда меняется и терминология. Но это лишь затрудняет понимание сути происходящего.

Итак, *форма энергии определяется только формой движения. А в каждой форме движения имеются одни и те же виды энергии.* Их значения определяются только **конструктивными параметрами рассматриваемой формы движения**, потому что именно эти параметры входят в уравнение динамики и в уравнение переходного процесса.

5. Сколько может быть всего видов энергии?

Поскольку современная физика рассматривает уравнение динамики (2) лишь с тремя слагаемыми, то и рассматриваются обычно только **три вида энергии (потенциальная, кинетическая и диссипации)**. Но в уравнении динамики нет запрета на существование других видов энергии, определяемых порядком производной по времени $k > 2$. В частности, четвертый вид энергии (при $k = 3$) интересует исследователей процессов разгона и торможения двигателей в энергетике, на транспорте, в космонавтике, специалистов по теории удара. П. Пирнат (2005), например, включил в созданную им систему физических величин величины, связанные с четвертым видом энергии, хотя эта процедура и перегрузила систему П. Пирната редко применяемыми физическими величинами. Мы полагаем также, что и пятый вид энергии (при $k = 4$) может интересовать, например, специалистов по взрывным процессам.

Обратим внимание также на то, что виды энергии, определяемые четными значениями k , связаны с параметрами консервативных систем, а виды энергии, определяемые нечетными значениями k , связаны с параметрами неконсервативных систем.

Отметим также, что энергия диссипации связана с качественным изменением энергии. К слову, применяемый иногда термин “диссипативные потери энергии” некорректен, ибо энергия теряться не может. Точнее было бы сказать о диссипативных потерях энергии упорядоченных форм движения. Вместо термина “**энергия диссипации**” (в переводе на русский язык – **энергия рассеяния**) в

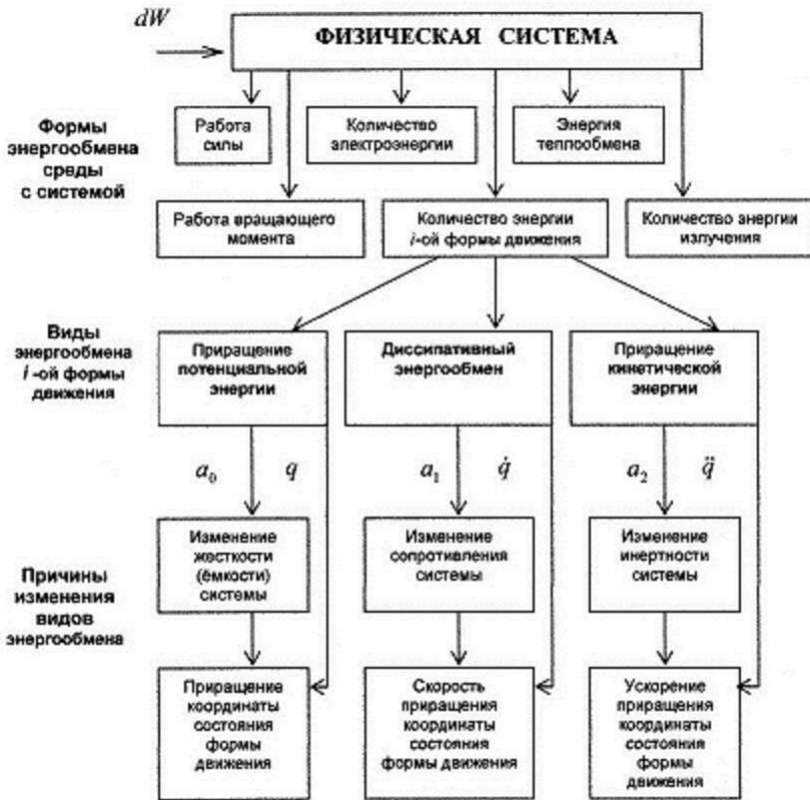
некоторых научных работах применяют термин “энергия деградации” (в переводе на русский язык – энергия вырождения). Но и это не точно, вырождается не энергия, а способность системы производить работу.

К числу противодействий системы внешнему воздействию относится противодействие физического поля, связанное с перемещением системы в этом поле или с ее возможным поворотом относительно силовых линий поля. Это противодействие является удельным изменением потенциальной энергии, которая может рассматриваться в двух подвидах. Первый подвид потенциальной энергии связан с изменением положения системы в физическом поле, его можно назвать изменением **потенциальной энергией положения**. Второй подвид потенциальной энергии, связанный с противодействием жесткости, можно назвать **потенциальной энергией деформации**. Этот подвид потенциальной энергии связан с внутренним силовым полем системы (полем упругих сил).

6. Что следует назвать формами и видами энергообмена?

В разделе, посвященном энергообмену, подробно разъясняется это понятие, не часто применяемое в физике.

В термодинамике равновесных систем энергообмен системы с окружающей средой имеет две формы – **механическую работу (работу силы) и теплообмен**, так как рассматриваются всего **две формы движения – механическая прямолинейная и тепловая**. При рассмотрении физической системы со многими формами движения следует говорить о многих формах энергообмена и видах энергообмена, что отражено на показанной схеме.



Такие понятия, как работа силы, количество теплоты, количество электроэнергии, являются различными формами энергообмена в различных формах движения. А виды энергии (потенциальная, диссипативная, кинетическая) указывают на виды энергообмена внутри одной и той же формы движения.

Причинами изменения видов энергообмена становятся изменения параметров системы (жесткости, сопротивления, инертности), что разъясняется в разделе, посвященном переходному процессу. Например, изменение жесткости системы приводит к изменению **потенциальной энергии** формы движения, изменение сопротивления – к изменению **энергии диссипации** формы движения, а изменение инертности – к изменению **кинетической энергии** формы движения. А

сумма этих изменений равна и противоположна по знаку изменению энергии dW .

7. Биологическая форма энергии и спекуляции вокруг нее.

К формам энергии, естественно, относятся формы энергии любого вида излучения, в том числе, и так называемая *биоэнергия*. Ей в средствах массовой информации придают какое-то мистическое значение, хотя последнее можно отнести только к желанию неграмотных в физике журналистов придать своим статьям привлекательность и характер сенсации.

Дилетанты в области естественных наук авторитетно рассуждают о хорошей и плохой энергии, о положительной и отрицательной энергии, об энергетике души и об энергетике космоса. При этом они не утруждают себя тем, чтобы точно определить, что они понимают под словами “энергия” и “энергетика”. И Коган пытается найти в многочисленных публикациях на тему “энергетики человека” четкое определение этого понятия, пока ему это не удастся.

В БСЭ имеется определение биоэнергетики, но там недвусмысленно указывается на то, что *“все исследования в области биоэнергетики основываются на единственно научной точке зрения, согласно которой к явлениям жизни полностью применимы законы физики и химии, а к превращениям энергии в организме — основные начала термодинамики”*. Ничего похожего в публикациях об энергетике человека не имеется.

Говорить об энергии в том смысле, хорошая она или плохая, это значит присваивать энергии свойства, в природе отсутствующие. **Энергия – это мера движения, говорить о хорошем или плохом движении бессмысленно.** Короче говоря, журналисты и разные экстрасенсы играют с термином, который им непонятен. Такое положение оказалось возможным по разным причинам.

Во-первых, энергия связана с человеческой деятельностью, а в таком смысле это слово хорошо знакомо всем людям, и поэтому хорошо воспринимается в средствах массовой информации. Во-вторых, в других областях науки (не в физике) понятие “энергия” пытаются трактовать иначе, чем в физике. Различное понимание одного и того же термина – явление не такое уж и редкое. Потому-то и **следует определять тот или иной термин, прежде чем им пользоваться.**

В-третьих, жизнь живых существ действительно связана с энергией, особенно с энергией излучения, которое исходит от любых живых существ и в них же извне и входит. На людей влияют энергия магнитного поля Земли, Солнца и других небесных тел, энергия техногенного происхождения и т.д. Но это область биофизики, а не эзотерики. Последняя не дает определения понятию “энергия”, говоря вместо этого о каких-то неопределенных “силах природы”, “карме”, “ауре” и проч.

Воздействие внешнего излучения на человека зависит не только от энергии, но и от частоты излучения. А это еще важнее, так как восприятие излучения носит, как правило, резонансный характер. Энергия воспринимаемого человеком внешнего излучения обычно настолько мала, что она чаще всего пока не фиксируется современными измерительными средствами из-за их относительного высокого порога чувствительности. Но в любом случае энергия излучения остается характеристикой излучения именно в физическом смысле этого слова, а не в каком-нибудь ином.

Конечно, одни излучения влияют на самочувствие человека положительно, другие – отрицательно. Одно и то же излучение на разных людей может влиять по-разному. Для этого и существуют научные методы исследования, в том числе, и биоэнергетические, ничего общего с магией, колдовством и мистикой не имеющие. Никто не собирается отрицать мудрость древней восточной медицины, но ее достижениям следует давать естественно-научное объяснение, а не пользоваться словесной эквилибристикой.

Литература

1. Бондаренко О.Я., Кадыров С.К., 2000, Сравнительная характеристика некоторых положений традиционной физики и альтернативной физики. Сб. “Другая физика”, - <http://www.newphysics.h1.ru>
2. Вейник А.И. Термодинамика. 3-е изд. Минск, "Высшая школа", 464 с.
3. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
4. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.

5. Коган И.Ш., 2007, Систематизация и классификация определений и дополнений к понятию “энергия” – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8784.html>
6. Коган И.Ш., 2009, Систематизация и классификация определений и дополнений к понятию “энергия”. – “Автоматизация и ИТ в энергетике”, **2-3**, с.с. 56-63.
7. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
8. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
9. Эткин В.А., 2008, Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). – СПб.: Наука, 409 с. .
10. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.:Наука,Физматгиз, 624 с.
11. Pirnat P., 2005, Physical Analogies. – <http://www.ticalc.org/cgi-bin/zipview?89/basic/science/physanal.zip:physanal.txt>

4.4.4. Закон сохранения энергии

1. Закон сохранения энергии как следствие закона сохранения движения.

Закон сохранения энергии – фундаментальный закон природы. Его содержание наиболее кратко раскрывается в Словаре естественных наук (Глоссарий.ру): *“Энергия любой замкнутой системы при всех процессах, происходящих в системе, остается постоянной. Энергия может только превращаться из одной формы в другую и перераспределяться между частями системы. Для незамкнутой системы увеличение/уменьшение ее энергии равно убыли/возрастанию энергии взаимодействующих с ней тел и физических полей.”* Закон сохранения энергии вытекает в качестве следствия из обобщенного уравнения состояния физической системы. Это уравнение положено также в основу предлагаемой систематизации физических величин.

Энергия в современной физике считается только скалярной величиной, то есть характеризует движение материи лишь количественно. Однако закон сохранения энергии можно понимать не только с количественной точки зрения, этому посвящен раздел о взаимосвязи энергии и движения, в которой показано, что энергия может быть и векторной величиной. В этом разделе указывается на то, что закон сохранения энергии является частным случаем более общего закона сохранения движения, учитывающего не только сохранение количества энергии, но и сохранение направления движения. Именно закон сохранения движения отражает не только вечное существование материи, но и вечное ее движение.

2. Современные формы записи уравнений состояния.

В популярном справочнике по физике (Б.Яворский и А.Детлаф, 1990) закон сохранения энергии вытекает из уравнения состояния замкнутой термодинамической системы:

$$W = W_k + W_p + U, (1)$$

где W – полная энергия системы; W_k – кинетическая энергия системы в целом; W_p – потенциальная энергия системы в целом; U – внутренняя энергия системы. Смысл слов “в целом” состоит в том, что значения кинетической энергии и потенциальной энергии во всех формах движения системы просуммированы друг с другом.

Уравнение (1) можно распространить и на незамкнутые системы, если принять во внимание условие приращений. Это условие требует записывать определяющие уравнения не в абсолютных значениях величин, а в их приращениях. На основании уравнения (1) приращение энергии системы можно записать как сумму приращений видов энергии:

$$dW = \sum_i (dW_k)_i + \sum_i (dW_p)_i + \sum_i (dU)_i. (2)$$

Уравнения (1) и (2) указывают на то, что внутри системы энергия может переходить из одного вида энергии в другой (из кинетической энергии в потенциальную) и наоборот при неизменности внутренней энергии, а также переходить из внутренней энергии в кинетическую и потенциальную энергии. Форма записи (1) не учитывает возможность перехода энергии из одной формы движения в другую, то есть не принимает во внимание классификацию энергии по формам и видам. В

уравнениях (1) и (2) не отражена также энергия диссипации, являющаяся одним из видов любой формы энергии. То есть уравнения (1) и (2) приемлемы лишь для консервативных систем.

Имеется также запись уравнения состояния, приведенная, например, у В.Сычёва (1970):

$$dW = \left(\frac{\partial W}{\partial q_1} \right)_0 dq_1 + \left(\frac{\partial W}{\partial q_2} \right)_0 dq_2 + \dots = \sum_{i=1}^n dW_i. \quad (3)$$

где dq_i – приращение координаты состояния i -ой системы. Уравнение (3) отличается от уравнения (1) тем, что учитывает возможность перехода энергии из одной формы движения в другую форму движения внутри системы, но оно не учитывает возможность перехода из одного вида энергии в другой вид энергии внутри формы движения. Поэтому уравнение состояния в форме (3) может быть применено как уравнение состояния для одной формы движения.

Для полного учета всех форм энергии в уравнение состояния должна быть добавлена сумма приращений энергии, вызванных изменением состояния системы под влиянием разных форм физического поля. Тогда уравнение состояния примет такой обобщенный вид:

$$dW = \sum_i U_i dq_i + \sum_j U_j dq_j, \quad (4)$$

где i – число форм движения; j – число форм физического поля.

3. О принципах систематизации на базе закона сохранения энергии.

В основу систематизации физических величин (И.Коган, 2004) положено суммирование и по формам энергии, и по видам энергии. Поскольку форма энергии связана с формой движения, то **для каждой формы движения составляется отдельная таблица.** И в каждой таблице присутствует уравнение переходного процесса

$$a_0 q + a_1 (dq/dt) + a_2 (d^2q/dt^2) = \Delta P, \quad (5)$$

которое содержит параметры системы в рассматриваемой форме движения. В уравнении (5) a_i – конструктивный параметр i -ой формы движения, ΔP – разность потенциалов между системой и окружающей ее средой.

4. Физическое содержание закона сохранения энергии.

Если рассмотреть систему, изменение энергии которой при контакте с окружающей средой отсутствует, то есть если $dW = 0$, то из этого следует, что полная энергия системы $W = \text{const}$ без учета того, движется система или нет. Это и есть физическое содержание **закона сохранения энергии**.

В том случае, когда система движется и необходимо учитывать направление ее движения, равенство $W = \text{const}$ означает, что направление движения остается неизменным. Это и есть содержание **закона сохранения движения**.

5. О необходимости применения понятия “энергообмен”.

Обобщенным понятием для обозначения любого переноса энергии энергоносителями из среды в систему и наоборот является понятие “**энергообмен**”, детально описанное в отдельном разделе. К сожалению, это понятие сейчас используется, в основном, в биологии, а не в физике, хотя это чисто физическое понятие, при систематизации физических величин это понятие является одним их ключевых. Приращение энергии системы dW является не чем иным, как следствием дисбаланса энергообмена между системой и окружающей средой.

Важное пояснение сделал А.Вейник (1968), указывая на то, что в записи dW оператор d перед W не говорит о том, что dW является дифференциалом, так как величина dW есть не изменение чего-либо, а просто бесконечно малое приращение энергообмена.

Это не означает, что в физике не используются широко понятия, вытекающие из понятия “энергообмен”. Например, в механической форме движения вместо энергообмена говорят о **работе силы**, в электрической форме движения – о **количестве электроэнергии**, в тепловой форме движения – о **теплообмене**, а это частные случаи

обобщенного понятия “энергообмен”. Наконец, необходимо учитывать, что внутри реальных физических систем всегда происходит диссипативный энергообмен, то есть перенос части энергии упорядоченного движения любой формы движения в энергию неупорядоченной тепловой формы движения. Об энергообмене в механических формах движения подробно написано в разделе, посвященном работе силы.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Коган И.Ш., 2004, “Физические аналогии” – не аналогии, а закон природы. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7438.html>
3. Сычёв В.В., 1970, Сложные термодинамические системы. – М.: Энергия.
4. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.

4.4.5. Определяющие уравнения разных видов энергии

1. Что отражает изменение суммарной энергии физической системы

Полная энергия системы W согласно справочнику по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990, с. 100) определяется, как сумма кинетической энергии механического движения системы как целого W_k , потенциальной энергии системы во внешних силовых полях W_p и внутренней энергии системы U , то есть по уравнению

$$W = W_k + W_p + U. (1)$$

Соответственно, изменение полной энергии системы dW является

суммой изменений ее слагаемых, в том числе изменения внутренней энергии dU . Если рассматривать физическую систему с произвольным числом форм движения, равным i , то изменение внутренней энергии системы будет определяться уравнением

$$dU = \sum_i (\partial U / \partial q_i) dq_i = \sum_i P_i dq_i, \quad (2)$$

где dq_i – изменение координаты состояния i -ой формы движения, а физическую величину $P_i = (\partial U / \partial q_i)$ называют **потенциалом системы** для i -ой формы движения. Окружающая систему среда тоже имеет потенциал для каждой формы движения. Если потенциалы системы и среды для i -ой формы движения не совпадают, то в этой форме движения возникает **разность потенциалов** между системой и средой ΔP_i . Это векторная величина, направление которой зависит от того, куда будут двигаться энергоносители: в систему или из системы.

В Физическом энциклопедическом словаре сказано: "*Если система не изолирована, то ее энергия может изменяться либо при одновременном изменении энергии окружающих тел на такую же величину, либо за счет изменения энергии взаимодействия тела с окружающими телам*". Этот процесс носит название **энергообмен**. Изменение кинетической энергии dW_k в сумме с изменением потенциальной энергии dW_p обозначим как dW_{ch} (индекс от английского слова change - изменение), оно зависит от разности потенциалов ΔP_i в каждой форме движения. Поэтому изменение полной энергии системы dW будет определяться уравнением

$$dW = dW_{ch} + dU = \sum_i \Delta P_i dq_i + \sum_i P_i dq_i, \quad (3)$$

в котором dq_i – **элементарное количество перемещающихся энергоносителей** из системы в среду (или обратно) для i -ой формы движения. Уравнение (3) отражает изменения энергии системы как целого и внутри системы.

2. Уравнение потенциальной и кинетической энергии системы как целого

При условии отсутствия изменения потенциалов системы внутри ее уравнение (3) ограничивается одним слагаемым и принимает вид

$$dW = \sum_i \Delta P_i dq_i . (4)$$

Уравнение (4) после подстановки в него обобщенного уравнения динамики, в котором учтены параметры форм движения (D_i , R_i и I_i – жесткость, диссипативное сопротивление и инертность) принимает вид:

$$[D_i \Delta q_i + R_i (dq_i / dt) + I_i (d^2 q_i / dt^2)] dq_i = dW . (5)$$

Слагаемые уравнения (5) в том порядке, в котором они расположены в квадратных скобках, отражают изменения **потенциальной энергии, энергии диссипации, кинетической энергии**.

3. Определение потенциальной энергии и расчет ее изменения

Для потенциальной энергии С.Таргом приведено в БСЭ такое обобщенное определение: *“часть общей механической энергии системы, зависящая от взаимного расположения частиц, составляющих эту систему, и от их положений во внешнем силовом поле”*. Правда, это определение привязывает потенциальную энергию только к механической форме движения, но его можно распространить и на другие формы движения. Для потенциальной энергии деформации дано такое определение: *“энергия движения частиц в любых формах движения внутри физической системы, зависящая от взаимного расположения частиц, составляющих эту систему”*. Это определение учитывает, что при изменении взаимного расположения частиц, составляющих систему (при деформировании системы), энергия движения этих частиц также изменяется.

Первое слагаемое в квадратных скобках уравнения (5) представляет собой изменение потенциальной энергии в непроточной системе и записывается как

$$(dW_p)_i = D_i \Delta q_i dq_i (6)$$

или

$$(dW_p)_i = \Delta q_i dq_i / C_i , (7)$$

где ёмкость C_i – величина, обратная жесткости D_i . После

интегрирования за весь период времени переходного процесса получаем значение **конечного изменения** потенциальной энергии деформации в виде:

$$(\Delta W_p)_i = D_i (\Delta q_i)^2 / 2 \quad (8) \quad \text{или} \quad (\Delta W_p)_i = (\Delta q_i)^2 / 2 C_i \quad (9)$$

где Δq_i – разность между значениями координаты состояния i -ой формы движения в начальный момент времени и к концу переходного процесса. Конечное изменение потенциальной энергии может быть рассчитано более простым путем с учетом того, что к концу переходного процесса $D_i \Delta q_i = \Delta P_i$, что приводит к уравнению

$$(\Delta W_p)_i = \Delta P_i \Delta q_i / 2 \quad (10)$$

В проточной системе, у которой жесткость D_i или ёмкость C_i системы постоянны, приращение потенциальной энергии $(dW_p)_i = 0$.

Изменение **потенциальной энергии положения** системы в физическом поле учитывается при изменении силы взаимодействия заряженной системы с полем. Это учтено в тех таблицах, в которых учитывается влияние физического поля на систему.

4. Определение кинетической энергии и расчет ее изменения

С.Таргом в БСЭ дано такое определение кинетической энергии:
“энергия механической системы, зависящая от скоростей движения её точек”. Это определение также можно распространить на другие формы движения и дать более расширенное определение:
“**кинетическая энергия – это энергия формы движения системы, зависящая от скорости изменения координаты состояния этой формы движения**”.

Третье слагаемое в квадратных скобках уравнения (5) после интегрирования приводит к уравнению для приращения кинетической энергии в непроточной системе:

$$(dW_k)_i = I_i (d^2 q_i / dt^2) dq_i \quad (11)$$

Интегрирование уравнения (11) приводит к уравнению для расчета **изменения кинетической энергии** системы:

$$(\Delta W_k)_i = I_i \Delta[(dq_i/dt)^2]/2. \quad (12)$$

В проточной системе уравнение (12) упрощается до вида

$$(\Delta W_k)_i = I_i \Delta(\mathbf{i}^2)/2. \quad (13)$$

5. Определение энергии диссипации и расчет ее изменения

Для энергии диссипации можно предложить такое определение: **“энергия перехода упорядоченного движения в любых формах движения системы в энергию неупорядоченного движения тепловой формы движения системы”**. Второе слагаемое в квадратных скобках уравнения (5) – это изменение энергии диссипации в течение переходного процесса для непроточной системы

$$(dW_R)_i = R_i (dq_i/dt_i) dq_i. \quad (14)$$

Уравнение (14) после интегрирования приводит к уравнению для расчета **изменения энергии диссипации**:

$$(\Delta W_R)_i = R_i (dq_i/dt_i)^2 \Delta t. \quad (15)$$

В проточной системе изменение dq_i отсутствует, рассматривается лишь элементарное количество перемещающихся через систему энергоносителей dq_l и их скорость движения $\mathbf{i} = dq_l/dt$. Поэтому уравнение (15) записывается как

$$(\Delta W_R)_i = R_i \mathbf{i}^2 \Delta t. \quad (16)$$

Литература

1. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.

4.4.6. Физические аналогии – законы природы

Термин “физические аналогии” не совсем точен.

В тех случаях, когда в системе рассматривается только одна форма движения, формы записи для i -ой формы движения обобщенного уравнения изменения состояния системы

$$P_i dq_i = dW \quad \text{или} \quad \Delta P_i dq_i = dW \quad (1)$$

в разных разделах физики часто совпадают.

Особенно это заметно, когда сравниваются механическая и электрическая формы движения. По этой причине в технике давно применяются электромеханические аналогии. Однако применение слов “анalogии” и “совпадения”, распространившихся в научной и учебной литературе, никакого отношения к истинному положению дел не имеет (И.Коган, 2004). Речь идет не о какой-то категории случайных событий, как это можно было бы понять из слов “анalogии” или “совпадения”, а о различных формах записи уравнения состояния системы в разных формах движения.

Таблица физических аналогий

Составлена таблица, которая делает наглядным сочетание обобщенного уравнения состояния

$$\sum_i \Delta P_i dq_i = dW \quad (2)$$

и обобщенного уравнения динамики

$$a_0 \Delta q + a_1 dq /dt + a_2 d^2q /dt^2 + \dots = \Delta P , \quad (3)$$

представив их совместно в одной и той же таблице. Эта таблица наглядно показывает, что многие законы и формулы физики являются всего лишь частными случаями приведенных двух обобщенных уравнений.

	1	2	3	<i>i</i>
элементарные формы движения	Механическая прямолинейная	Электрическая	Гидродинамическая	Обобщенная

		11	12	21	22	31	32	i1	
Обобщенное уравнение энергетического состояния	в дифференциалах	$dW = \Delta F dx$	+	$\Delta U dq$	+	$\Delta p dV$	+ ... +	$\Delta Q_i dq_i$	
	в приращениях		$\Delta W = \Delta A$	+	ΔW_e	+	ΔA_{hd}	+ ... +	Δ
действие к = 0)	01	$\Delta F = D\mathbf{x}$		$\Delta U = \mathbf{q}/C$		$\Delta p =$		$\Delta Q_i = D_i \mathbf{q}_i$	
рашение иальной ергии	02		$\Delta A = \Delta F \Delta \mathbf{x} / 2$		$\Delta W_e = \Delta U \Delta \mathbf{q} / 2$				Δ ΔQ_i
действие пассивного отивления к = 1)	11	$+ r_m(d\mathbf{x}/dt) = R\mathbf{v}$		$+ R(d\mathbf{q}/dt) = R\mathbf{I}$		$R_V(d\mathbf{V}/dt) = R_V Q_V$		$+ R_i(dQ_i/dt)$	
рашение ергии сипации	12		$+ r_m \mathbf{v}^2 \Delta t$		$+ R\mathbf{I}^2 \Delta t$		$+ R_V Q_V^2 \Delta t$		$R_i(dQ_i/dt)$
действие ртности к = 2)	21	$+ m(d^2\mathbf{x}/dt^2) = m\mathbf{a}$		$+ L(d^2\mathbf{q}/dt^2)$		$I_V(d^2\mathbf{V}/dt^2)$		$+ I_i(d^2Q_i/dt^2)$	
рашение ической ергии	22		$+ m\Delta(\mathbf{v}^2)/2$		$+ L\Delta(\mathbf{I}^2)/2$		$+ I_V\Delta(Q_V^2)/2$		$I_i\Delta(dQ_i/dt)$

ле	1		2		3		i	
	Механическая прямолинейная		Электрическая		Гидродинамическая		Обобщенная	
	11	12	21	22	31	32	i1	i2
в диффе- ренциалах	$dW = \Delta F dx$	+	$\Delta U dq$	+	$\Delta p dV$	+ ... +	$\Delta Q_i dq_i$	.
в прираще- ниях	.	$\Delta W = \Delta A$	+	ΔW_ε	+	ΔA_{hd}	+ ... +	ΔW_i
01	$\Delta F = Dx$	.	$\Delta U = q/C$	.	$\Delta p =$	.	$\Delta Q_i = Dq_i$	.
02	.	$\Delta A = \Delta F \Delta x / 2$	.	$\Delta W_\varepsilon = \Delta U \Delta q / 2$	.	.	.	$\Delta W_i = \Delta Q_i \Delta q_i / 2$
11	$r_m(dx/dt) = Rv$	.	$R(dq/dt) = RI$	.	$R_I(dV/dt) = R_V Q_V$	.	$R_i(dQ_i/dt)$	.
12	.	$r_m v^2 \Delta t$	.	$RI^2 \Delta t$	.	$R_V Q_V^2 \Delta t$	.	$R_i(dQ_i/dt)^2 \Delta t$
21	$m(dx^2/dt^2) = ma$	.	$L(d^2q/dt^2)$	.	$I_I(d^2V/dt^2)$	.	$I_i(d^2Q_i/dt^2)$	.
22	.	$m \Delta(v^2)/2$	.	$L \Delta(I^2)/2$	.	$I_V \Delta(Q_V^2)/2$	.	$I_i \Delta(dQ_i/dt)^2 / 2$

Пояснения к Таблице физических аналогий.

Для иллюстрации выбраны (см. 2-ую строку шапки) три конкретные формы движения (механическая, электрическая и гидродинамическая) и одна обобщенная. Обобщенная *i*-ая форма движения записана с помощью символов обобщенных величин. Обобщенное уравнение состояния представлено в виде суммы работ в разных формах движения (см. 5-ую и 6-ую строки таблицы).

Виды энергообмена расположены по вертикали в последующих шести строках таблицы. Каждая две строки соответствуют порядку $k = 0$, $k = 1$ и $k = 2$ производной по времени от изменения координаты состояния в уравнении динамики (3), что определяет вид противодействия системы и вид приращения энергии.

Левая колонка в каждом столбце (11, 21, 31, ...) расширявает разность потенциалов между системой и окружающей ее средой, как сумму трех противодействий системы, в соответствии с уравнением динамики, которое записано не по горизонтали, как обычно пишут уравнения, а по вертикали, столбиком. Такой способ записи позволяет охватить изменения в каждой форме движения системы.

Правая колонка каждого столбца является суммой трех видов энергии внутри каждой формы энергии. Это поясняется текстом слева и соответствует трем слагаемым уравнения динамики. Первые цифры номеров строк (0,1,2) соответствуют порядку производной по времени k в уравнении динамики.

Каждой ячейке таблицы можно присвоить свой код, состоящий из двух чисел. Первое двухзначное число кода состоит из номера горизонтальной группы, соответствующего порядку производной k (0, 1 или 2) и номера горизонтальной строки внутри этого вида (1 или 2), например, 02 или 21. Второе двухзначное число кода состоит из номера вертикального столбца (1, 2 или 3) и номера колонки внутри этого столбца (1 или 2), например, 22 или 31.

Теперь посмотрим, чему соответствует в физике содержимое каждой ячейки.

Какие законы присутствуют в Таблице аналогий.

В ячейках Таблицы аналогий оказалось много легко узнаваемых популярных формул. Например:

- ячейка (01,11) – закон Гука для упругих деформаций;
- ячейка (02,12) – формула для расчета потенциальной энергии деформации (уравнение Клапейрона);
- ячейка (01,21) – формула для расчета напряжения на обкладках конденсатора;
- ячейка (02,22) – формула для расчета электрической энергии заряженного конденсатора;
- ячейка (02,32) – формула для расчета энергии изолированной термодинамической системы;
- ячейка (11,21) – закон Ома;
- ячейка (12,22) – закон Джоуля-Ленца;
- ячейка (21,11) – второй закон Ньютона;
- ячейка (22,12) – формула для расчета кинетической энергии механической системы;

сумма ячеек (02,12) и (22,12) – теорема об изменении кинетической энергии;

сумма ячеек (12,32) и (22,32) – уравнение Бернулли (в необычной записи).

Подобное лишний раз доказывает полезность системного подхода при составлении обобщенных уравнений состояния и динамики.

Разумеется, Таблицу аналогий можно расширить за счет добавления новых столбцов, соответствующих другим формам движения, и тогда в ней можно будет найти еще немало хорошо узнаваемых законов и формул. Полезность подобной таблицы при преподавании физики и технических дисциплин очевидна.

Заметим, что на практике наиболее часто применяются записи законов из 2-ого столбца. Это объясняется тем, что в электрической форме движения (2-ой столбец) рассматривается обычно только движение электронов, то есть только электрическая форма движения, и при этом не учитываются другие формы движения. Поэтому формулы в электродинамике, как правило, линейны с достаточной степенью точности и хорошо соответствуют определяющим уравнениям.

Формулы из ячеек (11,11) и (12,12) 1-го столбца применяются реже. Это объясняется тем, что в механической форме движения (1-ый столбец) диссипативный энергообмен существенно нелинеен.

Практически почти совсем не применяются формулы из ячеек 3-го столбца, что легко объяснимо. В гидродинамической форме движения (3-ий столбец) на практике превалирует существенно нелинейный турбулентный режим течения. А формулы 3-го столбца применимы только для ламинарного режима течения.

Уравнения, описывающие виды энергообмена в реальных системах, нередко предстают не в виде простого произведения, как в какой-нибудь ячейке Таблицы аналогий, а в виде суммы произведений, поскольку они учитывают сочетание нескольких форм движения. В уравнениях состояния в реальных системах не всегда также просматривается совпадение с формой записи обобщенного уравнения состояния. В уравнениях реальных систем могут присутствовать дополнительные физические величины или дополнительные математические действия, например, сложение или вычитание. В этих случаях при описании физического явления играют существенную роль не одна, а несколько различных форм движения.

Такая ситуация почти всегда присутствует в гидроаэродинамике и в термодинамике. Поэтому электрогидравлические и электротепловые аналогии присоединились к электромеханическим аналогиям хронологически не сразу, да и то с существенными оговорками.

Сложность явлений Природы заключается в том, что нередко приходится учитывать процессы, происходящие в нескольких формах движения одной и той же системы, и учитывать влияние нескольких разных форм физических полей. Это является одной из главных причин возникновения тех трудностей, которые имеют место при решении проблемы обобщения и систематизации физических величин.

Литература

1. Коган И.Ш., 2004, “Физические аналогии” – не аналогии, а закон природы. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7438.html>

4.4.7. Физическое содержание физической величины “действие”

1. Краткая история возникновения величины “действие”.

Термин “действие” появился в середине XVIII века при формулировании **принципа наименьшего действия** в трудах Мопертюи, Эйлера и Лагранжа. Текст, поясняющий этот принцип, приведен в БСЭ в словарной статье “действие”: *“Если рассмотреть некоторую совокупность возможных движений механической системы между двумя ее положениями, то истинное (фактически происходящее) ее движение будет отличаться от возможных тем, что для него значение энергии является наименьшим”*.

И далее: *“Не все физические системы имеют уравнения движения, которые можно получить из этого принципа, однако все фундаментальные взаимодействия ему подчиняются, в связи с чем*

этот принцип является одним из ключевых положений современной физики“.

В 1899 г. М.Планк предложил ввести в предложенную им систему единиц величину h , которую он назвал **квантом действия**, впоследствии ее назвали постоянной Планка. **Действие как самостоятельную физическую величину** рассматривал Р.Фейнман. Как указывается в Википедии, *“действие в физике – одна из наиболее фундаментальных физических величин, входящая в современную формулировку большинства основных физических теорий во всех фундаментальных разделах физики*“ . В современной физике “действие“ является скалярной величиной и обозначается символом S .

Приведем определение “действия“ по метрологическому справочнику А.Чертова (1990): *“**Действие** – физическая величина, имеющая размерность произведения импульса на перемещение или энергии на время*“ . Такое определение является примером словесной формулировки математической зависимости, не раскрывающей физическое содержание физической величины. Согласно этому определению размерность действия в СИ – L^2MT^{-1} , а единица действия равна Дж с. Как видим, размерность и единица действия зрительно не совпадают по причине того, что в СИ энергия не является основной физической величиной.

2. Взаимосвязь действия и энергии как физических величин.

В разделе о движении, как о векторной физической величине \mathbf{E} , модулем которой является энергия E , приведено уравнение, связывающее между собой эти величины:

$$d\mathbf{S} = \mathbf{E}dt. (1)$$

В этом уравнении действие \mathbf{S} считается векторной величиной. Единица и размерность действия естественно вытекают из этого уравнения.

Произведение изменения векторной величины на интервал времени называют в физике изменением импульса этой величины. В механике, например, физическую величину $d\mathbf{S} = \mathbf{F}dt$, аналогичную по структуре величине $d\mathbf{S} = \mathbf{E}dt$ из уравнения (1), называют изменением **импульса силы \mathbf{F}** . Так что по аналогии можно сказать, что изменение действия $d\mathbf{S}$ является **импульсом движения \mathbf{E}** .

3. Современное объяснение физического содержания действия.

Физическое содержание действия S сейчас раскрывается, например, приведенным в Википедии определяющим уравнением:

$$S = \int_t L_n(q_n, dq_n/dt, t) dt \quad (2)$$

где n – число координат состояния физической системы; q_n – координата состояния n -ой формы движения в системе; dq_n/dt – координата состояния n -ого процесса в n -ой форме движения в системе; L_n – функция Лагранжа, имеющая в данном случае смысл суммы энергообменов dW_n во всех формах движения физической системы. То есть L_n аналогична модулю движения E из уравнения (1) и потому имеет размерность энергии.

Уравнение (2) дает возможность сформулировать физическое содержание действия следующим образом: **действие S – это суммарное количество изменений энергообмена dW_Σ в течение определенного промежутка времени dt** . Поэтому уравнение (2) можно записать и в таком виде:

$$S = \int_t (\int_n dW_n) dt = \int_t dW_\Sigma dt. \quad (3)$$

В классической механике вводят понятие “упрощенное действие”, которое соответствует действию при прямолинейном движении энергоносителей и определяется уравнением:

$$S_0 = \int_t \mathbf{p} \cdot \mathbf{v} dt, \quad (4)$$

где \mathbf{p} – импульс движущегося энергоносителя; \mathbf{v} – скорость прямолинейного движения движущегося энергоносителя.

4. Величина "действие" при вращательном движении.

Упрощенное действие можно применить и при описании вращательного движения, при котором оно будет определяться уравнением:

$$S_0 = \int_t \mathbf{L}_z \cdot \boldsymbol{\omega} dt, \quad (5)$$

где \mathbf{L}_z – вектор собственного углового момента вращающегося

энергонасосителя; ω – вектор собственной угловой скорости вращения вращающегося энергонасосителя.

5. Величина "действие" в квантовой механике

В квантовой механике определяющие уравнения для действия выглядят наиболее просто:

$$S = h\nu \quad (6)$$

и

$$S = \hbar\varphi, \quad (7)$$

где h – постоянная Планка; ν – частота волновой функции; $\hbar = h/2\pi$ – редуцированная постоянная Планка; φ – фаза волновой функции.

В разделе, посвященном уравнениям состояния, приводятся уравнения для изменения энергообмена dW как в виде скалярных произведений $(\Delta P_i dq_i)$, так и в виде векторных произведений $(\Delta \mathbf{P}_i d\mathbf{q}_i)$, в которых ΔP_i (или $\Delta \mathbf{P}_i$) – разности потенциалов между системой и окружающей ее средой. После их подстановки в уравнение (3) вместо dW_Σ легко прийти к уравнениям (4-7).

6. Действие как векторная величина.

Если в уравнении (3) учесть направление движения энергонасосителей с помощью орта нормали к их потоку \mathbf{n}_{ds} , то уравнение для векторного изменения действия $\Delta \mathbf{S}$ можно записать в виде:

$$\Delta \mathbf{S} = \int_t (dW \mathbf{n}_{ds}) dt. \quad (8)$$

Уравнение (8) позволяет по-новому взглянуть на физическое содержание принципа наименьшего действия. Оно заключается в том, что *движение физической системы стремится не просто к наименьшему значению изменения энергообмена dW или к наименьшему промежутку времени dt , затраченному на это, а к наименьшему значению их произведения, то есть к наименьшему возможному изменению действия*. А теперь сравним уравнение (8) с известным в классической механике уравнением для определения **импульса силы**, который даже обозначается тем же символом,

$$\mathbf{S} = \int_t \mathbf{F} dt, \quad (9)$$

а также с уравнением для определения **импульса вращающего момента**:

$$\mathbf{S}_M = \int_t \mathbf{M} dt. \quad (10)$$

Простое сравнение уравнений (9) и (10) с уравнением (8) позволяет говорить о том, что вектор $\Delta \mathbf{S}$ из уравнения (8) можно назвать **импульсом действия**.

Вывод: изменение импульса силы $d\mathbf{S}$ и равное ему изменение импульса $d\mathbf{p} = m d\mathbf{v}$ при прямолинейном движении, а также изменение импульса вращающего момента $d\mathbf{S}_M$ и равное ему изменение момента импульса $d\mathbf{L} = R d\mathbf{p}$ (где R – радиус кривизны траектории движения) можно считать частными случаями изменения импульса действия $d\mathbf{S}$. Вытекающий отсюда вывод: ***изменение действия $d\mathbf{S}$ является векторной величиной.***

Этот вывод совпадает с выводом, приведенным выше, а также в разделе о движении и энергии, где указывается на то, что движение \mathbf{E} является векторной величиной, модулем которой является энергия E . И тогда изменение движения $d\mathbf{E}$ описывается уравнением $d\mathbf{E} = \mathbf{S} dt$. Поэтому вполне естественно, что **сила \mathbf{F} и вращающий момент \mathbf{M} являются частными случаями действия \mathbf{S} .**

Действие, приходящееся на единичный энергоноситель, отличается от действия \mathbf{S} лишь своей размерностью и единицей. Единичный энергоноситель является структурным элементом какого-то множества и имеет размерность C и (условно) единицу квант (см. раздел, посвященный числу структурных элементов, как основной величине, и статью И.Когана, 2011).

Литература

1. Коган И.Ш., 2011, Число структурных элементов как основная физическая величина. – “Мир измерений”, **8**, с.с. 46-50.
2. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.

4.4.8. Обобщенное уравнение для расчета мощности

Обобщенное определяющее уравнение для расчета мощности

Мощность по стандарту обозначается символом P (в учебниках иногда символом N). Приведем определение мощности из БСЭ: “*физическая величина, измеряемая отношением работы к промежутку времени, в течение которого она произведена*“. Приведенное определение является словесной формулировкой уравнения

$$P = dA/dt, (1)$$

где dA – элементарная работа, производимая за элементарный промежуток времени dt . Однако за этой словесной формулировкой не просматривается физическое содержание мощности.

Уравнение (1) приемлемо для расчета мощности в механике, где под A понимается работа силы при прямолинейной форме движения. В других формах движения работа может обозначаться другим символом. Поэтому **обобщенным уравнением** для расчета мощности в любой форме движения является другое, близкое к (1) уравнение:

$$P = dW/dt, (2)$$

где dW – приращение энергии потока энергоносителей любой формы движения, проходящего через контрольную поверхность системы. Таким образом, **мощность P – это мгновенное значение энергии потока энергоносителей.**

Определяющее уравнение мощности в теории физических аналогий

Основные положения теории физических аналогий изложены на страницах исторического обзора проблемы систематизации физических величин, посвященной динамическим аналогиям Г.Ольсона (1943, 1966).

В понятиях, близких к энергодинамике, теория динамических аналогий изложена у В.Костышина (2000). У этого автора поведение каждой формы движения “*характеризуется парой сопряженных фазовых*

переменных (Φ_{II}), которые имеют соответственно «силовой», типа потенциала (Φ_C), и «скоростной», типа потока (Φ_{II}), характер, произведение которых равно мощности N ». В.Костышин приводит такое определяющее уравнение для мощности, используя введенные им обозначения:

$$N = \Phi_C \Phi_{II}, \quad (3)$$

где

$$\Phi_C = dA/d\xi \quad (4)$$

и

$$\Phi_{II} = d\xi/dt, \quad (5)$$

а ξ – обобщенная координата формы движения. Если использовать более понятную символику и терминологию, то аналогом потенциала Φ_C является разность потенциалов ΔU , для определения которой существует уравнение

$$\Delta U = (dW/dq) \mathbf{e}_{dw}, \quad (6)$$

заменяющее уравнение (4). В уравнении (6) dq – приращение обобщенной координаты состояния формы движения. Аналогом потока Φ_{II} является поток энергоносителей

$$\mathbf{I} = dq/dt. \quad (7)$$

Скалярные величины из уравнений (4) и (5) заменяются векторными величинами из уравнений (6) и (7). В итоге уравнение (3) заменяется скалярным произведением векторных величин

$$P = \Delta U \mathbf{I}. \quad (8)$$

Недостаток определяющего уравнения мощности из теории физических аналогий

Уравнение для расчета мощности (8) применяется достаточно часто. Наиболее хорошо знакомы с ним в механике в записи $P = \mathbf{F}\mathbf{v}$, где \mathbf{F} – сила, а \mathbf{v} – скорость тела, и в электромагнетизме в виде $P = \Delta U \mathbf{I}$, где

ΔU - разность электрических потенциалов, а I - электрический ток.

Недостатком применения уравнений (3) и (8) является то обстоятельство, что на них базируется одна неверная тенденция, существующая в теории физических аналогий, подробно описанная в разделе, посвященном физическим аналогиям. Она заключается в том, что в современной теории физических аналогий нет четкости в определении того, что является причиной, а что следствием.

Обобщенное уравнение для расчета мощности (2) определяется по основным физическим величинам, поэтому оно первично, тогда как уравнения (3) и (8) определяются по производным физическим величинам, и поэтому вторичны.

Литература

1. Костишин В.С., 2000, Застосування теорії розмірностей для встановлення точних фізичних аналогій. – Івано-Франківськ, Методи та прилади контролю якості. №6.- с. с. 69-72.
2. Olson H.F., 1943, Dynamical analogies. – New York, D. Van Nostrand Co. (Русский перевод: Ольсон Г., 1947, Динамические аналогии. –М.: ИЛ.)
3. Olson H.F., 1966, Solution of Engineering Problems by Dynamical Analogies. – New York, D. Van Nostrand Co.

4.4.9. Систематизация законов сохранения

Обобщенное уравнение энергообмена.

Обобщенное уравнение энергообмена (И.Коган, 1998) в скалярной форме было опубликовано в таком виде:

$$\sum_{i=1}^n \left(\sum_{k=0}^m a_{ki} \frac{d^k q_i}{dt^k} \right) dq_i = dW \quad (1)$$

где n – число форм движения (форм энергии) в системе; k – порядок производной по времени в обобщенном уравнении динамики; m –

число учитываемых видов энергии в форме энергии; a_i – конструктивный параметр i -ой формы движения.

В проточных системах изменение координаты состояния dq_i на входе в систему компенсируется изменением координаты состояния dq_i другого знака на выходе из системы. Поэтому в проточных системах изменение координаты состояния системы dq_i *отсутствует*. Имеет место лишь процесс перемещения энергоносителей через проточную систему.

Как поясняется в статье, посвященной разностям потенциалов между системой и средой, в непроточных системах следует применять сумму скалярных произведений векторных величин:

$$dW = \sum_i \Delta P_i dq_i . (2)$$

где ΔP_i – векторная разность потенциалов; dq_i – перемещаемая координата состояния.

Вариант записи обобщенного уравнения энергообмена.

Разделив и умножив уравнение (2) на dt , получим уравнение:

$$dW = \sum_i (\Delta P_i dt)(dq_i / dt) . (3)$$

Первый сомножитель в уравнении (3) является векторным приращением **импульса разности потенциалов** dS_i в i -ой форме движения, определяемого уравнением:

$$dS_i = \Delta P_i dt . (4)$$

А под производной (dq_i / dt) понимается скорость перемещения энергоносителей через систему. В итоге уравнение (3) можно записать в виде:

$$dW = \sum_i dS_i (dq_i / dt) . (5)$$

Уравнение (5) показывает, что изменение энергообмена системы и среды можно приравнять сумме произведений **импульсов разностей потенциалов** на скорости перемещения энергоносителей всех форм движения через контрольную поверхность системы.

Различные законы сохранения – следствия закона сохранения энергии

В современной физике считается общепризнанным, что в природе существуют три основных закона сохранения: энергии, импульса и момента импульса. Покажем, что из обобщенного уравнения энергообмена вытекает только закон сохранения энергии, а другие законы сохранения вытекают из этого уравнения лишь в качестве частных случаев при пренебрежении какими-то видами и формами энергии. Приведем ряд примеров.

Закон сохранения механической энергии

Пусть изменение энергообмена происходит только в одной форме движения – механической, в которой рассматриваются только два вида энергии – кинетическая и потенциальная. Тогда уравнение (1) сокращается до уравнения, из которого вытекает закон сохранения энергии в механической форме движения.

Закон сохранения импульса разности потенциалов

Рассмотрим уравнение (5) в том случае, когда имеет место энергообмен между видами энергии внутри отдельно взятой i -ой формы движения, например, энергообмен между потенциальной и кинетическими энергиями. При $dW = 0$ такое возможно лишь в случае, если приращение импульса разности потенциалов $dS_i = 0$, а $S_i = \text{const}$. Последнее равенство представляет собой закон сохранения импульса разности потенциалов в отдельно взятой i -ой форме движения. Частным случаем является **закон сохранения импульса силы**.

Закон сохранения импульса движущегося тела

В механической прямолинейной форме движения приращение импульса разности потенциалов dS (приращение импульса силы F) равно сумме приращений импульсов трех противодействующих сил: импульса силы жесткого сопротивления, импульса силы диссипативного сопротивления и импульса силы инерции. В том случае, когда импульсами двух первых сил можно пренебречь, приращение импульса силы dS_F становится равным приращению импульса силы инерции. И лишь это приращение равно приращению

импульса тела $d\mathbf{p}$.

Лишь в этом частном случае при $d\mathbf{S}_F = 0$ становится равным нулю и приращение импульса тела, то есть $d\mathbf{p} = 0$, и тогда $\mathbf{p} = \text{const}$. Последнее равенство и есть не что иное, как общеизвестный **закон сохранения импульса** прямолинейно движущегося тела. Таким образом, закон сохранения импульса выполняется только в механической прямолинейной форме движения, а внутри этой формы движения касается только одного вида энергии – кинетической энергии.

Отсюда следует, что неверно говорить о всеобщности закона сохранения импульса. Следует иметь в виду, что речь идет только о прямолинейном движении, да еще при пренебрежении деформацией тела и диссипативным сопротивлением окружающей среды. Так что о всеобщности закона сохранения импульса можно говорить лишь с большим приближением.

Закон сохранения углового момента собственного вращения тела

В механической вращательной форме движения приращение импульса разности потенциалов (импульса вращающего момента) $d\mathbf{S}_M$ равно сумме приращений импульсов трех противодействующих моментов: импульса момента жесткого сопротивления, импульса момента диссипативного сопротивления и импульса момента инерции. В том случае, когда импульсами двух первых моментов можно пренебречь, приращение импульса вращающего момента $d\mathbf{S}_M$ становится равным приращению импульса момента инерции, которое, в свою очередь, равно приращению углового момента $d\mathbf{L}_z$.

В этом частном случае при $d\mathbf{S}_M = 0$ становится равным нулю приращение углового момента, то есть $d\mathbf{L}_z = 0$, и, следовательно, $\mathbf{L}_z = \text{const}$. Так мы приходим к **закону сохранения углового момента** вращающегося тела. Таким образом, закон сохранения углового момента выполняется только во вращательной форме движения, а внутри этой формы движения касается только одного вида энергии – кинетической энергии.

Закон сохранения момента импульса тела, движущегося по орбите

Так как широко применяющийся в физике **закон сохранения момента импульса** выводится с помощью закона сохранения углового момента,

то о всеобщности закона сохранения момента импульса тоже можно говорить лишь с большим приближением.

Механическая орбитальная форма движения состоит из различного сочетания двух предыдущих форм движения: прямолинейной и вращательной. В орбитальной форме движения к **закону сохранения момента импульса** мы приходим как при условии пренебрежения моментом жесткого сопротивления и моментом диссипативного сопротивления, так и при условии пренебрежения собственным моментом инерции тела, движущегося по орбите (спином).

Первое начало термодинамики

Если предположить, что изменение энергообмена системы происходит только в двух формах движения: механической и тепловой, и при этом процесс энергообмена рассматривается только для равновесной системы (изменения видов энергии не рассматриваются), то уравнение (2) сокращается до уравнения, именуемого **первым началом термодинамики**.

Закон сохранения заряда

Разность потенциалов ΔP из уравнения энергообмена в форме (2) можно раскрыть с помощью обобщенного уравнения динамики (уравнения переходного процесса). Приравнивание нулю приращения разности потенциалов в этом уравнении приводит к **закону сохранения обобщенной координаты состояния**, частным случаем которого является **закон сохранения обобщенного заряда**. А частными случаями последнего являются **закон сохранения электрического заряда** и **закон сохранения гравитационного заряда (закон сохранения массы)**.

Некоторые выводы

Как видно из приведенных примеров, нельзя рассматривать законы сохранения импульса тела и момента импульса тела, как самостоятельные законы наравне с законом сохранения энергии, так как они выводятся из закона сохранения энергии при существенных упрощениях. Поэтому, в частности, законы сохранения импульса тела и момента импульса тела, прекрасно работающие в микромире, нельзя переносить в макромир, не рассмотрев возможность учета

сжимаемости тел и диссипативного сопротивления окружающей среды.

Несомненно, что те многочисленные законы сохранения, которые применяются в физике, в частности, в атомной физике, тоже являются следствиями закона сохранения энергии.

4.5. Физические поля

4.5.1. Физические поля (поля взаимодействия и поля переноса)

1. Краткая история определений понятия "физическое поле".

Определение понятия "физическое поле" исторически неоднократно менялось. Этот исторический процесс исчерпывающе и кратко рассмотрено в монографии О.Репченко (2008). В XIX веке под "физическим полем" понимали сплошную среду, которая могла перетекать и вращаться. Такую среду называли **эфиром**, в котором возмущения создаются находящимися в эфире материальными объектами (заряженными системами). **Пространства, окружающие заряженные системы, часто называют оболочками этих систем**. Считается, что эти оболочки взаимодействуют друг с другом, а их взаимодействие обеспечивается с помощью полевой среды. В теории эфира физическое поле представляется, как сплошная среда, находящаяся в неравновесном состоянии под воздействием заряженных систем.

В XX веке теорию эфира отвергли, заменив ее математической теорией пустого четырехмерного пространства-времени. В рамках этой теории, как сказано в современной Википедии: "*поле в физике — одна из форм материи, характеризующая все точки пространства и времени, и поэтому обладающая бесконечным числом степеней свободы*". **Возникла квантовая теория поля**, которая заменила динамику сплошной среды **перемещением в пустом пространстве дискретных переносчиков взаимодействия заряженных систем**. Пространство, в котором находятся заряженные системы, стали

называть **физическим вакуумом**. Однако еще в середине века Р.Фейнман (1964) утверждал: "*Самая правильная точка зрения - это самая отвлеченная: надо просто рассматривать поля как математические функции координат и времени*". **Из чего следует, что поле не является частью материи.**

Конец XX века и начало XXI века ознаменовались стремлением некоторых авторов к возврату теории эфира (В.Ацюковский, 2003). Некоторые ученые стали называть эфир иначе, например, **гравитонной средой** (В.Пакулин, 2004, 2010), то есть **средой, состоящей из материальных объектов, называемых гравитонами**. О.Репченко (2008) объединил все эти термины термином **полевая среда**. Он, в частности, указывает, что сейчас под термином "физическое поле" "*понимают некоторого посредника, благодаря которому действие от одного тела передается к другому на расстоянии*". На вопрос о том, является ли поле математической функцией или материальным объектом, общепризнанного ответа нет.

И. Коган считает справедливым утверждение Р.Фейнмана. **Физическое поле нельзя считать формой материи, поле это система уравнений, определяющая состояние среды и взаимодействие физических систем в среде.**

2. Два разных варианта физического поля

В теории векторного анализа различают два вида поля (И.Броштейн, к.Семендяев, 1986, с. 391): скалярное и векторное, в зависимости от того, какая величина ставится в соответствие каждой точке пространства: скалярная или векторная.

Вследствие неравномерного распределения параметров сплошной среды, например, вследствие неравномерности плотности частиц, составляющих среду, или вследствие различия термодинамических температур возникает скалярное поле. Но его можно рассматривать и как векторное поле, если к каждой точке поля ставить в соответствие вектор, направленный от точки с большим значением величины к точке с меньшим значением величины. В этом случае появляются силы, стремящиеся устранить неравномерность среды путем **переноса** частиц среды.

Неравновесное состояние полевой среды может быть также следствием наличия в векторном поле полеобразующей заряженной системы

(заряженного тела) другой заряженной системы. В этом случае появляются **силы взаимодействия** этих систем друг с другом.

Наличие сил взаимодействия заряженных систем привело к появлению понятия “**силовое поле**”. Но это понятие не может полностью заменить понятие “**физическое поле**”. Ведь состояние любого участка среды, в принципе, может определяться полем одной заряженной системы, находящейся на этом участке. И при этом можно рассматривать только напряженность в оболочке этой заряженной системы, не рассматривая силы ее взаимодействия с другими системами.

Таким образом, понятие "физическое поле" объединяет сейчас названия двух вариантов неравновесного состояния среды, которые следует поэтому и называть по-разному, например, **полем взаимодействия** и **полем переноса**. **Различие между ними состоит в том, что в полях взаимодействия имеются заряженные (обладающие зарядом) системы, а в полях переноса таких систем нет.**

Состояния среды в обоих случаях характеризуются потенциалами, но определяемыми разными уравнениями. В поле взаимодействия **потенциал поля** обозначается символами φ (скалярная величина в центральном поле) или \mathbf{A} (векторная величина в вихревом поле). В поле переноса рассматривается **потенциал системы**, не имеющий пока общепринятого символа. В термодинамике его обозначают символом P , который и применяется в данной работе.

Между полем взаимодействия и полем переноса имеется одно очень важное различие. Поле взаимодействия при неравновесном состоянии среды характеризуется **градиентом потенциала поля (напряженностью поля)** $\mathbf{E} = \text{grad } \varphi$, а неравновесное состояние среды в поле переноса характеризуется **разностью потенциалов** ΔP внутри неравновесной системы между потенциалами подсистем, находящихся в разных местах системы. Градиент потенциала и разность потенциалов имеют различные размерности: Размерность градиента потенциала является размерностью разности потенциалов, к которой добавлена размерность L^{-1} .

3. Описание поля взаимодействия

Вокруг любой заряженной системы (заряженного тела) возникает неравновесное состояние среды. На том участке среды, где наиболее

сильно ощущается неравновесное состояние (в оболочке заряженной системы), создаются местные потоки квантов среды. **В зависимости от характера этих потоков возмущенную область (оболочку системы) называют электрическим полем, магнитным полем, гравитационным полем, полем ядерных сил и проч.**

Поле взаимодействия представляют в физике в виде **векторного поля неравномерного распределения физической величины**, называемой **потенциалом поля**, градиент которого называют **напряженностью поля**. **Потенциал поля является скалярной величиной, градиент потенциала (напряженность поля) всегда величина векторная**. Произведение напряженности поля на величину **заряда системы**, внесенной в поле, является **силой взаимодействия** этой системы с полеобразующей системой.

В разделе, посвященном **уровневой физике, электромагнитным полем** В.Пакулиным (2011) назван отдельный уровень на схеме уровневого строения структуры материи. В.Пакулин полагает, что на этом уровне должны находиться все поля взаимодействия, поскольку природа их взаимодействия одна и та же: **гидродинамическое взаимодействие вихревых объектов оболочек заряженных систем, состоящих из одних и тех же частиц – гравитонов**. По нашему мнению, называть данный уровень словами "электромагнитное поле" не следует, так как уровень материи характеризуется средой, а не полем, которое возникает в этой среде.

4. Описание поля переноса

Как уже было сказано, **поле переноса** – это поле неравномерного распределения скалярной физической величины, называемой **потенциалом системы**. В поле переноса рассматривается векторная **разность локальных потенциалов** подсистем внутри системы. В отличие от поля взаимодействия, **в поле переноса не рассматривается такое понятие, как заряд**.

Силы, воздействующие на материальные **энергоносители**, находящиеся в поле переноса, возникают как следствие наличия разности потенциалов. К разностям потенциалов в поле переноса относятся, например, перепад давлений в гидравлической форме движения, температурный напор в тепловой форме движения, разность плотностей или разность концентраций в диффузионной форме движения.

В.Эткин (2005) называет разности потенциалов в поле переноса “**термодвижущими силами**“, этот термин введен в 1931 г. Л.Онзагером. Эти “силы“ вынуждают энергоносители перемещаться с целью устранения неравномерного распределения потенциалов в поле переноса. “Термодвижущие силы“ являются не градиентами потенциала, а разностями потенциалов, а у градиента потенциала и у разности потенциалов физическое содержание разное и размерности разные. Поэтому в данном случае термин “сила“ применен В.Эткиным, на наш взгляд, неудачно, так как разности потенциалов не всегда имеют размерность силы. Вместо термина “термодвижущая сила“ лучше применять термин “**разность потенциалов“ поля переноса**“. Примеры разностей потенциалов полей переноса рассматриваются в разделе, посвященном явлениям переноса.

5. Обобщенное поле взаимодействия

В работе И.Когана (2006) высказано мнение о том, что все модели физического поля взаимодействия являются моделями обобщенного физического поля и поэтому подчиняются одним и тем же обобщенным закономерностям. А также высказано мнение о том, что разнообразие форм описания физического поля является всего лишь разнообразием различных моделей обобщенного физического поля. Эта точка зрения совпадает со взглядом на эту проблему сторонников уровневой физики (например, С.Кадырова, 2001). Она отражена в одном из основных условий успешной систематизации физических величин – в условии аналогий.

Проблема “Великого объединения“, под которым физики понимают создание единой теории всех форм описания физических полей взаимодействия, предполагает создание теоретических моделей, единым образом описывающих сильное, электромагнитное и слабое взаимодействия элементарных частиц. Нобелевский лауреат С.Вайнберг (1999) пишет: “Одна из главных задач физики постигнуть замечательное разнообразие природы единым способом“. И далее: “Объединение разнородных явлений в одной теории уже долгое время является центральной темой физики“. Однако, само название статьи С.Вайнберга “Единая Физика к 2050?“ говорит о том, что решение этой проблемы в отношении физических полей взаимодействия, по мнению этого ученого, следует ожидать не скоро.

Содержание работ С.Кадырова (2001) и О.Репченко (2008) по

созданию единой теории полей взаимодействия и В.Пакулина (2004, 2011) по созданию единой модели строения структуры вещества позволяет надеяться на то, что проблема “**Великого объединения**“ может быть решена раньше 2050 г., если только отказаться от математического формализма физических теорий XX века и вернуться к рациональному взгляду на явления природы, характерному для классической физики XIX века.

Одной из альтернатив поиска решения проблемы “Великого объединения“, по мнению В.Эткина (2005), служит **создание комплекса уравнений, обобщающих поведение всех термодинамически неравновесных систем**. По нашему мнению, энергодинамика в трактовке В.Эткина является не альтернативой “Великому объединению“ полей взаимодействия, а другим, но также плодотворным взглядом на природу физических полей переноса. Энергодинамика, в частности, подтверждает необходимость раздельного рассмотрения природы полей взаимодействия и полей переноса.

Литература

1. Ацоковский В.А., 2003, Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. 2-ое изд. – М.: Энергоатомиздат, 584 с.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А., 1986, Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. 13-е изд. – М.: Наука, Физматгиз. 544 с.
3. Вайнберг С., 1999, Единая Физика к 2050? - <http://www.scientific.ru/journal/weinberg/weinberg.html>
4. Кадыров С.К., 2001, Всеобщая физическая теория единого поля. – Бишкек: “Кыргыз Жер“, №1, также <http://www.newphysics.h1.ru/Kadyrov/Kadyrov-contents.htm>.
5. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
6. Пакулин В.Н., 2004, Структура материи. 2004 – <http://www.valpak.narod.ru>
7. Пакулин В.Н., 2011, Структура материи. Вихревая модель микромира. – Санкт-Петербург, НТФ "Истра".
8. Репченко О.Н, 2008, Полевая физика или Как устроен мир? Изд. 2-е – М.: Галерея, 320 с.
9. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., 1965 - 1977, Фейнмановские лекции по физике, в 9 томах, т.5. "Электричество и магнетизм". с.15.

М., “Мир”.

10. Эткин В.А., 2005, Альтернатива “Великому объединению“. – http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/optjahvelikogoobiedinenija.shtml

4.5.2. Определение и содержание понятия "заряд"

1. Неопределенность понятия “заряд” в современной физике.

Термин “заряд“ применяется часто и в разных областях. Мы ограничимся определением понятия “заряд системы“ (или "заряд тела") относительно к той форме физического поля, в которой находится заряженная система.

Понятие "заряд" в современной физике имеет два неадекватных значения: заряд как физический объект и заряд как физическая величина. Однако внимание на этом важном различии обычно не акцентируется. Фактически же **физическая величина** является **свойством физического объекта**, то есть **понятием, подчиненным по отношению к физическому объекту**. Каково физическое содержание заряда, как физического объекта, современная физика не определяет.

Нередко можно услышать, и даже прочесть в учебниках, что современная физика не знает, что такое заряд. Действительно, общепринятое определение заряда нами в литературе не обнаружено, более того, встречаются суждения о том, что заряд определить невозможно. Лишь в интернетовской Энциклопедии физики и техники найдено такое определение: **“Заряд – физическая величина, являющаяся источником поля, посредством которого осуществляется взаимодействие частиц, обладающих этой характеристикой“**.

Термин “заряд“ применяют, как правило, для названия физической величины "электрический заряд", являющейся источником электрического поля. Но этим термином часто называют два разные понятия: заряд электрически заряженного тела и заряд электрона (элементарный заряд). Но заряд тела – это суммарный заряд общего количества свободных электронов в заряженном теле. К

сожалению, термин “заряд” применяется и в том, и в другом случае без соответствующего разъяснения.

Устранить эту неопределенность можно, лишь уточнив терминологию. Рассмотрим три различных понятия:

1. “Единичный заряд”. Этот термин применяют обычно в электродинамике, имея в виду электрический заряд, равный 1 кулону. Однако логичнее применять этот термин к заряду, который нельзя разделить на части без изменения его физического содержания, то есть к **неделимому заряду**.

2. “Элементарный заряд”. Этот термин применяют в электродинамике, имея в виду не делящийся на части объект, то есть **электрон**. Однако с точки зрения математики слово “элементарный” должно означать бесконечно малое количество единичных зарядов. Но в электродинамике под термином “элементарный заряд” понимают именно один неделимый (единичный) заряд. И это стало настолько общепринятым, что изменять содержание понятия “элементарный заряд” уже нецелесообразно.

3. “Заряд системы” (“заряд тела”). Обычно под этим понимают суммарное количество элементарных зарядов проводника, то есть суммарный заряд заряженной системы или заряженного тела. Отсутствие уточняющего слова рядом со словом “заряд” и приводит к неопределенности при применении понятия “заряд”.

А.Вейник (1968) ввел понятие “**заряд формы движения**“, равнозначный понятию “**координата состояния формы движения**“, но между этими понятиями имеется принципиальное различие. Например, такая координата состояния, как перемещение, не может иметь свою единичную форму в виде точки на траектории, как это предложил, например, Д.Ермолаев (2008). **Точка это математическая абстракция, а не реальный материальный объект, тогда как единичный заряд должен быть вполне реальным.**

Материальные объекты, характеризующие систему и движение, как правило, являются координатами состояния сразу для нескольких форм движения или, в терминологии А.Вейника, содержат несколько разных зарядов. Например, ион имеет и массу, и электрический заряд. Поэтому А.Вейник называл подобные материальные объекты “**ансамблями зарядов**”.

2. Определения заряженной системы и заряда системы.

Любое физическое поле взаимодействия создается физической системой (заряженным телом), содержащей определенное количество единичных зарядов. Поэтому физическую систему, содержащую какое-то количество единичных зарядов, следует называть **заряженной системой** или **заряженным телом**, которому можно дать такое определение: ***Заряженная система – это физический объект, формирующий в окружающем его пространстве напряженное состояние физического поля.*** Данное определение не исключает возможности того, что заряженная система может содержать один единичный заряд.

Заряд системы – это свойство заряженной системы, как **физического объекта**. Отсюда вытекает следующее определение: ***Заряд системы – это физическая величина, равная произведению единичного заряда на количество единичных зарядов, содержащихся в заряженной системе.*** Поэтому нельзя понимать под термином “заряд” одновременно и заряд системы, и единичный заряд.

Чтобы избежать путаницы в символике при обозначении заряда как физической величины, в данной работе применяется единый символ, а принадлежность к той или иной форме описания физического поля определяется нижним индексом в соответствии с принятой системой индексов, что проиллюстрировано в Таблице величин физического поля. Заметим, что у **заряда системы** и у **единичного заряда разные размерности**, так как заряд системы равен произведению единичного заряда на количество единичных зарядов, имеющее размерность числа структурных элементов (количества считаемых величин в обновляемой СИ).

3. Заряд системы – основная или производная физическая величина?

Этот вопрос волновал умы физиков и метрологов с момента открытия законов взаимодействия заряженных тел и продолжает волновать сейчас. Исчерпывающий анализ истории этой проблемы дан в монографиях А.Власова и Б.Мурина (1990) и Г.Трунова (2006). Изложим выводы из этого анализа.

Если в системе единиц принять единицу заряда в качестве единицы условной основной величины, то законы Кулона и Ньютона, которые определяют силы взаимодействия заряженных тел по значениям их зарядов, следует рассматривать как опытные законы. И тогда в

уравнениях этих законов для выравнивания размерностей единиц должны присутствовать размерные коэффициенты. Такими размерными коэффициентами в СИ являются так называемые электрическая и магнитная постоянные. В системе единиц СГС законы Кулона, напротив, рассматриваются как уравнения, определяющие заряды тел по силе взаимодействия этих тел, то есть противоположно тому, как это делается в СИ. Поэтому заряд тела в системе СГС рассматривается как производная величина, а не как основная величина.

В разделе, посвященном энергии физического поля, указывается, что энергия напряженного состояния поля, окружающего полеобразующий заряд (энергия оболочки), зависит от значения заряда тела. Поэтому значение заряда тела зависит от энергии, сконцентрированной в вихрях, образующих единичные заряды. Заметим, **что энергия поля и энергия вихрей являются частными случаями естественной основной величины “энергия”, как обобщенной характеристики движения материи.**

Заряд системы, как физическая величина, и энергия, сконцентрированная в заряженной системе и в ее **оболочке** (в окружающей заряженную систему деформированной полевой среде), – это производные величины, в размерность которых должна входить размерность энергии, как основной величины. В рассматриваемой в данной работе системе величин заряд принят в качестве условной основной физической величины, и указаны причины этого. Об анализе размерностей законов взаимодействия заряженных тел рассказано в разделе, посвященном размерности заряда.

4. Различие между зарядом системы и координатой состояния формы движения.

Напряженное состояние физического поля, образованное заряженной системой, существует независимо от того, находится ли в поле, образованном этой заряженной системой, какая-либо другая физическая система. Если воздействие физического поля на заряженную систему в том месте, где находится эта система, пренебрежимо мало, то этим воздействием можно пренебречь. А вот пренебречь воздействием окружающей среды на координаты состояния различных форм движения системы нельзя. Из этого следует важный вывод о том, что **заряд системы и координата состояния формы движения системы – понятия не адекватные.**

Заряд системы может оказаться координатой состояния формы движения заряженной системы (например, электрический заряд в электрической форме движения), но это частный случай. Координата состояния формы движения системы – более обобщающее понятие, чем заряд системы, и в общем случае координата состояния может иметь другую размерность, нежели заряд системы.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Власов А.Д., Мурин Б.П., 1990, Единицы физических величин в науке и технике. – М., Энергоатомиздат, 176 с.
3. Трунов Г.М., 2006, Уравнения электромагнетизма и системы единиц электрических и магнитных величин. – Пермь, ПГТУ, 130 с.
4. Энциклопедия физики и техники.
http://femto.com.ua/articles/part_1/1199.html

4.5.3. Структура элементарного электрического заряда

Различие между зарядом системы и элементарным зарядом.

Заряженная система может иметь различную конфигурацию. В электродинамике заряженное тело из электропроводящего материала называют **уединенным проводником**. Считается, что все элементарные электрические заряды равномерно распределены по наружной поверхности проводника. **Элементарными электрическими зарядами считаются электрон (отрицательный заряд) и позитрон (положительный заряд)**. Знаки зарядов выбраны в физике условно.

Поверхность равной напряженности электрического поля такого проводника (**эквипотенциальная поверхность**) в непосредственной близости от проводника повторяет конфигурацию его внешней поверхности, но при достаточном удалении приобретает **сферическую форму**.

Высказано немало соображений по поводу того, какова модель электрона (или позитрона). В настоящее время в физике рассматривают эту модель в виде сферы радиусом a , по поверхности

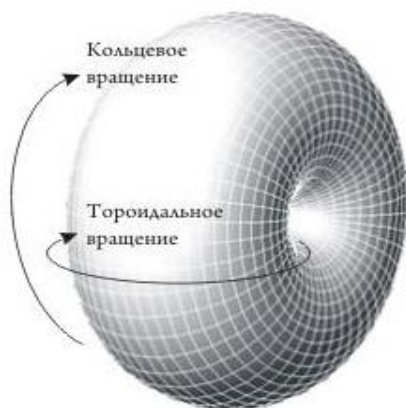
которой равномерно распределен заряд электрона, значение которого равно e (см., например, у Р.Фейнмана, 1977, т. 6, с. 206). Эта модель аналогична модели заряженного тела, но подобная модель плохо соответствует представлению об электроне, как об элементарном заряде. Действительно, если заряд электрона e имеет наименьшее возможное значение заряда, то непонятно, как этот элементарный заряд может быть раздроблен настолько, чтобы равномерно распределиться по поверхности сферы. А отрицание сферической модели электрона лишает смысла все теоретические выкладки, говорящие о существовании так называемой электромагнитной массы.

Новые представления о природе элементарного электрического заряда.

На рубеже XX и XIX веков стало развиваться новое научное направление: уровневая физика (например, О.Бондаренко, С.Кадыров, 2000, О.Бондаренко, 2005), на базе которой появились другие несферические модели элементарного электрического заряда (например, В.Пакулин, 2004, 2011, В.Ацюковский, 2003). Появилось убеждение, что **основной моделью для построения любой элементарной частицы** (нейтрино, фотона, электрона и др.) **является не сфера, а вращающийся тороид, сохраняющий свою энергию внутри себя, что соответствует соблюдению принципа наименьшего действия.** И что в основе всех силовых взаимодействий на уровне элементарных зарядов лежат законы гидродинамики.

Идею о вихревой природе носителя отрицательного электрического заряда – электрона – высказал еще М.Фарадей, говоря о вихревой трубке, ось симметрии которой совпадает с силовой линией электрического поля. **В данном разделе описывается модель элементарного электрического заряда, основанная на вихревой природе движения квантов электромагнитного поля (гравитонов), представленная В.Пакулиным (2004, 2011) и утверждающая о том, что электрон состоит из двух нейтрино, а позитрон состоит из двух антинейтрино, отличающихся друг от друга направлением вращения.**

Вихревая природа составных частей элементарного электрического заряда.



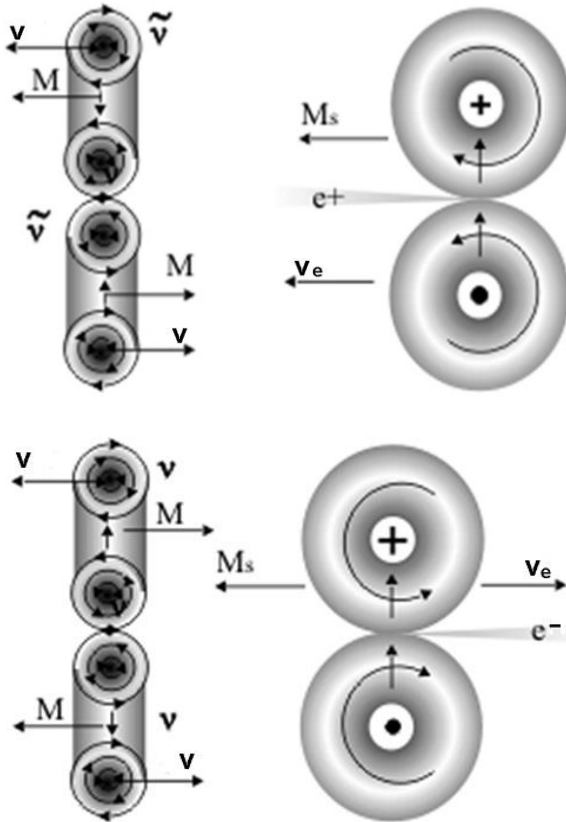
В работах В.Пакулина (2004, 2011) **нейтрино является торoidalным вихрем**, схематически показанным на рисунке. Нейтрино образуется из гравитонов (частиц **полевой среды**, называемой в современной физике физическим вакуумом) и обладает двумя вращательными формами движения: **торoidalным вращением** с постоянной

угловой скоростью вокруг свернутой в кольцо круговой оси симметрии и **кольцевым вращением** с переменной угловой скоростью вокруг продольной оси симметрии вихря.

Различие между нейтрино и антинейтрино заключается в разных направлениях угловой скорости кольцевого вращения. У нейтрино вращение левовинтовое, а у антинейтрино – правовинтовое. Направления спинов **M** (собственных угловых моментов) нейтрино и антинейтрино равны, но противоположны по знаку.

Гравитоны внутри нейтрино движутся по винтовым линиям (как электроны в проводе соленоида), но направление осевой составляющей скорости гравитонов, движущихся по этим винтовым линиям, зависит от направления угловой скорости кольцевого вращения. Подробнее о свойствах торoidalного вихря рассказано в статье, посвященной тороидам.

Вихревая природа электрона и позитрона



Электрон представляет собой комбинацию двух нейтрино, а позитрон – комбинацию двух антинейтрино. На левом рисунке представлено схематичное изображение электрона, а на правом рисунке – позитрона.

Электрон представлен в виде сочетания двух притягивающихся друг к другу сильным взаимодействием нейтрино ν , вращающихся вокруг оси, проходящей через точку их соприкосновения, а позитрон – в виде сочетания двух антинейтрино $\bar{\nu}$. Два нейтрино, вращающиеся вокруг общей оси, образуют электрон со спином M_s , вектор которого лежит в плоскости, перпендикулярной плоскости, в которой расположены векторы спинов нейтрино M .

Действуя по принципу шестеренчатого насоса, вращающиеся нейтрино при своем тороидальном вращении увлекают гравитоны полевой среды, образуя вращающийся в пределах определенного телесного угла лучевой вихрь. Этот вихрь у электрона левовинтовой исходящий, а у позитрона правовинтовой входящий. Лучевые вихри являются аналогами **зарядовых трубок** М.Фарадея. Их интенсивность и

определяет значение элементарного электрического заряда. Угловая скорость тороидального вращения нейтрино является величиной постоянной (фундаментальной физической константой). По этой причине значение элементарного электрического заряда также является фундаментальной физической константой.

Вихревая природа других физических объектов в природе.

Образование соленоидальных вихрей из частиц жидкой среды с последующим превращением их в тороидальные вихри имеет место не только на уровне микромира, но и на уровне макромира, например, в гидродинамическом пограничном ламинарном слое жидкости. Такие вихри в англоязычной литературе получили название **герпины**, что в переводе на русский язык означает «веретенообразные», они хорошо изучены и теоретически, и экспериментально.

Космология также представляет в наше распоряжение достаточно убедительные свидетельства образования вихрей на уровне звездных системы и галактик.

Приведенные примеры из электричества, гидродинамики и космологии подтверждают вывод уровневой физики (О.Бондаренко, 2005, В.Пакулин, 2004, 2011) о том, что природа обладает ограниченным числом приемов самоорганизации материи, повторяющихся на каждом уровне в разном качестве. Схема образования соленоидальных и тороидальных вихрей как раз и относится к числу таких основных приемов.

Литература

1. Ацюковский В.А., 2003, Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. 2-ое изд. – М.: Энергоатомиздат, 584 с.
2. Бондаренко О.Я., Кадыров С.К., 2000, Сравнительная характеристика некоторых положений традиционной физики и альтернативной физики. Сб. “Другая физика”, - <http://www.newphysics.h1.ru>.
3. Бондаренко О.Я., 2005, Уровневая физика. Что это? – Сборник статей, Бишкек, 96 с.
4. Пакулин В.Н., 2004, Структура материи. – <http://www.valpak.narod.ru>
5. Пакулин В.Н., 2011, Развитие материи (Вихревая модель

микромира). – Санкт-Петербург, НПО "Стратегия будущего", 121 с..
6. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., 1965 - 1977, Фейнмановские лекции по физике, в 9 томах. М.: "Мир".

4.5.4. Терминология зарядов физического поля

1. Слова, дополняющие термин "заряд".

Напомним, что под термином заряд (заряд системы, заряд тела), обычно сокращаемым до одного слова "заряд", понимается количество элементарных зарядов в заряженной системе. К понятию "заряд" в физике добавляют различные прилагательные, которые уточняют физическое содержание этого понятия.

При взаимодействии двух заряженных систем с существенно различающимися значениями зарядов этих систем применяются такие понятия, как полеобразующий заряд, полевой заряд, точечный заряд и пробный заряд.

Физическое поле имеет две формы его математического описания: центральное поле и вихревое поле. Соответственно этому могут применяться и два разных термина: **статический заряд** и **динамический заряд**. В качестве статического заряда электрического поля применяют понятие **электрический заряд**, а для гравистатического поля применяют понятие **гравитационный заряд**.

Динамический заряд, создающий вихревое поле, существует в двух вариантах: **движущийся заряд** (заряд заряженной системы, движущийся вместе с системой) и **токовый заряд** (неподвижная система, внутри которой движутся элементарные заряды).

Как видим, термин "заряд" без дополняющих слов выглядит неопределенно, и применение такого термина создает серьезные затруднения при преподавании.

О свойствах различных видов заряда рассказано в разделе, посвященном систематизации физических полей. В частности, там приведена подробная схема классификации зарядов физического поля.

2. Что такое полеобразующий заряд и полевой заряд?

Если значение одного из зарядов двух взаимодействующих заряженных физических систем существенно больше, чем значение другого заряда, то первый из них называют **полеобразующим зарядом**, а второй – **полевым зарядом** (см. первые две строки Таблицы величин физического поля).

С точки зрения взаимодействия полеобразующий заряд и полевой заряд равноправны, оба они создают физические поля, описывающие состояние среды, окружающей заряженные системы, и эти участки среды часто называют **оболочками** заряженной системы. Когда говорят о взаимодействии зарядов, то речь идет о взаимодействии оболочек физических систем, содержащих заряд. Но разделение этих двух понятий позволяет четче представлять себе, что от чего зависит, и неуклонно придерживаться принципа причинности.

О необходимости применения для этих двух понятий разных терминов говорят разные физики. Например, А.Пуанкаре еще в 1900 г. классифицировал полеобразующий гравитационный заряд как активную массу, а гравитационный полевой заряд как пассивную массу. Для полевого заряда в справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) применяют термин “заряд в поле”, похожий по звучанию на термин полевой заряд. Автор полевой физики О.Репченко (2008) ввел для полеобразующего заряда термин “частица-источник”, а для полевого заряда – термин “частица регистрации”.

Если значение полевого заряда ничтожно мало по сравнению с полеобразующим зарядом, то его в современной физике называют **точечным зарядом**, определяя его, как “*заряд, сосредоточенный на теле, линейные размеры которого пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием до других заряженных тел, с которыми он взаимодействует*”. Другими словами, **точечный заряд – это заряд материальной точки**. Применяется также понятие **пробный заряд**, которым называется такой точечный заряд, который условно не искажает исследуемое физическое поле. Однако термины “точечный заряд”, “пробный заряд” и “материальная точка” отражают математические абстракции и тем самым противоречат условию реальности. В связи с этим в данной работе они не применяются.

Заряд также называют **стационарным**, если его значение неизменно во времени, и **нестационарным**, если этой неизменности нет. Соответственно, и физические поля могут быть стационарными и нестационарными. Обратим только внимание на то, что в технической

литературе термин “стационарный” нередко понимают, как “неподвижный” в пространстве. По отношению к физическим полям термин “стационарный” следует понимать, как “не изменяющийся во времени”.

3. Что такое статический заряд?

Введение разных терминов "статический заряд" и "динамический заряд" призвано подчеркнуть различие между положением заряженной системы относительно начала координат системы отсчета. Если заряженная система неподвижна относительно системы отсчета, то ее заряд будем называть **статическим**. Правда, следует понимать только взаимную неподвижность заряженной системы и системы координат, а не отсутствие движения зарядов вообще. В общем случае в движении может находиться сама система отсчета. Статический полеобразующий заряд создает центральное физическое поле. Поэтому его называют обычно **зарядом центрального поля**.

Статический заряд заряженной системы состоит из какого-то количества элементарных зарядов. Если система однородна и находится в равновесном состоянии, то все элементарные заряды неподвижны относительно центра заряда системы. При нарушении равновесия внутри заряженной системы отдельные элементарные заряды становятся подвижными относительно центра системы на тот период, пока в системе происходит переходный процесс, после завершения которого заряженная система вновь приходит к равновесному состоянию.

Статический заряд системы является скалярной величиной.

Полеобразующий статический заряд будем обозначать символом Q , а полевой статический заряд - символом q . Изменение количества элементарных зарядов в системе также является скалярной векторной (dQ/dt или dq/dt). В электромагнетизме эти производные по времени нельзя считать электрическим током проводимости. Различие между обозначениями гравитационного и электрического статических зарядов в Таблице величин физического поля будет отмечаться нижним индексом: " g " или " e ".

4. Что такое динамический заряд?

Если элементарные заряды движутся, независимо от того, движутся ли они вместе с заряженной системой или относительно неподвижной заряженной системы внутри нее, то заряд системы будем называть **динамическим зарядом**. Поскольку любая физическая величина, характеризующая движение, является величиной векторной, будем обозначать динамический заряд символами **Q** (полеобразующий динамический заряд) и **q** (полевой динамический заряд).

Динамический заряд создает вихревое поле. В зависимости от взаимосвязи единичных зарядов с заряженной системой можно рассматривать две разновидности динамического заряда:

1. Если единичные заряды неподвижны вместе с заряженной системой и при этом неподвижны относительно нее, то заряд системы называют **движущимся зарядом**. Движущийся прямолинейно полеобразующий заряд определяется формулой $Q = Qv$, где $v = dl/dt$ – скорость движения заряженной системы, а dl – линейное перемещение системы. Движущийся прямолинейно полевой заряд определяется формулой $q = qv$.

2. Если единичные заряды перемещаются через неподвижную систему, то их перемещение внутри этой системы называют потоком элементарных зарядов, сокращенно **потоком зарядов**. В современной физике в термине “поток зарядов“ отсутствует слово “элементарных“, и это вводит в заблуждение, так как неясно, что движется. Поэтому в данном случае для указанной разновидности динамического заряда следует применять собственный термин, будем называть его **токовым зарядом**. В современной физике понятие “токовый заряд“ отсутствует, и это создает немалые методологические затруднения. Поэтому этот термин рассмотрим дополнительно и более подробно.

5. Новое понятие – токовый заряд.

В случае прямолинейного движения элементарных электрических зарядов через неподвижную систему будем говорить о **токовом заряде прямого тока**, определяемом выражением (il) , где **i** – электрический ток как векторная величина, l – длина прямолинейного участка проводника. Слова “прямого тока“ часто опускаются, так как перемещение элементарного заряда предполагается прямолинейным. Аналогичная, только скалярная величина под названием “токовый элемент“ в виде выражения (il) была ранее предложена А.Чуевым (2003).

В современной физике и метрологии определяющее уравнение для электрического тока выглядит неверно в виде $i = dq/dt$, в котором под dq подразумевается элементарное количество единичных зарядов, переносимых через любое сечение проводника за интервал времени dt . Как показано в разделе, посвященном электрическому току, скалярное выражение (dq/dt) может характеризовать только скорость изменения количества элементарных электрических зарядов в неподвижной системе.

Поток элементарных зарядов имеет направление, он характеризуется векторной величиной, определяемой уравнением $\mathbf{i} = d(q\mathbf{v})/dl$ или $\mathbf{I} = d(Q\mathbf{v})/dl$, в котором \mathbf{v} – скорость перемещения единичных зарядов вдоль проводника. Поэтому полеобразующий токовый заряд (прямого тока) будем обозначать выражением (\mathbf{I}) , а полевой токовый заряд будем обозначать выражением $(\mathbf{i}l)$.

Токовый заряд $(\mathbf{i}l)$ имеет ту же размерность, что и движущийся заряд $(q\mathbf{v})$, но эти две величины имеют разное физическое содержание. И движущийся, и токовый заряды создают вихревое физическое поле, но движущийся заряд движется вместе с создаваемым движущейся заряженной системой центральным полем, а в случае применения понятия "токовый заряд" речь идет о движении элементарных зарядов в неподвижной системе, которая не создает центрального поля.

6. К чему приводит отсутствие в физике понятия “токовый заряд“

Необходимость введения понятия “токовый заряд“ обусловлена тем, что в электродинамике скорости электронов внутри проводника не измеряются. Зато повсеместно измеряется поток электронов, проходящий через сечение проводника в единицу времени, и производная от него величина – электрический ток. В частности, ток входит в закон Био-Савара-Лапласа, записываемый в физике как $d\mathbf{B} = ki[d\mathbf{l} \times \mathbf{r}]/r^3$. В такой записи элементарный токовый заряд $(\mathbf{i}d\mathbf{l})$ присутствует в формуле неявно.

Однако токовый заряд $(\mathbf{i}l)$ является самостоятельной физической величиной, и поэтому выносить за скобки любой из множителей этого произведения нельзя, не утратив при этом физического содержания токового заряда. В законе Био-Савара-Лапласа это

требование не выполняется. **Правильна такая запись закона Био-Савара-Лапласа:**

$$d\mathbf{B} = k[(idl) \mathbf{r}]/r^3.$$

Аналогичное недоразумение происходит и при записи закона Ампера в виде $d\mathbf{F} = i [d\mathbf{l} \mathbf{B}]$, когда векторный характер силы взаимодействия $d\mathbf{F}$ определяется векторным произведением элементарной длины $d\mathbf{l}$ на вектор магнитной индукции \mathbf{B} . Правильна запись закона Ампера в виде

$$d\mathbf{F} = [(idl) \mathbf{B}].$$

При применении современной записи закона Ампера для определения силы взаимодействия двух токовых зарядов происходит недопустимое сокращение в числителе и знаменателе и закон Ампера приводится в виде формулы для модуля силы взаимодействия.

В разделе, посвященном “магнитному заряду”, показано, что это понятие является синонимом понятия “элементарный токовый заряд”.

Литература

1. Чуев А.С., 2003, О существующих и теоретически возможных силовых законах, обнаруживаемых в системе физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5811.html>
2. Репченко О.Н., 2008, Полевая физика или Как устроен мир? Изд. 2-е – М.: Галерея, 320 с.
3. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.

4.5.5. Закон сохранения заряда физической системы

Определение закона сохранения заряда системы (закона сохранения координаты состояния)

В физике рассматривается обычно закон сохранения электрического заряда. Обобщенный **закон сохранения заряда** впервые обосновал А.Вейник (1968) со следующей формулировкой: “*В процессе взаимодействия системы и окружающей среды количество заряда, вышедшего (или вошедшего) из окружающей среды через контрольную поверхность, равно количеству заряда, вошедшего (или вышедшего) в*

систему через ту же поверхность”.

Если учесть, что понятие ”заряд” является частным случаем понятия ”координата состояния формы движения”, что разъясняется в разделе, посвященном заряду системы, то закон сохранения заряда системы является также частным случаем **закона сохранения координаты состояния**.

Вывод закона сохранения заряда системы (закона сохранения координаты состояния)

Покажем, как выводится закон сохранения координаты состояния какой-то формы движения системы. В разделе, посвященном обобщенному уравнению динамики, приведена такая форма его записи:

$$a_0 \Delta q + a_1 dq/dt + a_2 d^2q/dt^2 = -\Delta P, (1)$$

где ΔP и Δq – разность потенциалов между системой и средой и разность координаты состояния; a_0 , a_1 и a_2 – коэффициенты пропорциональности при производных от координаты состояния системы по времени t (жесткость, сопротивление и инертность системы).

Рассмотрим состояние динамического равновесия между физической системой и окружающей средой, когда разность потенциалов $\Delta P = 0$. Это возможно при равенстве нулю разности координат состояния Δq и всех производных по времени. Из $dq/dt = 0$ следует вывод о том, что при динамическом равновесии между системой и средой модуль координаты состояния $q = \text{const}$. Это и есть **закон сохранения координаты состояния** формы движения.

В том случае, когда заряд системы является частным случаем координаты состояния системы, заряд системы $q = \text{const}$. Это и есть **закон сохранения заряда системы**.

Законы сохранения электрического заряда и гравитационного заряда

В современной физике закон сохранения заряда системы в его обобщенном виде не приводится. Существуют лишь его частные

случаи, из которых чаще всего рассматривают **закон сохранения электрического заряда** электрически заряженной системы.

Другим частным случаем является **закон сохранения массы**. Поскольку **масса является зарядом гравитационного поля**, то следует говорить о **законе сохранения гравитационного заряда**.

Законы сохранения электрического и гравитационного зарядов нужно рассматривать, как частные случаи закона сохранения заряда системы.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.

4.5.6. Диполи – системы из двух зарядов

Определение диполя

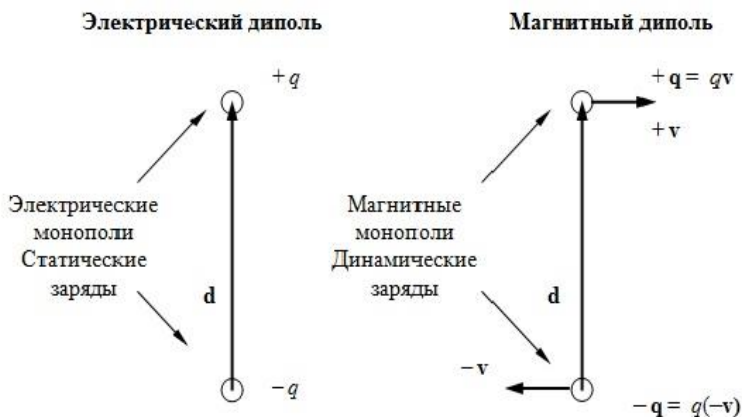
Диполь в буквальном переводе с греческого языка означает **двухполюсник**, то есть система, состоящая из двух полюсов. Определение самого термина “диполь” нами не найдено.

Слово **полюс** (на латыни *polus*, от греческого *polos*) буквально означает ось, но это ничего не поясняет. Наиболее абстрактно звучит определение полюса в БСЭ: это “*нечто диаметрально противоположное другому*”. Такому определению соответствуют положительный и отрицательный заряды в электромагнетизме, если считать, что имеется в виду противоположность по знаку. Учитывая это, **диполь можно считать не столько двухполюсником, сколько двухзарядником**, и определить **диполь** как **физическую систему, состоящую из двух пространственно разделенных зарядов одной природы, но противоположного знака**.

Электромагнитные диполи

Рассмотрим схему электромагнитных диполей. Начнем с электростатики.

Согласно определению БСЭ **электрический диполь** – это “совокупность двух равных по абсолютной величине разноимённых точечных зарядов, находящихся на некотором расстоянии друг от друга”.



Дипольные моменты

Электрический момент

$$p_{\varepsilon} = q d$$

Магнитный момент

$$p_m = [q d]$$

друга”. Впрочем, речь идет не столько о точечных статических зарядах, сколько о заряженных системах, центры которых отстоят друг от друга на расстоянии, названном **дипольным расстоянием** и обозначенным символом **d**. Каждый из двух зарядов разного знака называют **монополем**.

Обозначение **d** для дипольного расстояния выбрано потому, что при повороте диполя вокруг своего центра дипольное расстояние становится диаметром окружности, по которой движутся монополи. В статье, посвященной повороту диполя, показано, почему **дипольное расстояние** нельзя называть плечом диполя, как это принято в современной электродинамике.

Электрические заряды разного знака ($+q$ и $-q$) можно назвать **электрическими монополями**. Единичными электрическими монополями разного знака являются, например, **электроны** и **позитроны**. У электрона и позитрона противоположны направления их движения относительно направления их вращения вокруг собственной оси. Противоположность этих направлений и указывает на разные знаки монополей, что подробно изложено в работе В.Пакулина (2004)

и кратко в разделе, посвященном элементарным электрическим зарядам.

Понятие о **магнитном диполе** существует в электродинамике. Однако четкое определение для магнитного диполя, подобное тому, которое приведено выше для электрического диполя, нами в первоисточниках не найдено. Возможно, потому, что в современной физике категорически, хотя и необоснованно, говорится об отсутствии существования **магнитных монополей (магнитных зарядов), которые как раз и образуют магнитный диполь**. Причины такой необоснованности разъяснены в разделе, посвященном магнитным зарядам. Как видно из схемы, и электрический, и магнитный диполи имеют одну и ту же структуру, разница лишь в характере заряда: статический он или динамический (см. терминологию зарядов физического поля).

Несколько слов о магнитных зарядах. На представленном рисунке в качестве магнитных монополей указана два движущихся заряда ($+q\mathbf{v}$ и $-q\mathbf{v}$). В любом замкнутом токовом контуре (а незамкнутых токовых контуров не бывает) в противоположных ветвях контура также существуют магнитные монополю, но в виде токовых зарядов ($+i\mathbf{l}$ и $-i\mathbf{l}$), являющиеся синонимами магнитных зарядов. Они равны по модулю, но разные по знаку, так как потоки зарядов (электрические токи), образующие эти токовые заряды, движутся в противоположных направлениях. В разделе, посвященном магнитному заряду, детально разъяснено, что противоположно расположенные в магнитном диполе токовые заряды можно называть **магнитными монополями** или **магнитными зарядами** (кому как больше нравится).

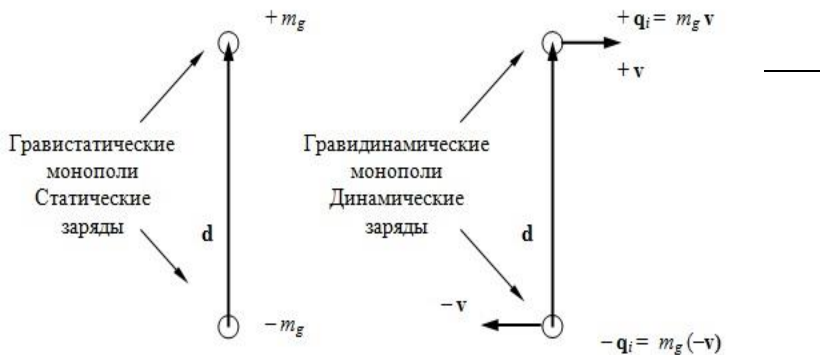
Что характеризуют дипольные моменты в электромагнетизме

П.Пирнат (2005) предложил вести обобщенную физическую величину, названную им "моментом величины", в виде произведения радиус-вектора на любую физическую величину (как векторную, так и скалярную). Подробнее предложение П.Пирната описано в разделе, посвященном применению термина "момент". Этому предложению как раз и соответствуют такие конструктивные параметры диполя, называемые **дипольными моментами**, как **электрический момент** $\mathbf{p}_e = q\mathbf{d}$ электрического диполя и **магнитный момент** $\mathbf{p}_m = [q\mathbf{d}]$ магнитного диполя.

Дипольные моменты объединяют две главные характеристики любого диполя: значение заряда (статический q или динамический \mathbf{q}) и дипольное расстояние \mathbf{d} . Обратим внимание на то, что уравнение для

Гравистатический диполь

Гравидинамический диполь



Гравистатический момент

Гравидинамический момент

$$\mathbf{p}_g = m_g \mathbf{d}$$

$$\mathbf{p}_i = [\mathbf{q}_i \mathbf{d}]$$

определения магнитного момента $\mathbf{p}_m = [\mathbf{q} \mathbf{d}] = [(\mathbf{i}l) \mathbf{d}]$, приведенное на схеме, отличается от уравнения $\mathbf{p}_m = iS\mathbf{n}$, которое принято в современной физике для определения магнитного момента (S – площадь сечения токового контура; \mathbf{n} – орт нормали к сечению этого контура). Но уравнение $\mathbf{p}_m = iS\mathbf{n}$ отличается от уравнения $\mathbf{p}_m = [\mathbf{q} \mathbf{d}] = [(\mathbf{i}l) \mathbf{d}]$ лишь по форме записи, а не по физическому содержанию, что показано в разделе, посвященном повороту магнитного диполя.

Гравитационные диполи

Покажем, что понятие “диполь” можно применять и в теории гравитации.

В физике говорят, что одноименные гравитационные массы (то есть одноименные гравитационные заряды одного знака) притягиваются друг к другу. И в качестве примеров приводят притяжение планет к Солнцу и притяжение массивных тел к Земле и друг к другу, подчиняющиеся закону всемирного тяготения Ньютона.

Однако мы не можем припомнить, чтобы где-то говорилось о знаке гравитационного заряда, о том, какой из гравитационных зарядов следует считать положительным, а какой – отрицательным.

Для гравитационного поля, аналогично электромагнитному полю, также могут существовать две формы его описания: центральное,

аналогичное электрическому полю и называемое нами **гравистатическим полем**, и вихревое, аналогичное магнитному полю и называемое **гравидинамическим полем**. Подробнее эти термины поясняются в разделе, посвященном классификации форм описания физического поля.

Если у двух различных массивных тел (двух гравистатических зарядов) противоположны направления их движения по своим траекториям относительно направления их вращения вокруг собственных осей, как у электрона и позитрона в электромагнетизме, то таким гравистатическим зарядам (гравистатическим монополям) можно присвоить различные знаки: отрицательный знак ($-m_g$) и положительный знак ($+m_g$). И тогда любая пара таких зарядов представляет собой гравистатический диполь.

Массивные тела на планете являются гравистатическими зарядами одного знака (m_g), поскольку движутся вместе с планетой при ее вращении вокруг собственной оси. При этом движение массивного тела вокруг оси планеты происходит по круговому контуру, так что траекторию его движения можно представить, как гравитационный токовый контурный заряд. И тогда каждое отдельное массивное тело, движущееся вместе с планетой, является **гравидинамическим монополем**. А два гравидинамических монополя, находящиеся в противоположных относительно нулевого меридиана полушариях планеты, составляют **гравидинамический диполь**, поскольку движутся в разных направлениях.

Рассмотрим, как происходит гравитационное взаимодействие между двумя гравидинамическими монополями, движущимися рядом друг с другом и параллельно друг другу. При достаточно большом радиусе планеты их можно представить в виде двух параллельных **гравитационных токовых зарядов** одного и того же знака, которые притягиваются друг к другу по закону, аналогичному закону Ампера для двух параллельных проводников с электрическими токовыми зарядами прямого тока одного и того же знака. Этим и объясняется как их взаимное притяжение, так и их притяжение к поверхности планеты. Аналогично можно объяснить и взаимное притяжение планет одной и той же солнечной системы, направление вращения которых относительно их солнца одинаково.

Уравнения для определения дипольных моментов в гравитационных

полях аналогичны уравнениям для определения дипольных моментов в электромагнетизме.

Литература

1. Пакулин В.Н., 2011, Структура материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НТФ "Истра", 121 с., а также Структура материи. 2004 – <http://www.valpak.narod.ru>
2. Pimat P., 2005, Physical Analogies. – <http://www.ticalc.org/cgi-bin/zipview?89/basic/science/physanal.zip;physanal.txt>

4.5.7. Классификация форм описания физического поля

Под физическим полем в данном разделе будем подразумевать поле взаимодействия. Физические поля классифицируются по разным признакам, но четкой классификации с установившейся терминологией в литературе не обнаружено. Тем не менее имеющаяся терминология позволяет предложить схемы такой классификации. Например, классификация форм описания физического поля может быть осуществлена по трем признакам:

1. по виду **заряда системы**, формирующего физическое поле (оболочку заряженной системы),
2. по детализации **размера** поля,
3. по виду **среды**, в которой существует физическое поле (полевой среды).

1. Классификация форм физического поля по виду заряда.

От вида полеобразующего заряда зависит форма описания физического поля, название этой формы и ее закономерности. По этому признаку и составлена первая классификация, изображенная в виде таблицы.

Предварительные примечания к таблице.

1. **Черным цветом** напечатаны названия терминов, продиктованные необходимостью унификации терминологии.
2. **Красным цветом** напечатаны рекомендуемые названия полеобразующих зарядов.

В строках под названием полеобразующего заряда черным жирным шрифтом указано название формы поля, соответствующего этому полеобразующему заряду.

3. Синим цветом в круглых скобках напечатаны существующие в современной физике названия.

Обобщенное физическое поле	
Статический заряд	Динамический заряд
Потенциальное (центральное) поле	Вихревое поле
Электрическое поле (Электромагнитное поле)	
Электрический заряд (электрический заряд)	Движущийся заряд Токовый заряд (движущийся заряд) (магнитный заряд)
Электростатическое поле (электрическое поле)	Электродинамическое поле (магнитное поле, электрическое вихревое поле)
Гравитационное поле	
Гравитационный статический заряд (масса)	Гравитационный динамический заряд (количество движения)
Гравистатическое поле (гравитационное поле)	Гравидинамическое поле (инертное поле, гравиинертное поле)

существующие в современной физике названия.

Обобщенное физическое поле	
статический заряд	Динамический заряд
центральное поле	Вихревое поле
Электрическое поле (Электромагнитное поле)	
статический заряд (электрический заряд)	Движущийся заряд Токовый заряд (движущийся заряд) (магнитный заряд)
статическое поле (электрическое поле)	Электродинамическое поле (магнитное поле, электрическое вихревое поле)
Гравитационное поле	
статический заряд (масса)	Гравитационный динамический заряд (количество движения)
статическое поле (гравитационное поле)	Гравидинамическое поле (инертное поле, гравиинертное поле)

Комментарии к таблице.

1. Неподвижных зарядов в принципе нет, поэтому все заряды любого поля движущиеся (динамические). Но в пределах избранной системы отсчета могут существовать заряды, неподвижные друг относительно друга, которые можно назвать статическими.
2. С точки зрения С.Кадырова (2001) и В.Пакулина (2004) любой полеобразующий заряд является сгустком самовращающегося поля. А там, где присутствует вращение, следует говорить уже не только о потенциальной, но и о вихревой составляющей физического поля. Поэтому центральное поле является математической абстракцией и может рассматриваться лишь как центральная составляющая физического поля. Практически же значение напряженности потенциальной составляющей суммарного поля бывает существенно большим, чем значение напряженности вихревой составляющей. Поэтому такая математическая абстракция, как центральное поле, оказывается полезной при практических расчетах.
3. Сложившиеся в современной физике названия форм описания электромагнитного поля связаны с названиями зарядов, а названия зарядов сложились исторически. Термин “магнитный заряд” в физике стараются не применять, так как считают его равным нулю. Правда, в

электротехнике применяют термин “магнитная масса“, относящийся к контуру, обтекаемому электрическим током. Впрочем, в разделе, посвященном магнитному заряду, показано, что магнитный заряд, как физическая величина, существует в виде токового заряда и является частным случаем динамического заряда. А в разделе, посвященном токовому заряду, показано, что магнитный заряд является синонимом токового заряда.

4. Термин “магнитное поле“ чрезвычайно сильно связан с историей развития электромагнетизма. На наш взгляд, этот термин при систематизации физических понятий целесообразно было бы заменять термином “электродинамическое поле“. Обратим также внимание на то, что в разделе об электрическом вихревом поле показана ошибочность этого термина.

5. Классификация гравитационного поля составлена аналогично классификации электрического поля. То, что в современной физике называют гравитационным полем, фактически является лишь гравистатическим полем. А аналогом электродинамического (магнитного) поля, создаваемого динамическим зарядом, в гравитации является вихревая составляющая гравитационного поля, создаваемая потоком тяжелых частиц (гравитационным током). Эту вихревую составляющую с полным правом следует называть гравидинамическим полем. Именно так его и называет, например, В. Коновалов (2006). Ранее С. Кадыров (2001) предложил для него название “инертное поле“, а затем Дж. Асанбаева (2001) предложила для него название “гравиинертное поле“. О. Репченко (2008) для этой же цели применяет термин “гравимагнитное поле“.

2. Классификация физических полей и методология физики.

В учебных пособиях электричество и магнетизм рассматриваются последовательно друг за другом. Это продиктовано современной методологией физики, которая придерживается исторического метода преподавания. Системный подход указывает на предпочтительность применения дедуктивного метода перед историческим методом при преподавании физики. В разделе “Систематизация и педагогика“ показана возможность иной последовательности изложения учебного материала по электромагнетизму, которую вытекает из проведенной систематизации физических величин и понятий.

Следует заметить, что электромагнитное поле благодаря широким

возможностям его экспериментального исследования служит, в соответствии с условием аналогий, прекрасной моделью для вывода обобщенных определяющих уравнений, касающихся характеристик и параметров любой формы описания физического поля. Эти обобщенные уравнения можно потом распространить на другие формы описания физического поля. Именно таким путем пошел С.Кадыров (2001), разрабатывая свою версию теории гравидинамики, как аналога электродинамики. На базе его выводов Дж.Асанбаева (2001) объединила систему уравнений электродинамики Дж.Максвелла и систему уравнений гравидинамики С.Кадырова в единую систему уравнений Максвелла-Кадырова.

В.Пакулин (2004, 2007) предложил модификацию уравнений Максвелла, позволяющую учитывать все особенности электромагнитного поля. Он показал, что все основные законы электродинамики и магнитодинамики являются вариантами решения модифицированных им уравнений Максвелла. Согласно условию адекватности модифицированные В.Пакулиным уравнения Максвелла могут быть распространены и на все формы гравитационного поля.

3. Классификация физических полей по признаку размера.

Вне зависимости от физической природы физические поля можно разделить на:

- 1. Микроскопические поля**, создаваемые отдельными заряженными частицами,
- 2. Макроскопические поля** – поля, усредненные по физически бесконечно малому объему.

Чаще всего рассматриваются макроскопические поля. Особенное значение эта классификация приобрела в электромагнетизме, где под **макروتочками** понимаются токи проводимости и токи переноса, а под **микротоками** – молекулярные (круговые) токи, обусловленные движением электронов в атомах, молекулах и ионах. При систематизации величин и понятий токи проводимости входят в качестве множителя в токовые заряды, а токи переноса – в движущиеся заряды. И токовые, и движущиеся заряды являются разновидностями динамического заряда. Молекулярные токи являются частным случаем токовых контурных зарядов, образованных токами проводимости, текущими по замкнутому контуру.

4. Классификация физических полей по среде существования.

Эта классификация связана с рассмотрением физических полей одной и той же природы в разных контактирующих между собой средах. Обычно **вещество рассматривается, как окруженное средой, называемой физическим вакуумом**. В электромагнетизме, если вещество (твердое тело или жидкость) окружено газовой средой (в частности, воздухом), характеристики вещества настолько отличаются от характеристик газа, что характеристики газа приравнивают к характеристикам физического вакуума.

В общем случае применяют такую терминологию:

- 1. Внешнее поле**, то есть поле в среде, окружающей вещество, оно называется также **полем сторонних зарядов**,
- 2. Внутреннее поле**, то есть поле внутри вещества, оно называется также **полем связанных зарядов**,
- 3. Истинное поле**, рассматриваемое как сумму внешнего и внутреннего полей.
- 4. Поле без учета свойств среды**, то есть фиктивное поле, лишенное характеристик какой бы то ни было среды.

Последнего варианта поля в Природе, естественно, нет. Но напряженность подобного фиктивного поля в физике называют **чистой напряженностью**. Чистая напряженность оказывается полезной при составлении обобщенных определяющих уравнений. Виды напряженностей полей согласно данной классификации показаны в отдельной таблице.

Литература

1. Асанбаева Дж.А., 2001а, Новая модель ядра атома в виде протон-нейтронной решетки. – Бишкек: Кыргыз Жер, №1, также http://newphysics.h1.ru/sep_art/nuclear.htm.
2. Кадыров С.К., 2001, Всеобщая физическая теория единого поля. – Бишкек: “Кыргыз Жер“, №1, также <http://www.newphysics.h1.ru/Kadyrov/Kadyrov-contents.htm>.
3. Коновалов В.К., 2006, Основы новой физики и картины мироздания. 4-ое изд. <http://www.new-physics.narod.ru>
4. Пакулин В.Н., 2004, Структура материи. – <http://www.valpak.narod.ru>
5. Пакулин В.Н., 2007, Структура поля и вещества. – Санкт-Петербург, НТФ "Истра".

6. Репченко О.Н., 2008, Полевая физика или Как устроен мир? Изд. 2-е – М.: Галерея, 320 с.

4.5.8. Энергия центрального поля взаимодействия

(Материал раздела носит гипотетический характер.)

1. Что такое энергия физического поля?

Поиски в словарях определения термина “энергия физического поля” к однозначному результату не привели. Можно лишь отметить мало что объясняющие слова из справочника по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990): “Поле обладает энергией, которая распределяется по всему объёму пространства, где есть это поле”, а также частное определение из Википедии: “Электромагнитная энергия – термин, под которым подразумевается энергия, заключенная в электромагнитном поле”. Но второе определение больше похоже на тавтологию.

Современная физика считает энергию количественной мерой движения, то есть скалярной величиной, которую чаще всего обозначают символом W . Энергия (без всяких дополняющих терминов) является естественной основной физической величиной, а энергия физического поля конкретной заряженной системы – производная величина, это энергия той части пространства, которую называют физическим полем заряженной системы или ее оболочкой. Правда, в действительности нет такой части пространства, которая не являлась бы физическим полем, образованным не одним, а множеством различных заряженных систем. Но можно воспользоваться принципом суперпозиции, рассматривая в конкретной точке поочередно физическое поле от разных заряженных систем.

2. Эфир → пустота → физический вакуум → полевая среда

Физическое поле не может существовать в отсутствие полевой среды. В XIX веке среду, в которой существует поле, называли “эфиром” и

пустым его не считали. В XX веке от эфира отказались и стали говорить о пустом пространстве-времени. Но от представления о среде не отказались, назвав его **физическим вакуумом**. Например, в учебнике по физике И.Савельева (2005, кн. 2) сказано *“Заряд изменяет свойства окружающего его пространства”*. Однако у пространства есть лишь одно свойство – протяженность, и на него заряд влиять не может. Если считать физический вакуум пустотой, то о каких свойствах может идти речь? То, что в термин “физический вакуум” попало слово “вакуум”, является, по нашему мнению, историческим недоразумением. Физиков XX века не устраивал термин “эфир”, и они заменили его термином “вакуум”. И чтобы как-то отличать его от вакуума в аэродинамике, добавили прилагательное “физический”.

Наличие энергии у физического поля свидетельствует, что пространство поля заполнено движущейся материальной средой. Ибо в пустоте энергии неоткуда было бы взяться. Даже если считать, что в пространстве поля движутся виртуальные переносчики взаимодействия, то и в этом случае пространство пустым не является.

Наука сейчас закономерно возвращается к тому, чтобы считать окружающее нас пространство сплошной средой со специфическими свойствами. Если исходить из представлений уровневой физики, то, по мнению В.Пакулина (2010), уровень структурного строения материи, на котором рассматривается физический вакуум (эфир) соответствует уровню электромагнитного поля. Но если кому-то не нравится термин “эфир”, возможно, он согласится с термином “**полевая среда**”, широко применяемым О.Репченко (2008).

Начиная с Галилея, сторонники рационализма рассматривали эфир как сплошную вязкую среду, в которой происходит вихревое движение материальных объектов. Различались порой лишь мнения о том, является ли эфир несжимаемой средой, или это среда деформируема. Большинство является сторонниками того, что полевая среда является сжимаемой, то есть деформируемой и упругой средой, поскольку в неупругой среде волны не могли бы распространяться. Упругая же среда способна при деформировании накапливать и отдавать потенциальную энергию.

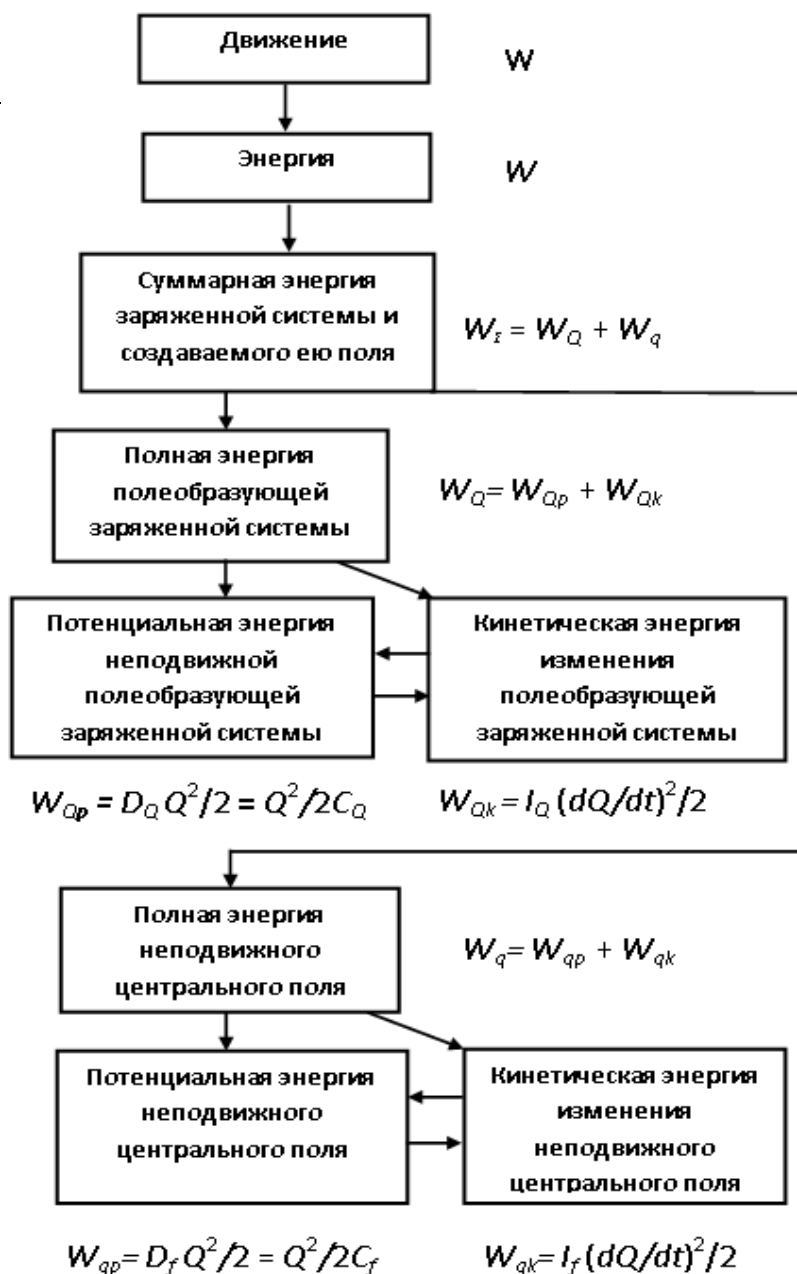
3. Как возникает энергия центрального физического поля

Центральное физическое поле – это напряженное состояние полевой среды, окружающей заряженную систему, и называемой часто

оболочкой заряженной системы. Полеобразующий заряд и его оболочка неподвижны относительно одной и той же системы отсчета.

Физическую систему, содержащую элементарные (единичные) заряды, называют в электромагнетизме **уединенным проводником**. В общем случае такую систему следует назвать **заряженной системой** (или заряженным телом). В электростатике заряд полеобразующей системы равен числу нескомпенсированных электронов, а в гравистатике – гравитационной массе.

Физическая природа единичного заряда любой формы поля, согласно вихревой модели строения материи (В.Пакулин, 2007) связана с вихревым движением частиц полевой среды. Оболочка заряженной системы вводится системой в движение вследствие наличия вязкости у среды. Посмотрим на схему.



Вихревое движение полеобразующей заряженной системы и ее оболочки характеризуется энергией W_{Σ} , равной сумме полной энергии заряженной системы W_Q и полной энергии оболочки W_q , равных друг другу. Множитель $1/2$, присутствующий в формулах для определения потенциальной и кинетической энергии, представленных на схеме, как раз и отражает это равенство.

Полеобразующий заряд может быть как статическим, так и движущимся зарядом. Эти понятия разъяснены в разделе, посвященном терминологии зарядов. В электродинамике в первом случае речь идет о полной энергии центрального (электрического) поля, во втором – о полной энергии вихревого (магнитного) поля. То, что заряд полеобразующей заряженной системы при рассмотрении центрального поля является величиной скалярной, а при рассмотрении вихревого поля – величиной векторной, не влияет на приведенные на схеме уравнения, так как квадрат векторной величины является скалярной величиной.

4. Виды энергии и параметры центрального физического поля

Каждая из полных энергий полеобразующей заряженной системы и ее оболочки является суммой потенциальной энергии, энергии диссипации и кинетической энергии в соответствии с тем, как это описано в разделе , посвященном видам энергии. Под потенциальной составляющей W_p будем понимать **потенциальную энергию деформации**, которая, по определению, является энергией движения энергоносителей, зависящей от их взаимного расположения в заряженной системе. Следует только добавить, что при определении потенциальной энергии деформации поля численное значение заряда в полеобразующей заряженной системе считается постоянным.

Потенциальная энергия любой системы W_p зависит от такого параметра системы, как жесткость D , или от обратного ей параметра – ёмкости C . Соответственно, **потенциальная энергия заряженной системы** W_{Qp} зависит от жесткости заряженной системы D_Q , под которой следует понимать параметр противодействия заряженной системы количественному изменению полеобразующего заряда Q . Например, в электростатике, судя по справочнику Б.Яворского и А.Детлафа (1990), “увеличение электрической энергии заряженного проводника“ равносильно “работе по преодолению кулоновских сил отталкивания между одноименными зарядами“.

Потенциальная энергия оболочки W_{qp} зависит от жесткости полевой среды D_f , под которой следует понимать параметр противодействия полевой среды изменению степени деформированности этой среды. Потенциальные энергии проводника W_{qp} и его оболочки W_{qp} равны друг другу, из чего следует, что равны друг другу жесткости заряженной системы D_Q и оболочки D_f , а также ёмкости заряженной системы C_Q и оболочки C_f . Значит, можно оставить только один индекс и писать далее D_f и C_f .

Рассмотрим процесс изменения значения полеобразующего заряда. В соответствии с определением, приведенным в разделе, посвященном видам энергии, **кинетическая энергия** – это энергия, зависящая от квадрата скорости изменения заряда dQ/dt в течение этого изменения. Она и будет являться кинетической составляющей W_{Qk} полной энергии W_Q полеобразующей системы. Кинетическую энергию W_{Qk} в процессе изменения значения полеобразующего заряда не следует путать с кинетической энергией постоянного движения энергоносителей внутри заряженной системы. **Кинетическая энергия заряженной системы** W_{Qk} зависит от инертности I_Q энергоносителей среды, из которых состоит заряженная система, **кинетическая энергия оболочки** W_{Qk} зависит от инертности I_f энергоносителей, составляющих полевую среду.

Диссипация энергии в заряженной системе и в ее оболочке на схеме не показана. Наличие вязкости у полевой среды не доказывает наличие диссипации в оболочке.

5. Потенциальная энергия центрального физического поля

В разделе, посвященном различным видам энергии, конечное приращение потенциальной энергии физической системы ΔW_p представлено обобщенным уравнением :

$$\Delta W_p = D(\Delta Q)^2/2 = (\Delta Q)^2/2C, (1)$$

где D – обобщенное обозначение жесткости системы; C – обобщенное обозначение ёмкости системы; ΔQ – модуль конечного приращения координаты состояния избранной формы движения.

Если начальное значение координаты состояния принять равным нулю, то для потенциальной энергии оболочки W_{qp} уравнение (1) примет вид:

$$W_{ap} = DQ^2/2 = Q^2/2C. (2)$$

Это уравнение и представлено на схеме. Второе выражение из уравнения (2) полностью совпадает с уравнением для определения энергии поля уединенного проводника в электростатике.

Формулы для определения жесткости и ёмкости для электростатического и гравистатического полей рассмотрены в разделе, посвященном потенциалу поля взаимодействия.

6. Кинетическая энергия центрального физического поля

В разделе, посвященном различным видам энергии, конечное приращение кинетической энергии физической системы ΔW_k представлено обобщенным уравнением:

$$\Delta W_k = I [d(\Delta Q)/dt]^2 / 2, (3)$$

где I – обобщенное обозначение инертности системы; $d(\Delta Q)/dt = dQ/dt$ – скорость приращения координаты состояния избранной формы движения.

Координатой состояния процесса изменения количества заряда в полеобразующей заряженной системе является поток зарядов, которым обменивается заряженная система с окружающей средой. Например, в электростатике это ток зарядки (разрядки) уединенного проводника I_f .

Для кинетической энергии W_{qk} оболочки и инертности I_f поля, равной инертности проводника, уравнение (3) можно записать в виде, представленном на схеме:

$$W_{qk} = I_f (dQ/dt)^2 / 2. (4)$$

Уравнение (4) помогает раскрыть физическое содержание инертности I_f . Например, в электростатике это индуктивность уединенного проводника.

7. Поперечные и продольные волны в полевой среде

При колебаниях значения полеобразующего заряда перенос энергии в физическом поле осуществляется с помощью продольных и/или

поперечных волн, распространяющихся в деформирующейся полевой среде. То есть волны являются энергоносителями.

Поперечные волны в полевой среде давно и хорошо известны. Это электромагнитные волны, фазовая скорость распространения которых равна скорости света c . Согласно постулату А.Эйнштейна значение скорости распространения электромагнитных волн в вакууме является максимально возможным значением скорости.

Однако еще в конце XVIII века П.Лаплас пришел к выводу о том, что скорость распространения гравитационного воздействия в эфире на несколько порядков выше скорости света. В XX веке той же точки зрения придерживался, например, известный физик М.Вудынский (1971), предложив свою "единую математическую формулу законов природы". Продольными колебаниями полевой среды, что весьма вероятно, являются гравитационные волны

В небольшой монографии В.С.Леонова (2001) сказано так:
"Установить природу гравитационных волн позволила теория упругой квантованной среды (УКС), которая на сегодняшний день является самым мощным аналитическим аппаратом исследования материи и сложнейших физических явлений. Теория УКС представляет собой теорию единого поля (ТЕП), раскрывает структуру вакуума, заменяет теорию относительности Эйнштейна как изжившую себя и представляет собой дальнейшее развитие квантовой теории и квантовых представлений о природе материи с позиций электромагнетизма... Проведенный анализ волновых колебаний в УКС (вакуумном поле) позволяет предположить, что Вейником впервые экспериментально были зарегистрированы продольные гравитационные волны в виде перемещающихся зон сжатия и разрежения квантовой плотности вакуумной среды, излучаемые в момент изменения деформационно нагруженного состояния вещества. Результаты Вейника воспроизводятся другими исследователями".

Скорость распространения продольных волн в любой среде всегда на несколько порядков выше скорости распространения поперечных волн в той же среде, поскольку модули продольной и поперечной упругости любой среды существенно отличаются друг от друга. Это, по всей вероятности, и объясняет значительно большее значение скорости распространения гравитационных волн по сравнению со скоростью распространения электромагнитных волн (скоростью света). А **интенсивность поперечных волн значительно**

больше интенсивности продольных волн. Поэтому электромагнитное взаимодействие на много порядков сильнее гравитационного взаимодействия.

Механизм переноса энергии гравитационными волнами также отличается от механизма переноса энергии электромагнитными волнами, как это имеет место при переносе энергии волнами в упругой среде. Например, как это происходит при переносе энергии в океане акустическими волнами в толще воды и поперечными волнами, которые хорошо заметны в виде поверхностных волн (цунами). В данном случае **акустические волны аналогичны гравитационным волнам, а поверхностные волны – электромагнитным волнам.**

Таким образом, в электромагнитном поле *энергия поперечного деформирования полевой среды – это потенциальная энергия электрического поля, а энергия продольного деформирования полевой среды – это потенциальная энергия гравистатического поля* (называемого в современной физике просто гравитационным полем).

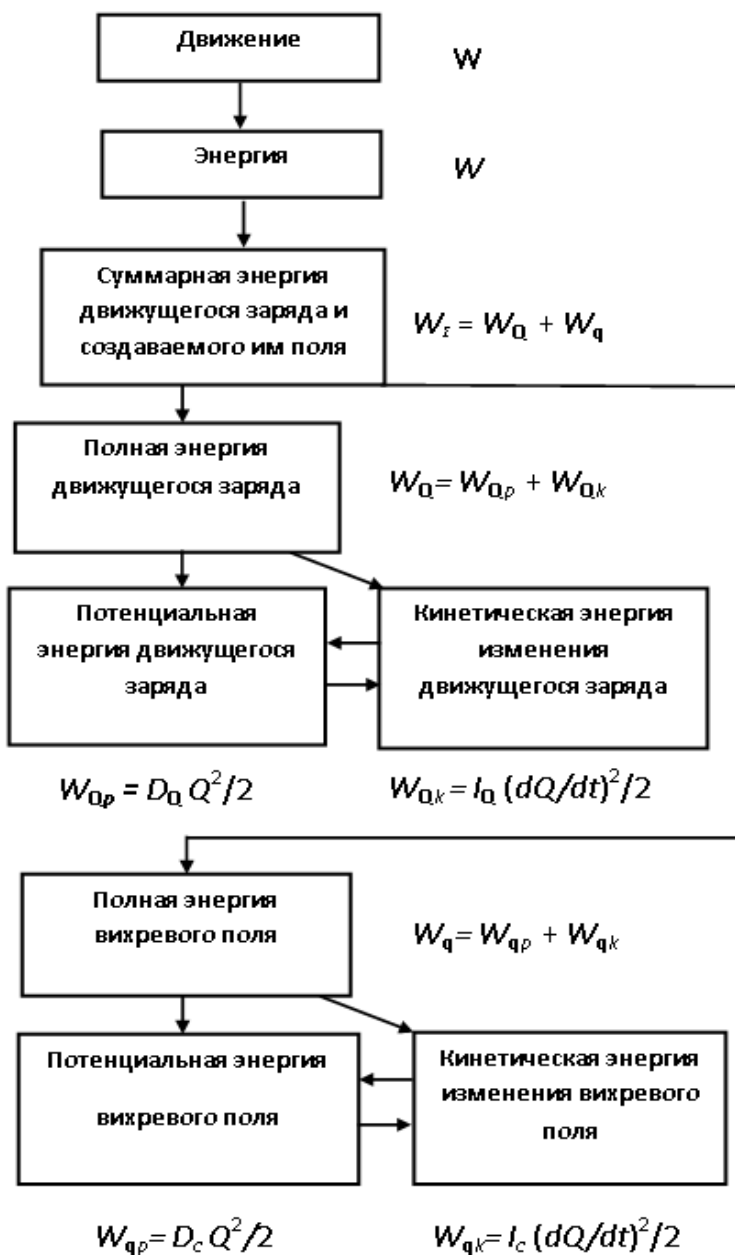
Литература

1. Вудынский М.М., Вудынский Ю.М., 1967, 1969, Устройство для получения зависимостей между размерностями физических величин. – Авт. свид. СССР № 204034 и 257880.
2. Леонов В.С., 2001, «Открытие гравитационных волн профессором Вейником», Москва, Агроконсалт, 60 с.
3. Пакулин В.Н., 2007, Структура поля и вещества. – Санкт-Петербург, НТФ "Истра".
4. Пакулин В.Н., 2010, Структура материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НТФ "Истра".
5. Репченко О.Н., 2008, Полевая физика или Как устроен мир? Изд. 2-е – М.: Галерея, 320 с.
6. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
6. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.

4.5.9. Что такое энергия вихревого физического поля?

В данном разделе мы, пользуясь принципом суперпозиции, усложним ситуацию, рассматривавшуюся в разделе, посвященном энергии центрального поля. Мы рассмотрим, в чем заключается энергия вихревого физического поля, создаваемого движущимся зарядом, считая, что энергия вихревого поля имеет место наравне с энергией центрального поля, созданного движущимся зарядом.

1. Как возникает энергия вихревого физического поля.



Вихревое физическое поле создается динамическим зарядом, то есть движущимся статическим зарядом, который обозначается на нашем сайте символом Q , поскольку является векторной величиной. Динамический заряд рассматривается в двух разновидностях: в виде

заряженной системы, содержащей статический заряд Q и движущейся прямолинейно со скоростью \mathbf{v} , и в виде потока элементарных зарядов \mathbf{I} в неподвижной системе длиной l . Первую разновидность в электродинамике называют **движущимся зарядом**, для второй разновидности нами введено понятие **токового заряда прямого тока**. Таким образом, динамический заряд может иметь два определяющих уравнения:

$$\mathbf{Q} = Q\mathbf{v} \quad \text{или} \quad \mathbf{Q} = I(1).$$

Центральное поле, создаваемое движущимся зарядом, перемещается в пространстве вместе с этим зарядом. Наряду с этим движение заряда создает еще одно поле, обладающее другими свойствами, которое называют **вихревым полем**. Полевая среда, окружающая движущуюся заряженную систему (оболочка заряженной системы), также увлекается этой системой вследствие вязкости.

В данном разделе мы рассматриваем прямолинейное движение заряженной системы или элементарных зарядов. Если движение не прямолинейно, то, пользуясь принципом суперпозиции, его можно представить, как последовательность элементарных прямолинейных движений.

Движущийся заряд и увлекаемая им полевая среда обладают дополнительной суммарной энергией W_{Σ} , равной сумме полной энергии движения заряженной системы W_Q и полной энергии вихревого поля W_q , создаваемого движением заряженной системы, равных друг другу. Как и в случае центрального поля, множитель $1/2$, присутствующий в формулах, представленных на схеме, отражает это равенство.

Как и в случае центрального поля, энергии W_{Σ} , W_Q и W_q являются с точки зрения метрологии производными величинами, только более поздней очереди (о понятии очередности производных величин написано на странице, посвященной производным величинам).

2. Виды энергии и параметры вихревого поля.

Как полная энергия движущегося заряда, так и полная энергия увлекаемой зарядом за собой оболочки являются суммами потенциальной энергии, энергии диссипации и кинетической энергии в соответствии с тем, как это описано на странице, посвященной видам

энергии.

Но при рассмотрении вихревого поля, образованного движущейся заряженной системой, речь идет не об энергии движения частиц, из которых состоит эта система и окружающая ее оболочка по отдельности, а об **энергии движения системы в целом и движении центрального поля этой системы тоже в целом**. А при рассмотрении вихревого поля, образованного движением потока элементарных зарядов в неподвижной системе, речь идет об энергии движения всех зарядов и всех центральных полей, образованных зарядами, протекающими через систему.

Потенциальная энергия в случае образования вихревого поля отличается от потенциальной энергии заряженной системы в центральном поле. Она не зависит от численного значения заряда системы, который в рассматриваемом случае считается постоянным. Жесткость заряженной системы D_Q , понятие о которой было введено в разделе, посвященном энергии центрального поля, также не изменяется.

Но потенциальная энергия W_{Qp} при движении зависит либо (в случае движущейся системы) от скорости движения заряженной системы \mathbf{v} , либо (в случае движения элементарных зарядов в неподвижной системе) от потока движущихся зарядов \mathbf{I} . Называть жесткостью параметр D_Q , включенный в формулу для определения потенциальной энергии движущегося заряда W_{Qp} , можно только условно, что и будет показано ниже.

Потенциальная энергия вихревого поля W_{qp} зависит от другого параметра D_c , но называть этот параметр жесткостью полевой среды можно тоже только условно, он тоже зависит от скорости заряженной системы или от потока зарядов в неподвижной системе. Поэтому энергии W_{Qp} и W_{qp} называть потенциальными можно тоже только условно. Поскольку энергии W_{Qp} и W_{qp} равны друг другу, то из этого следует, что у вихревого поля, как и у центрального поля, параметр системы D_Q и параметр движущегося поля D_c равны друг другу ($D_Q = D_c$), и оставить можно только один индекс, например, писать D_c .

В соответствии с определением **кинетической энергии**, приведенным в разделе, посвященном видам энергии, энергия, зависящая от квадрата скорости изменения динамического заряда \mathbf{Q} , и будет являться кинетической составляющей W_{Qk} полной энергии. При этом

следует помнить, что скорость изменения статического заряда Q , входящего сомножителем в заряд движущейся системы Q , то есть dQ/dt , равна нулю. Неизменно и суммарное значение заряда в неподвижной системе, через которую движется поток элементарных зарядов.

Кинетическая энергия движущихся зарядов W_{Qk} зависит от параметра I_Q , а **кинетическая энергия движущихся центральных полей** W_{qk} зависит от параметра I_c , но назвать эти параметры инертностями, как и энергии W_{Qk} и W_{qk} , можно тоже только условно.

Наконец, **диссипация энергии** при движении заряженной системы (на схеме не показана) происходит в тот же промежуток времени, когда изменяется скорость движения системы. Она зависит от вязкого сопротивления R_Q среды, в которой движется заряженная система. А диссипация энергии при движении потока зарядов в неподвижной системе зависит от вязкого сопротивления самой системе движению элементарных зарядов через нее.

3. Потенциальная энергия вихревого поля.

В разделе, посвященном видам энергии, конечное приращение потенциальной энергии ΔW_p представлено обобщенным уравнением в общем виде:

$$\Delta W_p = D(\Delta Q)^2/2, (2)$$

где D – обобщенное обозначение жесткости системы;
 ΔQ – модуль конечного приращения координаты состояния избранной формы движения.

Если начальное значение координаты состояния принять равным нулю и учесть, что речь идет о потенциальной энергии вихревого поля W_{qp} , образуемого движущимся зарядом $Q = Qv$, то уравнение (2) примет в случае движущейся заряженной системы вид:

$$W_{qp} = D_f Q^2/2 = D_f Q^2 v^2/2 = D_{cl} Q^2/2, (3)$$

где D_f – жесткость полевой среды. Из уравнения (3) видно, что условный параметр

$$D_{cl} = D_f v^2. (4)$$

Уравнение (3) представлено на схеме. В случае движения потока элементарных зарядов в неподвижной системе, у которой $\mathbf{Q} = \mathbf{I}$, уравнение (2) принимает вид:

$$W_{qp} = D_f \mathbf{Q}^2 / 2 = D_f \mathbf{I}^2 l^2 / 2 = D_{c2} \mathbf{I}^2 / 2, \quad (5)$$

из которого видно, что условный параметр

$$D_{c2} = D_f l^2. \quad (6)$$

Последнее выражение в уравнении (5) соответствует в электродинамике уравнению $LI^2/2$ для определения энергии магнитного поля (Б.Яворский, А.Детлаф, 1990), из чего следует, что параметр D_{c2} соответствует в электродинамике индуктивности L . Таким образом, уравнение $LI^2/2$ определяет потенциальную энергию магнитного поля. Уравнению (3) аналога в электродинамике не найдено.

Из уравнений (4) и (6) следует, что параметры D_{c1} и D_{c2} не только не равны друг другу, но еще имеют разные размерности, то есть эти параметры имеют разное физическое содержание.

4. Кинетическая энергия вихревого поля

В разделе, посвященном видам энергии, конечное приращение кинетической энергии ΔW_k представлено обобщенным уравнением в общем виде:

$$\Delta W_k = I [d(\Delta Q)/dt]^2 / 2, \quad (7)$$

где I – обобщенное обозначение инертности системы;
 $d(\Delta Q)/dt = dQ/dt$ – скорость приращения координаты состояния избранной формы движения.

Уравнение (7) можно записать для кинетической энергии вихревого поля W_{qk} в случае движущейся заряженной системы в виде:

$$W_{qk} = I_f (d\mathbf{Q}/dt)^2 / 2 = I_f [d(\mathbf{Q}\mathbf{v})/dt]^2 / 2 = I_f [Q(d\mathbf{v}/dt) + \mathbf{v}(dQ/dt)]^2 / 2. \quad (8)$$

где I_f – инертность полевой среды. При условии, что значение статического заряда Q , образовавшего центральное поле, не меняется

при движении заряженной системы (то есть $dQ/dt = 0$), уравнение (8) принимает вид:

$$W_{qk} = I_f Q^2 (d\mathbf{v}/dt)^2 / 2 = I_f Q^2 \mathbf{a}^2 / 2 = I_{c1} Q^2 / 2, \quad (9)$$

где $\mathbf{a} = d\mathbf{v}/dt$ – ускорение движущейся заряженной системы. Из уравнения (9) видно, что условный параметр

$$I_{c1} = I_f \mathbf{a}^2. \quad (10)$$

Уравнение (9) представлено на схеме. В случае движения потока элементарных зарядов в неподвижной системе, у которой $\mathbf{Q} = \mathbf{I}$, уравнение (8) принимает вид:

$$W_{qp} = I_f (d\mathbf{Q}/dt)^2 / 2 = I_f [d(\mathbf{I})/dt]^2 / 2 = I_f [\mathbf{I}(dl/dt) + l(d\mathbf{I}/dt)]^2 / 2. \quad (11)$$

Так как длина системы, по которой движется поток элементарных зарядов, не меняется (то есть $dl/dt = 0$), то уравнение (11) принимает вид:

$$W_{qk} = I_f l^2 (d\mathbf{I}/dt)^2 / 2 = I_{c2} (d\mathbf{I}/dt)^2 / 2, \quad (12)$$

из которого видно, что условный параметр

$$I_{c2} = I_f l^2. \quad (13)$$

Уравнения $I_{c1} Q^2 / 2$ и $I_{c2} (d\mathbf{I}/dt)^2 / 2$ определяют кинетическую энергию вихревого (в том числе, и магнитного) поля, создаваемого как движущейся заряженной системой, так и потоком элементарных зарядов в неподвижной системе.

Из уравнений (10) и (13) следует, что параметры I_{c1} и I_{c2} не только не равны друг другу, но еще имеют разные размерности, то есть эти параметры имеют разное физическое содержание.

4.5.10. Потенциал физического поля

1. О различии между потенциалом поля и потенциалом системы.

Термин “**потенциал**” применяется в науке почти в тридцати случаях. Он происходит от латинского слова *potentia*, что означает “возможность” в переводе на русский язык. В современной физике (в электродинамике и гравитинамике) рассматривается и разъясняется **потенциал физического поля** с обозначением φ , а в термодинамике

рассматривается **потенциал физической системы** с обозначением P . Это два разные понятия с разной символикой и с разным физическим содержанием. Большинство тех, кто использует понятие "потенциал", подразумевают **потенциал поля**.

В БСЭ приводится определение потенциала поля – это "*потенциальная функция, понятие, характеризующее широкий класс физических силовых полей (электрическое, гравитационное и т.п.) и вообще поля физических величин, представляемых векторами*". Вид потенциала поля зависит от вида полеобразующего заряда, характеристика которого приведена в разделе, посвященном классификации зарядов. В электрическом (центральном) поле, образованном статическим (скалярным) зарядом, потенциал поля также является скалярной величиной. В магнитном (вихревом) поле, образованном динамическим (векторным) зарядом, и потенциал поля является векторной величиной.

В векторном анализе (см. справочник по математике Бронштейна И.Н. и Семендяева К.А., 1986) скалярный потенциал $\varphi(\mathbf{r})$ определяется в поле векторной функции напряженности поля $\mathbf{E}(\mathbf{r})$, которая определяется, в свою очередь, значением полеобразующего заряда Q .

2. Потенциал физического поля как локальный параметр поля.

Современное стандартное определение электрического потенциала φ в метрологическом справочнике А.Чертова (1990) и физическом справочнике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) исходит из неверной формулы:

$$\varphi = W_p / q_t, \quad (1)$$

где W_p – потенциальная энергия пробного электрического заряда в электрическом поле, а q_t – значение пробного заряда. Согласно уравнению (1), потенциал φ является коэффициентом пропорциональности между q_t и потенциальной энергией пробного заряда W_p . Однако уравнение (1) не отражает физического содержания потенциала центрального поля. Во-первых, "пробный заряд" является математической абстракцией, вместо него, согласно условию реальности, следует применять понятие "полевой заряд". Во-вторых, потенциальная энергия поля в месте расположения полевого заряда зависит от напряженности поля, а о ней в уравнении (1) не говорится ничего.

Потенциальная энергия центрального поля – это энергия, накопленная при деформировании полевой среды после внесения в нее **полеобразующего заряда**. В разделе, посвященном энергии центрального поля, поясняется, что потенциальная энергия полевого заряда W_p , указанная в уравнении (1), отражает лишь локальную деформированность полевой среды (в оболочке полевого заряда). **Потенциальная энергия центрального поля, образованного полеобразующим зарядом, предполагается значительно большей, чем потенциальная энергия поля, образованного полевым зарядом.** Если полагать пробный заряд не влияющим на напряженность поля, как сказано в его определении, то физический смысл потенциала центрального поля – это локальная характеристика деформированности полевой среды в любой точке центрального поля.

Поскольку деформированность полевой среды имеет место независимо от того, находится ли в центральном поле пробный заряд, то потенциал поля не зависит от характеристик так называемого пробного заряда: ни от q_t , ни от W_p . Значит, уравнением, определяющим потенциал поля, должно быть не уравнение (1), а другое уравнение, показанное ниже.

3. Что такое эквипотенциальная поверхность?

Геометрическое место точек поля, в которых значения потенциала поля одинаковы, называют эквипотенциальной поверхностью (иногда поверхностью уровня). Эта поверхность может иметь любую форму, но чаще всего в центральном поле статического заряда на достаточном удалении от центра заряда она имеет **сферическую форму**. В центральном поле бесконечно длинного уединенного проводника и в вихревом поле токового заряда прямого тока эквипотенциальная поверхность имеет **цилиндрическую форму**.

Для упрощения будем считать, что поверхность полеобразующей заряженной системы (заряженного тела) является сферой с радиусом R . Поверхность этой сферы является наименьшей эквипотенциальной поверхностью с площадью, равной $S = 4\pi R^2$, где R – внешний радиус полеобразующего тела. Любая другая эквипотенциальная поверхность с радиусом $r > R$ будет иметь площадь, большую чем S .

4. Определяющие уравнения для потенциала центрального поля.

Рассмотрим потенциал φ полеобразующего заряда Q , равномерно распределенного по поверхности заряженного тела в форме сферы радиуса R , обозначив его символом φ_f . Нижний индекс "f" в данной работе применяется по отношению к величинам центрального поля. Потенциал φ_f (см. Б.Яворский, А.Детлаф, 1990, рис. III.3.1) определяется в общем виде уравнением

$$\varphi_f = k_{f0} \sigma R = k_{f0} QR/S, \quad (2)$$

где k_{f0} – размерный коэффициент центрального поля, значение которого зависит от выбранной системы единиц и от среды. Значения k_{f0} показаны в Таблицах физических величин. Например, в СИ $k_{f0} = 1/\varepsilon_0$, где ε_0 называют электрической постоянной. Поэтому уравнение (2) при подстановке $S = 4\pi R^2$ принимает вид:

$$\varphi_f = Q/4\pi R\varepsilon_0. \quad (3)$$

А в конкретной точке поля при радиусе эквипотенциальной поверхности $r > R$

$$\varphi_f = Q/4\pi r\varepsilon_0, \quad (4)$$

В системе единиц СГСЭ, как и в системе величин ЭСВП, рассматриваемой на данной работе, $k_{f0} = 1$. Для центрального поля, образуемого постоянным по значению зарядом Q , величина φ_Q является местной константой. Как видим, ***потенциал центрального поля в вакууме зависит только от значения полеобразующего заряда Q и от значения радиуса r*** . Уравнение (4) определяет потенциал поля без привлечения для этой цели пробного заряда и уравнения (1).

5. Нарушение принципа причинности при определении потенциала в стандарте.

Возникает вопрос: почему определяющим уравнением для потенциала центрального поля современный стандарт считает уравнение (1), хотя в учебниках и справочниках приводится также и уравнение (4)?

Причиной этого является методологическая ошибка, заключающаяся в нарушении принципа причинности при современном изучении электромагнетизма, описываемая в разделе, посвященном методике преподавания электромагнетизма. Эта методологическая ошибка заключается в том, что изучение физического поля начинается сейчас с

рассмотрения закона взаимодействия полевого заряда с полеобразующим зарядом, в то время как поле полеобразующего заряда может существовать независимо от того, находится ли в нем полевой заряд. Так что необходимости в введении такого понятия, как пробный заряд, никакой нет.

При современной методике преподавания электромагнетизма переходят от изучения силы взаимодействия зарядов к изучению напряженности поля и лишь после этого к определению потенциала поля. Хотя на самом деле напряженность поля является функцией градиента потенциала, то есть не причиной существования потенциала, а следствием существования градиента потенциала.

6. Определяющие уравнения для векторного потенциала вихревого поля.

В вихревом поле, образованном движущимся зарядом $\mathbf{Q} = Q\mathbf{v}$, потенциал поля (как и сам движущийся заряд) является векторной величиной и называется **векторным потенциалом**. Векторный потенциал в современной электродинамике обозначается символом \mathbf{A} , а в системе величин ЭСВП символом $\boldsymbol{\varphi}_c$, поскольку нижний индекс "c" применяется по отношению к величинам вихревого поля. Векторный потенциал параллелен направлению движения заряженной системы и определяется по уравнению, аналогичному уравнению (2):

$$\boldsymbol{\varphi}_c = k_{c0} \mathbf{Q}r/S = k_{c0} \mathbf{Q}/4\pi r, \quad (5)$$

где k_{c0} – размерный коэффициент вихревого поля в физическом вакууме; r – радиус сферической эквипотенциальной поверхности S , проведенной из центра системы отсчета; $\mathbf{Q} = Q\mathbf{v}$ – движущийся заряд (один из двух вариантов динамического заряда); \mathbf{v} – скорость движущейся заряженной системы. Для электромагнитного поля k_{c0} равен в СИ магнитной постоянной μ_0 . В системе величин ЭСВП $k_{c0} = 1/c^2$, где c – электромагнитная постоянная.

Для магнитного поля, образованного токовым зарядом прямого тока $\mathbf{Q} = \mathbf{I}l$ (другим вариантом динамического заряда), эквипотенциальная поверхность является цилиндром с площадью боковой поверхности $S = 2\pi bl$, где b – радиус цилиндра и l – длина цилиндра. Поэтому определяющее уравнение (5) можно записать в СИ для этого случая в виде:

$$A = [\mu_0 (I)]/S = [\mu_0 (I)]/2\pi l . (6)$$

Выносить длину l за скобки выражения для токового заряда (I) с целью ее последующего сокращения нельзя, чтобы не потерялось физическое содержание токового заряда.

7. Размерности и единицы потенциала поля.

Размерность потенциала центрального поля в вакууме φ_f вытекает из определяющего уравнения (4). В системе величин ЭСВП, где размерность заряда обозначается символом Q , размерность потенциала электрического поля равна $L^{-1}Q$, что соответствует единице Кл m^{-1} . В СИ применяются две другие единицы (Дж Кл $^{-1}$ и В), хотя и равные Кл m^{-1} .

Единица Дж Кл $^{-1}$ соответствует уравнению (1), противоречащему принципу причинности. Другая единица – В (Вольт) – вытекает из уравнения $U = P/I$, в котором U – падение напряжения (разность потенциалов) на участке электрической цепи, P – мощность электрического тока, I – электрический ток. Но ток I и его мощность P к потенциалу электрического поля отношения не имеют. Разность потенциалов поля не является аналогом падения напряжения на клеммах проводника с током.

Если в СИ приравнять размерность разности электрических потенциалов $L^2MT^{-2}I^{-1}$ к размерности потенциала $L^{-1}T$ (которой соответствует единица Кл m^{-1}), то после подстановки размерности электрического тока $I = L^{3/2}M^{1/2}T^{-2}$ мы придем к тождеству (о размерности I см. в в разделе, посвященном обобщенным производным величинам). Так что в СИ необходимо применять для скалярного потенциала электрического поля единицу Кл m^{-1} вместо единиц В и Дж Кл $^{-1}$.

Размерность векторного потенциала магнитного поля в системе величин ЭСВП равна $L^{-2}TQ$, чему соответствует единица $m^{-2} c$ Кл = $m^{-2} c^2 A$. В СИ размерность векторного потенциала равна $LMT^{-2}I^{-1}$, но принята единица Тл $m = Н с Кл^{-2}$. Размерность $LMT^{-2}I^{-1}$ из СИ легко преобразуется в размерность $L^{-2}T^2I$ с единицей $m^{-2} c^2 A$ как в системе ЭСВП. Таким образом, введение в электромагнетизм единицы Тл (Тесла) продиктовано желанием краткой записи, но прежде всего желанием не показывать в единице потенциала единицу массы килограмм.

Литература

1. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.

4.5.11. Что такое напряженность физического поля?

1. Определение понятия "напряженность физического поля".

В словарях и энциклопедиях обобщенное определение термина "напряженность поля" отсутствует, имеются определения, относящиеся лишь к конкретным формам поля, например, напряженность электрического, магнитного, гравитационного поля. Синтезируя эти определения, **напряженностью физического поля можно назвать векторную величину, характеризующую состояние поля взаимодействия в конкретной точке, находящейся на каком-то расстоянии от центра полеобразующей заряженной системы.**

Поскольку речь идет о напряженном состоянии поля в точке, следовательно, имеется в виду **локальная напряженность** поля, то есть, напряженность в **точке эквипотенциальной поверхности**. Но о том, что слово "локальная" опущено, обычно не упоминается. Однако это следует иметь в виду, так как рассматривают также и **полную напряженность**, то есть **локальную напряженность, протинтегрированную по площади какого-то участка эквипотенциальной поверхности.**

Добавим также, что в основных европейских языках термин "напряженность поля" звучит как "**интенсивность поля**". Термин "интенсивность поля" указывает на плотность энергии поля в интересующей нас точке, а термин "напряженность поля" указывает на то, что полевая среда деформирована. С этой точки зрения термин "напряженность поля" несет несколько иную информацию, чем термин "интенсивность поля". Применение термина "интенсивность поля" обходит стороной вопрос о том, деформируема ли полевая среда, тогда

как термин “напряженность поля” отвечает на этот вопрос утвердительно.

2. Нарушение принципа причинности при современном определении напряженности поля.

Если судить по определению в Словаре естественных наук (Глоссарий.ру), то “*Напряженность электрического поля – векторная величина, характеризующая электрическое поле в заданной точке и определяющая силу, действующую на заряженную частицу со стороны электрического поля. Напряженность электрического поля численно равна отношению силы, действующей на заряженную частицу, к ее заряду.*” К сожалению, по этому тексту невозможно установить: то ли напряженность определяет силу взаимодействия (первое предложение), то ли напряженность зависит от силы взаимодействия (второе предложение).

Локальная напряженность центрального поля, обозначаемая символом **E**, определяется уравнением:

$$\mathbf{E} = \text{grad } \varphi, \quad (1)$$

в котором градиент потенциала поля определяется по напряженностям в разных точках поля, и напряженность поля является **функцией (следствием) потенциала поля φ** . Несмотря на это, потенциал поля считается в современной методологии электромагнетизма (см., например, популярный учебник по физике И.Савельева, 2005, кн. 2, параграф 1.6) всего лишь вспомогательной функцией, упрощающей расчеты.

В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) сказано, что напряженность электрического поля равна отношению силы, действующей на пробный заряд, к значению этого заряда. То есть в современной физике локальная напряженность в центральном поле зависит от значения пробного заряда q_1 (то есть от математической абстракции) и от силы взаимодействия **F** полеобразующего и пробного зарядов и определяется по уравнению

$$\mathbf{E} = \mathbf{F}/q_1. \quad (2)$$

Такое определение напряженности **неверно**, так как физическое поле заряженной системы (его оболочка) существует независимо от

того, находится ли в поле этой системы пробный заряд или он отсутствует. Если считать, что пробного заряда нет, то напряженность поля не по чему будет определять. Но в действительности напряженность поля существует постольку, поскольку имеется само поле, образуемое полеобразующей заряженной системой. Сила взаимодействия полеобразующего заряда и полевого заряда появляется лишь после того, как в уже существующее поле вносится реальный полевой заряд. Поэтому справедливым следует считать противоположно записанное уравнение

$$F = Eq, (3)$$

где q это реальный полевой заряд. **Сила взаимодействия является следствием существования физического поля, а не причиной появления напряженности поля.** Так мы приходим к выводу, что современная методика преподавания электромагнетизма начинается с несоблюдения принципа причинности. То же самое можно сказать и о методике преподавания гравитации. **Сила тяготения зависит от напряженности гравитационного поля, а не наоборот.**

Напряженность центрального поля является градиентом скалярного потенциала этого поля и должна определяться по уравнению (1). Потенциал поля, в свою очередь, зависит от значения полеобразующего заряда Q и от расстояния r между центром полеобразующего заряда и рассматриваемой точкой. **Определение напряженности центрального поля по уравнению (2) приводит только к затруднениям при преподавании,** заставляя учащихся заучивать материал, противоречащий принципу причинности.

3. Бессмыслица термина “поток вектора напряженности”.

В современной физике вместо термина “**полная напряженность**”, подразумевающей интегральную сумму локальных напряженностей, взятую по площади участка эквипотенциальной поверхности, применяют термин “**поток вектора напряженности**”.

В разделе, посвященном математическому термину “поток вектора”, указано на бессмысленность этого термина при его применении в физике. Поэтому и термин “**поток вектора напряженности**” следует всюду заменять термином “**полная напряженность**”, тем самым отличая полную напряженность от локальной. В крайнем случае,

применять термин "**напряженность по площади**".

Уже около 200 лет существует теорема Гаусса, современный текст которой звучит так: "*поток вектора напряженности электрического поля через замкнутую поверхность равен алгебраической сумме заключенных внутри этой поверхности электрических зарядов.*" (К тексту этой теоремы после введения системы единиц СИ обычно добавляют слова "*деленной на ϵ_0* "). Из теоремы Гаусса однозначно следует, что локальная напряженность поля является удельной производной величиной, равной полной напряженности, приходящейся на единицу площади рассматриваемого участка эквипотенциальной поверхности. А в современной физике в полном противоречии с принципом причинности поток вектора напряженности определяется как функция от локальной напряженности.

4. Необходимость применения термина "чистая напряженность".

Если при определении напряженности поля не учитываются ни форма описания поля, ни свойства полевой среды, ни принятая система единиц, то такую напряженность в физике изредка называют **чистой напряженностью**. **Эта физическая величина фиктивна, так как поле не может существовать, если нет среды.** Но чистая напряженность поля применяется фактически достаточно часто, хотя и без специального названия, в чем можно убедиться, просмотрев таблицу напряженностей поля. В СИ чистая напряженность электрического поля обозначается выражением $(\epsilon_0 \mathbf{E})$, а чистая напряженность магнитного поля – выражением (\mathbf{B}/μ_0) . Для обозначения чистой напряженности поля в принятой в данной работе системе индексации к обобщенному символу напряженности \mathbf{E} добавляется нижний индекс, учитывающий форму описания поля. Например, чистая напряженность центрального поля – \mathbf{E}_f , а чистая напряженность вихревого поля – \mathbf{E}_c .

В разделе, посвященном потенциалу поля, определяющее уравнение для потенциала центрального поля, обозначено символом φ_f :

$$\varphi_f = k_{f0} Qr/S, \quad (4)$$

где k_{f0} – размерный коэффициент, учитывающий свойства полевой среды; Q – заряд полеобразующей системы; S – площадь участка эквипотенциальной поверхности с радиусом r . Если свойства полевой среды не учитываются, то это приводит к $k_{f0} = 1$. Градиент потенциала

центрального поля в этом случае равен

$$\text{grad } \varphi_f = d\varphi_f/dr = Q/S. \quad (5)$$

Подстановка $\text{grad } \varphi_f$ в уравнение (1) приводит к определяющему уравнению для **чистой напряженности** центрального поля:

$$\mathbf{E}_f = Q \mathbf{e}_r / S, \quad (6)$$

где \mathbf{e}_r – орт, придающий локальной напряженности \mathbf{E}_f направленность по радиус-вектору \mathbf{r} .

5. Уравнение локальной напряженности центрального поля в вакууме.

Если учитывать свойства полевой среды, то **локальная напряженность** центрального поля будет учитываться коэффициентом k_{f0} . Такая напряженность будет равна:

$$\mathbf{E}_f = k_{f0} Q \mathbf{e}_r / S. \quad (7)$$

В СИ в электростатике $k_{f0} = 1/\varepsilon_0$, а в СГСЭ и системе величин ЭСВП $k_{f0} = 1$. Уравнение (7) относится как к электростатическому полю, так и к гравистатическому полю, размерный коэффициент в котором указан в соответствующем разделе. В СИ уравнение (7) для электрического поля в вакууме имеет вид $\mathbf{E} = Q \mathbf{e}_r / \varepsilon_0 S$.

6. Определяющие уравнения для напряженностей вихревого поля.

Для вихревого поля динамического полеобразующего заряда уравнение чистой напряженности:

$$\mathbf{E}_c = [Q_c \mathbf{e}_r] / S. \quad (8)$$

где S – площадь эквипотенциальной поверхности вихревого поля динамического заряда Q_c . Локальная напряженность в физическом вакууме определяется уравнением:

$$\mathbf{E}_{cv} = k_{c0} [Q_c \mathbf{e}_r] / S, \quad (9)$$

где k_{c0} – размерный коэффициент вихревого поля в вакууме. В СИ

$k_{c0} = \mu_0$, а в СГСЭ и системе величин ЭСВП $k_{c0} = 1/c^2$. Уравнение (9) относится как к электродинамическому (магнитному) полю, так и к гравитационному полю, размерный коэффициент в котором указан в соответствующем разделе. В СИ уравнение (9) для магнитного поля в вакууме, образуемого заряженной системой с движущимся зарядом, имеет вид $\mathbf{B} = \mu_0 [(q\mathbf{v}) \mathbf{e}_r]/S$.

7. Линии напряженности физического поля.

Линии на графике, к которым касателен вектор напряженности, называют **линиями напряженности** поля. В учебниках по физике иногда говорится о том, что векторы напряженности касательны к линии напряженности, но такое утверждение противоречит принципу причинности. Наоборот, **конфигурация линий напряженности поля зависит от направления векторов напряженности поля**.

Чаще всего линии напряженности поля называют **силовыми линиями** поля. Это название отражает приведенную выше нелогичность в терминологии, относящейся к напряженности поля. К тому же, термин “силовые линии” неверен, когда речь идет о вихревом поле. Если в центральном поле силовые линии отображают то же самое, что и линии напряженности, то в вихревом поле силы взаимодействия перпендикулярны линиям напряженности, которые по этой причине уже не стоило бы в вихревом поле называть силовыми линиями.

8. О некорректности терминологии и символики напряженностей поля в электромагнетизме.

В физике исторически сложилась символика напряженностей различных форм описания электромагнитного поля. В частности, напряженность гравитационного поля в вакууме обозначают символом **G**, напряженность электростатического поля в вакууме обозначают символом **E** (без всяких индексов), напряженность магнитного поля в вакууме обозначают символом **B** и называют не напряженностью, а магнитной индукцией (что, в принципе, не точно), напряженность электростатического поля в веществе обозначают символом **D** и называют электрическим смещением, а напряженность магнитного поля в веществе обозначают символом **H**. В литературе по физике и метрологии изредка указывают на некорректность подобной терминологии и отсутствие системности в символике, но не решаются что-либо изменить.

В системе величин ЭСВП для того, чтобы различить символы локальных напряженностей поля в разных формах физического поля, решено использовать систему нижних индексов к единому символу напряженности **E** (см. приведенную ниже Таблицу напряженностей, а также Таблицу величин физического поля).

9. Путаница в определении размерностей и единиц напряженностей поля.

Напряженность электрического поля в соответствии с формулой (2) измеряется в Н Кл⁻¹ (А.Чертов, 1990). Но тот же справочник указывает, что на практике напряженность электрического поля **E** выражается в В м⁻¹ в соответствии с формулой (1). Практики лучше чувствуют истину, чем теоретики.

Напряженность гравитационного поля, как сказано у А.Чертова (1990), определяют по уравнению (1), и она может измеряться в Дж кг⁻¹ м⁻¹. Но страницей раньше в том же справочнике напряженность гравитационного поля определяют по уравнению (2), и, в соответствии с этим, считают единицу напряженности, равной м с⁻². И на этом основании делается **неверный вывод** о том, что напряженность гравитационного поля (динамическая величина) равна ускорению свободного падения (кинематической величине).

В дополнение к этому гравитационный заряд (так называемую гравитационную массу) *m* с единицей кг приравнивают к так называемой инертной массе *m_{in}*, единица которой равна Дж м² с². Приравнивание *m* и *m_{in}* осуществляется в соответствии с принципом эквивалентности масс, о некорректности которого рассказано в разделе, посвященном этому принципу. И эта путаница, в итоге, привела к созданию так называемой ЛТ-системы величин, в которой вообще отсутствуют размерности динамических величин.

В электромагнетизме в соответствии с уравнением (6) размерность напряженности центрального поля **E_f** равна L⁻²Q, а единица равна м⁻² Кл. Это равно единице напряженности поля **E** в СИ, равной В м⁻¹, но не соответствует ей. А метрологический справочник А.Чертова (1990) рекомендует единицу Н Кл⁻¹, вытекающую из неверного уравнения (2).

Размерность чистой напряженности вихревого поля **E_c**, записываемой

в электромагнетизме как \mathbf{V}/μ_0 , равна $L^{-1}T^{-1}Q$, а единица равна $m^{-1}c^{-1}$ Кл или $m^{-1}A$, а размерность напряженности вихревого поля в физическом вакууме, записываемой в электромагнетизме как магнитная индукция \mathbf{B} в соответствии с уравнением (9) равна $L^{-3}TQ$, и единица равна m^{-3} с Кл. В СИ (А.Чертов, 1990) магнитная индукция имеет единицу Тл (тесла), с размерностью $MT^{-2}I^{-1}$, расшифровываемую, как m^{-1} с Н Кл $^{-1}$.

Сравнение размерностей и единиц напряженностей всех форм физического поля в СИ и в предложенной автором сайта системе величин ЭСВП можно сделать с помощью приведенной ниже Таблицы напряженностей, детальный анализ которой приведен в отдельном разделе.

10. Таблица символов, размерностей и единиц напряженностей.

Форма физического поля	Вид среды	Обозначение напряженности	Размерность напряженности в ЭСВП		Единица напряженности в ЭСВП		Размерность напряженности в СИ	Единица напряженности в СИ
			в ЭСВП	в СИ				
<u>Гравистатическое</u> ¹⁾	физический вакуум	\mathbf{E}_{gv}	\mathbf{G}	$L^{-2}Q$	кг/м ²	LT^{-2}	м/с ²	
<u>Гравистатическое</u> ²⁾	внутри вещества	\mathbf{E}_{gs}	-	$L^{-2}Q$	кг/м ²	-	-	
Электрическое ³⁾	без учета среды	\mathbf{E}_e	$\epsilon_0\mathbf{E}$	$L^{-2}Q$	Кл/м ²	$L^{-2}TI$	Кл/м ²	
Электрическое ⁴⁾	физический вакуум	\mathbf{E}_{ev}	\mathbf{E}	$L^{-2}Q$	Кл/м ²	$LMT^{-3}I^{-1}$	Н/Кл; В/м	
Электрическое ⁵⁾	внутри вещества	\mathbf{E}_{efix}	\mathbf{P}	$L^{-2}Q$	Кл/м ²	$L^{-2}TI$	Кл/м ²	
Электрическое ⁶⁾	с учетом вещества	\mathbf{E}_{efor}	\mathbf{D}	$L^{-2}Q$	Кл/м ²	$L^{-2}TI$	Кл/м ²	
<u>Гравидинамическое</u> ²⁾	физический вакуум	\mathbf{E}_{iv}	-	$L^{-3}TQ$	кг·с/м ³	(T^{-1})	(c^{-1})	

	вакуум						
<u>Гравидинамическое</u> ²⁾	внутри вещества	E_{is}	-	$L^{-1}T^{-1}Q$	кг/(м·с)	-	-
Магнитное ⁷⁾	без учета среды	E_m	B/μ_0	$L^{-1}T^{-1}Q$	Кл/(м·с)	$L^{-1}I$	А/м
Магнитное ⁸⁾	физический вакуум	E_{mv}	B	$L^{-3}TQ$	Кл·с/м ³	$MT^{-2}I^{-1}$	Тл
Магнитное ⁹⁾	внутри вещества	E_{mfix}	M	$L^{-1}T^{-1}Q$	Кл/(м·с)	$L^{-1}I$	А/м
Магнитное ¹⁰⁾	с учетом вещества	E_{mfor}	H	$L^{-1}T^{-1}Q$	Кл/(м·с)	$L^{-1}I$	А/м

Литература

1. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики. – М.: АСТ: Астрель.
2. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.

4.5.12. Силы взаимодействия заряженных систем в разных формах поля

Чтобы избежать недопонимания при обозначении сил взаимодействия, применяется система индексации с помощью нижних индексов. Для сил взаимодействия зарядов в физическом поле применяются те же нижние индексы, что и для напряженностей в физическом поле. Отсутствие нижних индексов у символа силы F приводит к затруднениям при преподавании.

1. Силы взаимодействия заряженных систем в центральном поле.

Сила взаимодействия полеобразующей и полевой заряженных систем в центральном поле F_f определяется в физике двумя известными законами: **законом Кулона для электростатического поля и законом всемирного тяготения Ньютона для гравитационного поля (а точнее - для гравистатического поля)**. Оба закона открыты

экспериментально. Покажем, как оба эти закона выводятся с помощью понятия локальная напряженность центрального поля \mathbf{E}_f по уравнению

$$\mathbf{F}_f = \mathbf{E}_f q_f \quad (1)$$

где q_f – полевой заряд. В СИ это уравнение записывается как $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$. В примененной последовательности вывода **сначала** по полеобразующему заряду Q_f определяется локальная напряженность поля с помощью уравнения

$$\mathbf{E}_f = k_{f0} Q_f \mathbf{e}_r / S_f, \quad (2)$$

где k_{f0} – **размерный коэффициент** центрального поля; S_f – площадь эквипотенциальной поверхности; \mathbf{e}_r – орт, направленный от центра полеобразующей заряженной системы в точку поля, где определяется напряженность. Затем по напряженности \mathbf{E}_f и по заряду q_f внесенной в поле заряженной системы определяется сила взаимодействия заряженных систем \mathbf{F}_f . Далее уравнение (1) с учетом уравнения (2) преобразуется в уравнение **обобщенного закона взаимодействия зарядов** в центральном поле:

$$\mathbf{F}_f = k_{f0} N_Q N_q q_e^2 \mathbf{e}_r / S_f, \quad (3)$$

где q_e – элементарный заряд; N_Q и N_q – количества элементарных зарядов в полеобразующей и в полевой заряженных системах. Форма записи (3) аналогична записи в статье Г. Трунова (2004).

Если нужно различать силы взаимодействия в разных формах поля, силу взаимодействия в гравитатическом поле в вакууме, называемую **силой притяжения**, можно обозначить символом \mathbf{F}_{gv} (или \mathbf{F}_g), а силу взаимодействия в электрическом поле в вакууме, называемую **кулоновской силой**, можно обозначить символом \mathbf{F}_{ev} (или \mathbf{F}_C).

2. Силы взаимодействия заряженных систем в вихревом поле.

Сила взаимодействия полеобразующей и полевой заряженных систем в вихревом поле (\mathbf{F}_c) связана с локальной напряженностью этого поля \mathbf{E}_c уравнением

$$\mathbf{F}_c = [\mathbf{E}_c \mathbf{q}_c], \quad (4)$$

где \mathbf{q}_c – динамический заряд системы. В СИ это уравнение имеет вид \mathbf{F}

= $[(q\mathbf{v}) \mathbf{B}]$. Уравнение (4) в СИ обычно записывается **неверно** в виде $\mathbf{F} = q[\mathbf{v}\mathbf{B}]$. В случае, если динамический заряд $\mathbf{q}_c = (i\mathbf{l})$, то уравнение (4) следует записывать в виде $\mathbf{F} = [(i\mathbf{l}) \mathbf{B}]$, а не в виде $\mathbf{F} = i[\mathbf{l} \mathbf{B}]$.

Уравнение для определения силы взаимодействия \mathbf{F}_c двух движущихся друг относительно друга заряженных систем с динамическими зарядами вихревого поля \mathbf{Q}_c и \mathbf{q}_c имеет ту же структуру, что и уравнение (3), но записывается после подстановки в уравнение (4) значения напряженности вихревого поля \mathbf{E}_c с помощью векторного произведения динамических зарядов \mathbf{Q}_c и \mathbf{q}_c :

$$\mathbf{F}_c = k_{c0} [\mathbf{Q}_c \mathbf{q}_c] / S_c , (5)$$

где S_c - площадь эквипотенциальной поверхности вихревого поля. Если взаимодействующие динамические заряды являются движущимися зарядами $\mathbf{Q}_c = Q\mathbf{v}_Q$ и $\mathbf{q}_c = q\mathbf{v}_q$, то уравнение (5) преобразуется в уравнение

$$\mathbf{F}_c = k_{c0} N_Q N_q q e^2 [\mathbf{v}_Q \mathbf{v}_q] / S_c . (6)$$

Если взаимодействующие динамические заряды являются токовыми зарядами с одинаковой длиной проводников l , то есть, $\mathbf{Q}_c = \mathbf{I}l$, а $\mathbf{q}_c = i\mathbf{l}$, то уравнение (5) преобразуется в уравнение

$$\mathbf{F}_c = k_{c0} [\mathbf{I} \mathbf{i}] l^2 / S_c . (7)$$

3. Силы противодействия физического поля изменению состояния полевой системы.

При неизменной напряженности поля изменение положения заряженной системы в поле или изменение значения заряда в этой системе вызывает противодействие физического поля. В свою очередь, изменение положения заряженной системы может возникнуть как при перемещении системы в поле, так и при повороте системы относительно вектора напряженности поля. В обоих случаях возникает противодействие поля, действующее на заряженную систему при переходном процессе в ее новое состояние.

1. При изменении положения заряженной системы при ее прямолинейном перемещении $d\mathbf{x}$ под воздействием сторонней силы возникает **сила противодействия** поля \mathbf{F} изменению положения системы, определяемая по уравнению

$$\mathbf{F} = (dW/dx) \mathbf{e}_F, \quad (8)$$

где \mathbf{e}_F – орт силы противодействия. Уравнение для определения изменения энергии противодействия dW записывается в виде скалярного произведения векторов

$$dW = \mathbf{F} d\mathbf{x}. \quad (9)$$

2. При изменении положения заряженной системы в поле вследствие ее поворота на угол $d\varphi$ относительно направления вектора напряженности физического поля возникает **момент противодействия** поля \mathbf{M} , определяемый по уравнению

$$\mathbf{M} = (dW/d\varphi) \mathbf{e}_M, \quad (10)$$

где \mathbf{e}_M – орт момента противодействия. Уравнение для определения изменения энергии противодействия

$$dW = \mathbf{M} d\varphi. \quad (11)$$

3. При изменении значения заряда системы dq (при неизменности положения системы в поле) тоже возникает противодействие поля, обозначенное в обобщенном виде как \mathbf{U} и определяемое по уравнению

$$\mathbf{U} = (dW/dq) \mathbf{e}_U, \quad (12)$$

где \mathbf{e}_U – орт противодействия поля. Уравнение для определения изменения энергии противодействия dW

$$dW = \mathbf{U} dq. \quad (13)$$

Уравнения (8), (10) и (13) не отличаются по своей структуре друг от друга. Величины \mathbf{F} , \mathbf{M} и \mathbf{U} соответствуют динамическим воздействиям поля на заряженную полевою систему.

4. Силы воздействия изменения поля на полевою заряженную систему.

Рассмотрим воздействие изменения напряженности поля на полевою заряженную систему, неподвижную относительно центра полеобразующего заряда. При таком изменении происходит

энергетическое воздействие самого физического поля dW на изменяющую свои свойства заряженную систему. Запишем, например, определяющее уравнение для потенциальной энергии системы в электростатическом поле:

$$W_p = q_f Q_f / 4\pi\epsilon_0 r . (14)$$

Элементарное приращение потенциальной энергии при изменении значения полеобразующего заряда Q_f определится, соответственно, по уравнению:

$$dW_p = (q_f / 4\pi\epsilon_0 r) dQ_f . (15)$$

Теперь запишем уравнение для определения элементарного приращения локальной напряженности поля при неизменном значении заряда заряженной полевой системы q_f и изменении значения заряда полеобразующей системы Q_f в уравнении для определения силы взаимодействия **F**:

$$d\mathbf{E}_f = d\mathbf{F} / q_f = \{ [(k_{f0} / S_f) q_f \mathbf{e}_r] / q_f \} dQ_f . (16)$$

Сравнение уравнений (15) и (16) приводит к уравнению:

$$dW_p = q_f \mathbf{r} d\mathbf{E}_f . (17)$$

Полученным уравнением (17) можно воспользоваться также для определения энергетического воздействия на заряженную полевую систему со стороны изменяющегося физического поля при повороте вектора напряженности поля.

Литература

1. Трунов Г.М. К вопросу о равенстве инертной и гравитационной масс макроскопического тела // Законодательная и прикладная метрология. – 2004. – № 2. – с.с. 60–61.

4.5.13. Единица заряда физического поля

1. Единица заряда - основная или производная единица?

В разделе, посвященном обобщенным координатам состояния, указывается, что одной из них должен быть элементарный заряд поля. Однако в СИ в качестве условной основной величины принят электрический ток, а не электрический заряд. Следовательно, единица электрического заряда является пока производной единицей в СИ. Это продиктовано требованиями практической метрологии и разрешено существующим определением основной величины, которое разрешает вводить основную величину условно. Физиками признается, что замена электрического заряда электрическим током в качестве основной величины противоречит принципу причинности. Возможно, в процессе переопределения основных единиц это противоречие будет устранено.

Система величин ЭСВП придерживается строгого соблюдения принципа причинности, и поэтому в ней заряд системы введен в качестве основной величины, но тоже условно по причине, объясняемой в разделе о комплексе основных величин. После вывода обобщенных уравнений силы взаимодействия зарядов поля и уточнения определения понятия "заряд" появилась возможность определения размерности заряда. Учитывая, что заряд системы является произведением элементарного заряда на число элементарных зарядов в системе и что число структурных элементов (оно же количество считаемых величин) при обновлении СИ станет основной физической величиной со своей размерностью C , появилась возможность объективного определения размерности как для элементарного заряда, так и для заряда системы.

Элементарными зарядами электромагнитного поля являются электроны и позитроны, а в гравитационном поле ими являются атомы, молекулы, ионы и т.п. физические объекты макромира, имеющие массу.

2. Размерности заряда системы и элементарного заряда в системе величин.

Применим для размерности заряда символ Q . В разделе, посвященном силам взаимодействия зарядов, присутствует такая запись определяющего уравнения для силы взаимодействия заряженных систем в центральном поле:

$$\mathbf{F}_f = k_{f0} N_Q N_q q_e^2 \mathbf{e}_r / S_f, \quad (1)$$

где \mathbf{F}_f – сила взаимодействия систем; k_{f0} – размерный коэффициент центрального поля; S_f – площадь эквипотенциальной поверхности; Q – заряд полеобразующей заряженной системы; q – заряд полевой заряженной системы; q_e – элементарный заряд; \mathbf{e}_r – орт радиус-вектора, соединяющего центры взаимодействующих заряженных систем; N_Q и N_q – количества элементарных зарядов в полеобразующей и в полевой заряженных системах.

В системе величин ЭСВП размерность силы \mathbf{F}_f равна $E L^{-1}$, размерность коэффициента k_{f0} равна 1 (см. Таблицу величин физического поля), размерности N_Q и N_q обозначаются символом С и размерность площади S_f равна L^2 . Анализ размерностей уравнения (1) приводит к следующей **размерности элементарного заряда**:

$$\dim q_e = E^{1/2} L^{1/2} C^{-1}. \quad (2)$$

Соответственно, заряд системы в центральном поле $Q = N_Q q_e$ (или $q = N_q q_e$), и **размерность заряда системы** уже не будет содержать размерности С, то есть она будет равна

$$\dim Q = E^{1/2} L^{1/2}. \quad (3)$$

Уравнение, определяющее силу взаимодействия динамических зарядов, образующих **вихревое поле**, выглядит так:

$$\mathbf{F}_c = k_{c0} N_Q N_q q_e^2 [\mathbf{v}_Q \mathbf{v}_q] / S_c, \quad (4)$$

где \mathbf{F}_c – сила взаимодействия динамических зарядов \mathbf{Q} и \mathbf{q} в вихревом поле; k_{c0} – размерный коэффициент вихревого поля, размерность которого равна $L^{-2} T^2$ (см. Таблицу величин физического поля); S_c – площадь эквипотенциальной поверхности вихревого поля; N_Q и N_q – количества элементарных динамических полеобразующего и полевого зарядов; \mathbf{v}_Q и \mathbf{v}_q – скорости элементарных динамических зарядов. Анализ размерностей уравнения (4) приводит к такой же размерности элементарного заряда, что и в формуле (2), то есть $\dim q_e = E^{1/2} L^{1/2} C^{-1}$, и к такой же размерности заряда системы, то есть $\dim Q = E^{1/2} L^{1/2}$.

Для устранения дробных степеней размерностей и введена условно в

систему величин размерность заряда Q , но при этом заряд остается производной величиной по своему физическому содержанию.

3. Единицы заряда системы и элементарного заряда в системе величин.

Размерности элементарного заряда $E^{1/2}L^{1/2}C^{-1}$ в системе величин ЭСВП соответствует единица $Дж^{1/2} м^{1/2} шт^{-1}$, где шт (штука) – единица числа структурных элементов, в данном случае, числа элементарных зарядов. В электрическом поле единица $Дж^{1/2} м^{1/2} шт^{-1}$ пропорциональна единице электрического заряда Кл (кулон). Единица штука, по-видимому, получит после переопределения единиц другое название, возможно, ent (от слова entity, что переводится как количество сущностей или количество объектов) или cnt (от слова counted, присутствующего в термине number of entities, что переводится как считае́мый).

В гравистатическом поле единицей элементарного заряда (массы) является кг (килограмм). Так называемая "**инертная масса**" (а на самом деле **линейная инертность системы**) в системе величин ЭСВП имеет другую единицу – $Дж м^{-2} с^2$, которая не равна единице массы кг (килограмм). Систематизация физических величин приводит в данном случае важный дополнительный аргумент в пользу отрицания справедливости принципа эквивалентности масс.

4. Единица заряда в системе единиц СИ.

В СИ нет различия между единицей заряда системы и единицей элементарного заряда, поскольку число структурных элементов системы во всех существующих системах единиц пока не имеет ни размерности, ни единицы. В качестве единицы заряда гравитационного поля (массы) в СИ принят килограмм. А в качестве единицы заряда электромагнитного поля принят кулон. Ниже показано, какую взаимосвязь между этими двумя единицами предполагают некоторые физики.

Размерности и единицы размерных коэффициентов электромагнитного поля (электрической и магнитной постоянных) в СИ установлены также с нарушением принципа причинности. Размерность динамического заряда магнитного поля должна, в принципе, выводиться из размерности заряда электрического поля, то есть быть

следствием этой размерности. И тогда размерность и единица магнитной постоянной должны определяться по размерности и единице электрической постоянной. А в современной физике и, соответственно, в СИ сделано наоборот. Единица магнитной постоянной установлена априорно, а по ней и по электромагнитной постоянной рассчитана единица электрической постоянной. В системе единиц СГС имелось наличие дробных степеней в показателях размерностей и единиц электрических и магнитных величин, что неудобно. В СИ от дробных степеней избавились ценой введения электрического тока в качестве условной основной величины. Возможная замена электрического тока на электрический заряд в процессе переопределения единиц ничего не изменит в этом плане.

5. Условия успешной систематизации физических величин

К началу XXI века накопилась большая информация по проблеме систематизации физических величин (см. раздел "История проблемы"). Анализ этой информации позволяет выяснить те основные условия, при соблюдении которых удается успешно решать проблему обобщения и систематизации физических величин. Эти условия перечислены и аргументированы в данном разделе.

Примечания:

- Данные условия не аксиомы и не постулаты, положенные в основу математизированной теории.
- Данные условия выявлены многолетними исследованиями ученых, работающих в этой области.
- Проверка на выполнение этих условий так же эффективна при систематизации величин, как анализ размерностей при проверке правильности определяющих уравнений.

Ниже приведены только формулировки условий, их подробное разъяснение можно получить, пройдясь по соответствующим ссылкам.

1. Принцип причинности.

Причина всегда предшествует следствию.

2. Условие аналогий.

Модели конкретной физической системы являются копиями модели обобщенной физической системы.

3. Условие классификации понятий.

Для успешной систематизации физических величин необходима классификация физических понятий и их уточнение с целью приведения названия понятия в соответствие с его физическим содержанием.

4. Условие реальности (Условие отсутствия абстракций в физике при систематизации величин).

Успешно поддаются систематизации те физические величины, которые имеют реальное физическое содержание, абстрактные величины систематизации поддаются условно.

5. Условие приращений.

Определяющие уравнения физических величин любой формы движения должны составлять для изменений (приращений) физических величин, а не для их абсолютных значений.

6. Условие направленности.

Перемещения энергоносителей (координат состояния) должны рассматриваться как векторные (или псевдовекторные) величины.

7. Условие показателей размерности.

Физическая величина (не являющаяся удельной величиной) не может иметь размерность только с отрицательными показателями.

Применение систем величин и систем единиц, в которых не выполняются приведенные условия, не приводит к успешному обобщению и систематизации физических величин.

**5.1. Принцип причинности
(принцип причинно-следственной связи, детерминизм)**

1. Современная физика не всегда соблюдает принцип причинности.

Принцип причинности, казалось бы, предельно прост и очевиден: причина всегда предшествует следствию. Но именно этот принцип часто нарушается вследствие чрезмерной математизации физики. Нобелевский лауреат Р.Фейнман с горечью отмечает: *“Стало более предпочтительным... угадывать уравнения, не обращая внимания на физические модели или физическое объяснение того или иного явления. Ученые перестали тяготиться тем, что их теории не проясняют реальности, они уже не ставят задачей понимание причинно-следственных связей в проявлениях тех или иных законов. **Объяснение явлений перестало быть основной функцией науки**“.*

Во второй половине XX века получили развитие новые научные направления, такие как энергодинамика, синергетика, уроневая физика, которые каждая по своему трактуют необходимость соблюдения принципа причинности. Если **синергетика** определяет порядок как форму самоорганизации хаоса, то **уроневая физика** считает, что *“в основе всего лежит именно порядок, соответствующий совершенному энергетическому режиму, и существуют лишь вынужденные отклонения от него, которые система стремится преодолеть согласно принципу отрицательной обратной связи“* (О.Бондаренко, 2005). **Энергодинамика** (А.Вейник, 1968, В.Эткин, 1992, И.Коган, 1993, 1998) считает **принцип причинности основным принципом природы**. Таким образом, уроневая физика и энергодинамика в этом вопросе отличаются от синергетики.

Следует заметить, что последовательное применение принципа причинности нередко затрудняется излишней математизацией физики по следующей причине. В математических формулах господствует формальная логика, и при переносе этих формул в физику причинно-следственная цепочка подчас не учитывается. Вот часто встречающийся пример. В математике принято в левой части равенства располагать следствие (функцию), а в правой части – причину (аргумент). **При перестановке местами левой и правой части факт равенства остается в силе, и поэтому с точки зрения математики такая перестановка ни на что не влияет. А с точки зрения физики это грубое нарушение принципа причинности.**

2. Наиболее серьезные примеры нарушения принципа причинности.

1. "Обобщенное уравнение динамики" сплошь и рядом записывается в научной литературе таким образом, что причина (разность потенциалов) записывается в левой части уравнения и тем самым становится аргументом следствия.

2. Отсутствие в векторной алгебре операции деления приводит к тому, что в процессе записи уравнений с векторными величинами, описывающих физические поля, причина оказывается в левой части уравнений, а следствие - в правой. В итоге в процессе изучения физических полей господствует индуктивный метод обучения (от частного к общему). Применение же дедуктивного метода обучения (от общего к частному) наталкивается на серьезные методологические препятствия.

Разумеется, изложение физики без применения математики невозможно. Но вполне возможно постоянно помнить обо всех издержках применения математики в физике и пояснять это в тех случаях, когда нарушается принцип причинности. Да и самим ученым учитывать это в своих научных исследованиях. Пример решения проблемы систематизации физических величин показывает, что обязательное соблюдение принципа причинности является **необходимым условием** на всех стадиях этой систематизации.

3. Принцип последовательности – важное следствие принципа причинности.

Из принципа причинности вытекает **принцип последовательности (или принцип очередности)**: **любое свойство, любая характеристика физического явления и любое физическое понятие на любом уровне рассмотрения вытекают из свойств, характеристик и понятий, рассмотренных на более высоких уровнях.** Вот один из примеров формулировки этого принципа (Г.Трунов, 2006): *“При построении системы физических величин подбирается такая последовательность определяющих уравнений, в которой каждое последующее уравнение содержит только одну новую производную величину, что позволяет выразить эту величину через совокупность ранее определенных величин, в конечном счете – через основные величины данной системы величин“.*

В применении к построению таблиц и списков физических величин принцип последовательности выглядит так: **любая физическая**

величина в любом перечне величин должна быть расположена после той величины, которая входит в ее определяющее уравнение.

К сожалению, при составлении списков физических величин в существующих системах единиц этот принцип соблюдается плохо. В системе величин ЭСВП, описываемой в данной книге, этот принцип возведен в ранг закона. Для того, чтобы в этом убедиться, можно посмотреть, к примеру, Таблицу величин физического поля.

Литература

1. Бондаренко О.Я., 2005, Уровневая физика. Что это? – Сборник статей, Бишкек, 96 с.
2. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
3. Коган И.Ш., 1993, Основы техники. Киров, КГПИ, 231 с.4.
4. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
5. Трунов Г.М., 2006, Уравнения электромагнетизма и системы единиц электрических и магнитных величин. – Пермь, ПГТУ, 130 с.
6. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., 1965 - 1977, Фейнмановские лекции по физике, в 9 томах. М.: “Мир”.
7. Эткин В.А., 1992, Основы энергодинамики. – Тольятти, ТПИ.

5.2. Условие аналогий и обобщенная физическая система

В разделе, посвященном теории физических аналогий, раскрывается ее современное понимание и недостатки, связанные с ним. В данном разделе физические аналогии рассматриваются в более широком аспекте.

1. Аналогия обобщенной физической системы – сама природа.

Условие аналогий говорит о том, что обобщенной физической системе присущи все свойства всех конкретных физических систем, потому что любая конкретная физическая система является копией обобщенной физической системы. Только в конкретных системах эти свойства могут быть названы и

обозначены по-разному. Специфика конкретных систем состоит в том, что в них рассматривается обычно ограниченное число форм движения, то есть лишь те формы движения, которые интересуют исследователя и которые существенно влияют на функционирование этой конкретной системы.

Теория физических аналогий и построение моделей-аналогов как раз и основаны на адекватности математического описания процессов в обобщенной физической системе и в различных конкретных физических системах. В теории системотехники это называется **свойством изоморфизма.**

Свойства любой формы движения в системе определяются физической величиной, которой еще два века тому назад Ж.Лагранж дал название "**координата состояния**". Из условия аналогий следует вывод о том, что **координаты состояния форм движения являются частными случаями координаты состояния обобщенной формы движения.**

Между различными свойствами физической системы существуют **взаимосвязи**, которые определяются уравнениями, которые так и называются: **определяющие уравнения** или **уравнения связи.** Благодаря этим уравнениям происходит переход с более высокого иерархического уровня на более низкий, переход от свойств более высокого уровня к свойствам более низкого уровня.

Из "Общей теории" А.Вейника (1968) вытекает, что для обобщенной физической системы и для любой конкретной физической системы существует **единая форма записи определяющих уравнений.** Определяющие уравнения обобщенной физической системы являются как бы калькой для определяющих уравнений для любой формы движения любой физической системы. **Наличие единой формы записи определяющих уравнений предоставляет широкие возможности для обобщения и систематизации физических величин.** Закономерности, наблюдаемые на том или ином уровне, внешне могут отличаться от обобщенных закономерностей обобщенной физической системы. Но эти отличия вызываются только теми особенностями, которые вносит данный уровень.

Следует иметь в виду, что **формы движения, как и любые модели движения, придумываются людьми для удобства исследований.** Многообразие форм движения возникает только в нашем сознании.

Условие аналогий так представлено в работе О.Бондаренко (2003): “... **мир управляется общими, едиными законами, которые проявляются по-разному в зависимости от этажа мироздания; чтобы это понять, мы должны отбросить оболочку и увидеть суть**”. Согласно С.Кадырову (2001) **обобщенная физическая система существует в единой инерциальной системе отсчета.**

Не следует полагать, что обобщенная физическая система должна идентифицироваться по своим размерам со Вселенной или с чем-нибудь еще более глобальным (Мега-Вселенной). С точки зрения системного подхода размер обобщенной физической системы роли не играет. **Она обобщенная потому, что ей аналогичны все конкретные физические системы.**

2. Обобщенная физическая система не нуждается в делении на системы отсчета.

Из признания существования обобщенной физической системы в виде единой инерциальной системы отсчета следуют весьма интересные выводы. **Коль скоро система отсчета едина, то нет необходимости вводить понятия об инерциальных и неинерциальных системах, основных и подвижных системах.**

Понятие “инерциальные системы отсчета” введено в физику в качестве математической абстракции для тех случаев, когда следует пренебречь всеми силами, кроме **сил инерции и сил тяготения**. Но это абстракция, хотя и позволяющая решать многие практические задачи. Нет вообще необходимости говорить о том, что единая система отсчета является абсолютной, основной и инерциальной. Просто следует оставить одно понятие “система отсчета”. Отсюда вывод: **любые классификации систем отсчета противоречат условно аналогий.** Что же касается деления систем отсчета на основные и подвижные, то в современных учебниках по физике И.Савельева (2005, кн.1) и Т.Трофимовой (2004) о таком делении вообще ничего не говорится и, соответственно, ничего не говорится о **делении движений на абсолютное, относительное и переносное.**

Условие аналогий не противоречит принципу причинности, ведь принцип причинности соблюдается в инерциальных системах отсчета и сейчас. Условие аналогий не противоречит и принципу относительности Эйнштейна, согласно которому все **законы природы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета**, так как

обобщенную форму движения можно считать существующей в инерциальной системе отсчета.

3. Условие аналогий прогностично по своей сути.

Из условия аналогий вытекает следствие, названное А.Вейником **критерием перспективности (возможности предсказывать новые явления, недоступные для прежних теорий)**. На существование такого критерия указывают авторы всех систем физических величин, даже различных по своим базовым подходам (например, И.Коган, 1998, А.Чуев, 2004). **Созданы даже электронные пособия, дающие возможность выводить неизвестные ранее физические закономерности в виде уравнений связи между несколькими наперед заданными физическими величинами в любой форме движения (P.Pirnat, 2005, А.Чуев, 2007).**

Условие аналогий распространяется и на физические поля, о различных формах физических полей можно говорить, как о моделях обобщенного физического поля. Многие физики утверждают, что должно существовать **единое физическое поле**, частными случаями которого являются все известные формы физического поля. Поэтому давно и интенсивно ведутся разработки **теории единого поля**. Сама постановка такого вопроса косвенно свидетельствует о признании существования условия аналогий.

О.Бондаренко (2003) говорит: *“... в природе не существует многообразия физических силовых полей, а существует наше восприятие единого поля в виде его различных проявлений – в зависимости от уровня наблюдения и условий эксперимента”*. В работе В.Эткина (2005) идея “великого объединения” предлагается альтернатива. Он считает, что математический аппарат, положенный в основу энергодинамики, в состоянии объяснить все процессы, происходящие в реальных системах, включая и воздействие силовых полей. Условие аналогий разрешает соблюдать во всех формах движения все законы сохранения, положенные в виде обобщенного закона сохранения в основу обобщенной физической системы. По мнению В.Эткина, **к законам сохранения присоединяются условия однозначности: уравнение динамики, уравнение переноса и закон силового взаимодействия зарядов**. Все эти закономерности не входят друг с другом в противоречие, и, следовательно, по мнению В.Эткина, нет необходимости создавать теорию “великого объединения”.

И. Коган также считает, что следует говорить лишь о **различных моделях или о различных формах описания обобщенного физического поля**. По этой же причине нет необходимости при систематизации физических величин углубляться в решение вопроса о том, какая форма его проявления первична.

Литература

1. Бондаренко О.Я., 2003, Картина мира в свете теории единого поля. – Сб. “Другая физика”, <http://www.newphysics.h1.ru>.
2. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
3. Кадыров С.К., 2001, Всеобщая физическая теория единого поля. – Бишкек: “Кыргыз Жер”, №1, также <http://www.newphysics.h1.ru/Kadyrov/Kadyrov-contents.htm>.
4. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
5. Трофимова Т.И., 2004, Краткий курс физики. – М., Высшая школа, 352 с.
6. Чуев А.С., 2004а, О многоуровневой системе физических величин, выражающей законы природы, в частности, структуру и взаимосвязи электромагнитных величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7335.html>
7. Чуев А.С., 2007, Система физических величин. Текстовая часть электронного учебного пособия. <http://www.chuev.narod.ru/>
8. Эткин В.А., 1992, Основы энергодинамики. – Тольятти, ТПИ.
9. Эткин В.А., 2005, Альтернатива “Великому объединению”. – http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/oputjahvelikogoobiedinenija.shtml.
10. Pirnat P., 2005, Physical Analogies. – <http://www.ticalc.org/cgi-bin/zipview?89/basic/science/physanal.zip;physanal.txt>

5.3. Примеры бессистемного применения понятий и терминов в физике и технике

Следуя математическому методу, мы совершенно теряем из виду объясняемые явления и поэтому не можем прийти к более широкому представлению об их внутренней связи, хотя и

можем предвычислять следствия из данных законов

Дж.К.Максвелл

Необходимость адекватности понятий и терминов их физическому содержанию

Выражение “понятийная бессистемность” взято из статьи О.Зайцева (2001), в которой образно сказано: *“Возникновение этой проблемы связывается не с результатом введения каких-либо новых понятий или отказа от использования прежних, а с бессистемной ревизией их внутреннего содержания”*. И еще оттуда же: *“Может быть, переход к языку адекватных понятий станет следующим и немаловажным шагом к решению проблемы корректного описания явлений постклассического уровня”*.

Необходимость адекватности физических понятий и терминов их физическому содержанию так охарактеризована выдающимся физиком В.Гейзенбергом (1987): *“Первая предпосылка познания явлений природы — введение адекватных понятий; лишь с помощью верных понятий мы в состоянии по-настоящему знать, что мы наблюдаем”*.

Превосходный анализ несчетного количества ошибок и несуразностей, встречающихся в современных учебных пособиях по физике и технике, приведен в монографии известного методиста К.Гомоюнова (1983). Проблеме адекватности понятий в метрологии посвящена статья А.Митрохина (2002). Проблеме многозначности одних и тех же физических терминов посвящена монография С.Суrowsикиной (1998). В качестве одного из примеров приведем понятие “энтропия”, многоликость которой детально проанализирована в работе В.Эткина (2006). О понятийной бессистемности можно прочесть в разделе , посвященном теории подобия.

Причины появления не адекватных понятий и терминов в физике

Многие понятия и термины, возникшие еще в XIX веке, а то и раньше, попросту стали противоречить современному уровню науки, но

отказаться от них трудно, поскольку к ним уже настолько привыкли, что перестали замечать их некорректность, а порой и бессмыслицу. Ниже будут показаны примеры того, как одни и те же понятия имеют принципиально различные применения из-за их различного физического содержания, что вводит обучающихся только в заблуждение.

Немало теоретических сведений из смежных технических дисциплин и различных разделов физики плохо стыкуются друг с другом с познавательной точки зрения, хотя они имеют общие основные положения. Причиной этому является применение различных терминов для обозначения родственных, а иногда и одинаковых по природе физических величин, различная форма записи уравнений, имеющих практически одно и то же физическое содержание. Все это усложняет осмысление, познание и запоминание учебного материала. Далеко не все, например, понимают, что **закон Ома в электротехнике, закон Фурье в теплопередаче и закон вязкого трения Ньютона в гидравлике – это одно и то же уравнение переноса, только записанное разными символами и в разной форме после чисто формальных математических преобразований.**

Имеется и еще одна причина возникновения понятийной бессистемности – **профессиональный сленг**, включающий всевозможные сокращения и многократные повторения терминов, когда-то и подчас непродуманно введенных в обиход в каком-то первоисточнике. Физики-профессионалы прекрасно понимают этот сленг, а вот начинающие изучать физику или смежные специалисты, чаще всего, инженеры, хорошо знакомые с прикладной стороной предмета, иногда перестают его понимать, хотя речь может идти о простых вещах.

Таким образом, совершенно не случайна та точка зрения, что **обобщению и систематизации подлежат не только физические величины, но и физические понятия.** Особенно те, смысл которых явно **противоречит принципу причинно-следственной связи**, а таких накопилось много. Поэтому система ЭСВП, предлагаемая И. Коганом, называется не просто системой величин, а **системой величин и понятий.**

Примеры не адекватных понятий и терминов в физике

Смена терминов, особенно тех, которые применяются часто, дело чрезвычайно сложное, дорогостоящее и психологически трудно выполнимое. В данном разделе в виде примеров обращено внимание на особенно яркие проявления понятийной бессистемности в физике. Это то, к чему все привыкли, но что необходимо постепенно, но все-таки упорядочить. Каждому примеру посвящена в работе отдельный раздел, а ниже приведены только ссылки и аннотации этих разделов.

1. Можно ли жесткость именовать сопротивлением?

Нет, это два совершенно разных параметра уравнения динамики. У пружины сжатия есть жесткость, а не сопротивление. При расчете магнитных цепей магнитное сопротивление следует называть магнитной жесткостью, а магнитную проводимость – магнитной упругостью.

2. Сколько значений у слова “сила“?

Термин “сила“ встречается настолько часто, что его следует применять с дополнительными определениями. Следует изъять из обращения термин “сила“, когда он применяется для описания физических явлений, совершенно не подходящих для его применения.

3. Как понимать термин “момент“?

Любопытная ситуация складывается, когда начинаешь переводить слово “момент“, дополнения и определения к нему на русский язык и сравниваешь лексическое значение перевода с физическим смыслом термина. Получается то тавтология, то бессмыслица, а то и просто искажение физического смысла. Термин “момент“ применяется то в динамике, то в статике, то по отношению к векторным величинам, то по отношению к скалярным величинам. Полная анархия.

4. Два слова термина “частота вращения“ не соответствуют друг другу.

Термин “частота“ относится к колебательным и волновым процессам, а вращение может происходить без всяких колебаний. А то, что у частоты вращения и угловой скорости разные единицы измерений, так это так, “мелкие хитрости“ метрологов.

5. Что расшифровывает термин “количество“?

Слово “количество“ имеет определенное смысловое содержание. Но это содержание не всегда идентично по отношению к тому понятию, с которым слово “количество“ применяется.

6. Так ли уж постоянен “постоянный ток“?

Терминологическое деление тока на постоянный и переменный неверно, так как на практике ток подразделяется по признаку направления на однонаправленный и разнонаправленный, а вовсе не по признаку постоянства значения тока.

7. Являются ли ЭДС и электрическое напряжение работой силы?

И ЭДС, и электрическое напряжение, и разность электрических потенциалов являются множителями работы силы. Поэтому общепринятые утверждения о том, что они равны работе электростатических и сторонних сил неверны.

8. Течет ли вектор?

Вектор понятие математическое, условное, никуда он течь не может. Понятие “поток вектора“ возникло исторически вследствие постепенного сокращения длинного термина и в результате превратилось в лексическую бессмыслицу. В сердечниках соленоидов, например, ничего не течет, хотя главным параметром магнитной цепи является магнитный поток. Эта неверно названная величина потянула за собой неверные названия для таких популярных терминов, как “магнитная цепь“, “магнитодвижущая сила“, “магнитное сопротивление“ и “магнитная проводимость“ (см. также п.1).

9. Конкретен ли термин “гравитационное поле“?

Термин “гравитационное поле“ может быть понят только как обобщенный термин, указывающий на физическое поле с гравитационным зарядом. Точно так же, как электромагнитное поле имеет две компоненты: электрическое (электростатическое) поле и магнитное (электродинамическое) поле, гравитационное поле тоже должно иметь две компоненты: гравистатическое и гравидинамическое.

10. Утверждение об отсутствии магнитного заряда – следствие

терминологической путаницы

Магнитный заряд под названием “токовый заряд прямого тока” реально существует в природе, не существует лишь магнитного заряда замкнутого токового контура.

11. Всегда ли к месту слово “индукция“?

Термин “индукция” имеет несколько значений, и он скорее должен применяться для названия физического явления, чем для названия физической величины. Термин “магнитная индукция” вообще появился случайно, он не отвечает физическому содержанию того явления, которому он обязан своим появлением.

12. Ни электрического вихревого поля, ни ЭДС индукции, ни тока смещения в природе не существует

Это математические абстракции, придуманные Д.Максвеллом при создании своей знаменитой системы уравнений. Пора в электродинамике реально объяснять явление электромагнитной индукции.

13. Напряженность – это физическая величина или название поля?

Мы привыкли к тому, что напряженность – это основная характеристика любого силового поля, но оказывается, что можно говорить про поле **E** или про поле **B**. Следует говорить о напряженностях **E** и **B**.

14. Почему абсолютная восприимчивость и абсолютная проницаемость абсолютные?

Эти характеристики вещества являются отношениями напряженностей связанных зарядов или напряженностей сторонних зарядов к напряженностям в вакууме. Они бывают и безразмерными, и размерными. Но почему они названы абсолютными, неясно.

15. Что же все-таки называется силой Лоренца?

Под силой Лоренца понимают то суммарное воздействие на движущуюся в электромагнитном поле заряженную частицу, то только одну из составляющих этого воздействия – магнитную силу. Это

случается даже в одном и том же метрологическом справочнике. Пора хотя бы в стандартах устранить неопределенность.

16. Может ли существовать “полуцелый спин”?

Спин – это собственный момент импульса электрона, частный случай собственного момента импульса, которым обладает любое вращающееся тело. Значение спина электрона – фундаментальная физическая константа (постоянная Планка). Дополнять слово “спин” определениями “целый” или “полуцелый” – все равно, что говорить “целая единица” или “полуцелая единица”. Слова “целый” и “полуцелый” относятся не к спине, а к спиновому числу.

17. Потенциалы и разности потенциалов в электродинамике и термодинамике имеют разный смысл.

В электродинамике рассматривают потенциал физического поля, а в термодинамике рассматривают потенциал системы и разность потенциалов между системой и окружающей ее средой. Это совершенно различные физические понятия. А термин “термодинамические потенциалы” вообще ошибочен, вместо него следует говорить о функциях состояния термодинамической системы.

Вывод

Создается впечатление, что количество приведенных примеров (а это далеко не все) позволяет утверждать, что “понятийная бессистемность в физике” – не придуманная кем-то метафора, а реальность. Тем более, что это количество имеет тенденцию к росту.

Литература

1. Гейзенберг В., 1987, Шаги за горизонт: Пер. с нем./Сост. А.В.Ахутин. -М.:Прогресс, 368 с.
2. Гомоюнов К.К., 1983, Совершенствование преподавания технических дисциплин.– Л.:Изд. Ленинградского ун-та, 206 с.
3. Зайцев О.В., 2001, С какими проблемами физическая наука вступила в 21 век. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/2356.html>
4. Митрохин А.Н., 2002, К вопросу об адекватности некоторых понятий, определений и терминов метрологии или слово в защиту единицы измерения. “Законодательная и прикладная метрология”. № 5,

с.с.37-45.

5. Суrowикина С.А., 1998, Многозначные физические термины. – Омск: Изд. ОмГПУ, 34 с.

6. Эткин В.А., 2006, Многоликая энтропия. - http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/mnogolikayaentropyja.shtml

5.4. Условие отсутствия абстракций в физике при систематизации величин

В чем состоит условие отсутствия абстракций.

Условие отсутствия абстракций (**условие реальности**) отделяет **формальный подход**, присущий математике, от **рационального подхода**, учитывающего реальное физическое содержание явлений. Поэтому **содержание условия реальности конкретно**: систематизации поддаются те **физические величины и понятия, которые не искажают реальное физическое содержание явлений**. Мы полагаем, что под этим условием при систематизации физических величин следует подразумевать не только внутреннюю непротиворечивость, но и **ограничение учета при систематизации физических величин математических абстракций, вводимых в физику**. Впервые нечто подобное под названием “**критерий корректности**“ ввел в свою “Общую теорию“ А.Вейник (1980), подразумевая под ним **внутреннюю непротиворечивость теории**.

Выполнение этого условия не означает отказ от применения математических абстракций вообще. Математические абстракции позволяют решить множество практических задач, не требующих, однако, учета всех обстоятельств. Но составлению непротиворечивых систем физических величин они препятствуют. О том, что при математизации физики существует опасность отхода от реального физического содержания, свидетельствует, например, введение **принципа физичности** в такое научное направление, как системотехника. Принцип физичности сформулирован у А.Вейника так: "**Всякой системе (независимо от ее природы) присущи**

физические законы (закономерности), возможно уникальные, определяющие внутренние причинно-следственные связи, существование и функционирование. Никаких других законов (кроме физических) для объяснения действия систем любой природы (в том числе живых) не требуется. Соблюдение условия реальности соответствует соблюдению принципа физичности.

Сами математические абстракции вводятся в физику несколькими путями. Можно выделить два пути:

1. формализм, вносимый в физику математикой,
2. несовершенство теоретической метрологии.

Более опасен первый путь. Убедительно сказано об этом в работе О.Репченко (2006): "*В современной физике почти все ключевые концепции и теории так или иначе оказываются перегруженными математикой и в конце концов "тонут" в ней. Нередко суть этих теорий совсем отрывается от физической реальности и сводится к математическим манипуляциям.*" О.Репченко (2005) положил условие реальности в основу развиваемого им направления, названного **полевой физикой**.

Наиболее часто встречающиеся абстракции в физике

1. Прямолинейная траектория движения тела. Прямолинейным является только кратчайшее расстояние между двумя точками. А **прямолинейная траектория движения тела является частным случаем траектории движения по дуге окружности, центр которой удален на достаточно большое расстояние.** Правда, В.Коновалов (2006) считает, что исходным видом движения является движение по винтовой спирали с прямолинейной осью. Но как тогда расценивать движение по спирали по поверхности тора, у которого не прямая, а круговая ось симметрии?

В статье об **орбитальной форме движения** приведено уравнение для определения элементарного пути, пройденного по орбите, $ds = \mathbf{R} > d\varphi$, где \mathbf{R} – радиус-вектор соприкасающейся с орбитой окружности, а $d\varphi$ – угловое перемещение центра масс движущегося по орбите тела. При $\mathbf{R} \rightarrow \infty$ и $d\varphi \rightarrow 0$ орбитальное перемещение ds становится неопределенностью типа $\infty \cdot 0$. В этом случае формально ничто не мешает говорить о прямолинейной траектории и пренебречь угловым перемещением радиус-вектора. **Вращательная форма движения**

является составной частью орбитальной формы движения.

Упорное стремление ряда физиков и метрологов ограничить применение единицы углового перемещения (радиан) только рамками угловой скорости и углового ускорения вызывает недоумение.

2. Материальная точка. Это понятие применяется к телу, у которого пространственные размеры условно сведены к нулю.

Последнее означает, что при движении материальной точки не может возникнуть внешнее сопротивление трения, лишаются смысла рассуждения о жесткости и о деформировании, о собственном вращении тела. Всё это резко сокращает возможности систематизации физических величин. К сожалению, такой фундаментальный закон, как второй закон Ньютона, относят именно к понятию “материальная точка”. В разделе, поясняющем обобщение второго закона Ньютона, понятие “материальная точка” не фигурирует. Заметим, что в физике имеется понятие, которое может в отдельных случаях заменить материальную точку. Это “**физически бесконечно малый объем**“, но это понятие применяют лишь в тех случаях, когда **не хотят, чтобы проявилась дискретность вещества**.

3. Твердое тело. Применение этого понятия лишает движущееся тело возможности деформироваться. СТО А.Эйнштейна в начале XX века объяснила сокращение размеров движущихся тел при скоростях, близких к скорости света, с помощью введения понятий внешнего наблюдателя, относительности времени и четырехмерного пространства-времени. Теория единого поля С.Кадырова (2001), предложенная в конце XX века, объясняет тот же эффект деформаций тела при увеличении скорости до значений, близких к скорости света. Согласно теории С.Кадырова применение понятия “твердое тело” допустимо только при скоростях, рассматриваемых в классической физике.

При достаточно малых размерах тела применяют понятие “частица”. Но частица – это тоже материальный объект, имеющий свои размеры. В понятии “элементарная частица” слово “элементарная” означает, что частица имеет очень малые размеры. С точки зрения макромира это действительно элементарная частица, но в микромире эти элементарные частицы могут отличаться друг от друга по размерам на несколько порядков.

4. Равновесный процесс. Его отсутствие исчерпывающе обосновал В.Эткин (2008): “*Переход к рассмотрению реальных процессов*

требуется также отказа от идеализации процессов, заключенной в понятиях «квазистатический», «обратимый», «равновесный» и т.п. процесс. **Понятие «процесс» как последовательность изменений состояния объекта исследования и понятие «равновесие» как состояние, характеризующееся прекращением каких бы то ни было макропроцессов, являются взаимоисключающими.** Устранение этого противоречия требует признания того, что любой нестатический (протекающий с конечной скоростью) процесс связан с нарушением равновесия и потому необратим.“

5. Вектор силы. В математике под вектором понимают направленный отрезок, у которого указаны точка приложения и размер. Если иметь в виду такое определение, то в природе вообще нет векторов, так как отрезок не является физической величиной. В природе имеются физические величины, характеризующиеся направлением и именуемые **векторными величинами**. Но тогда непонятно, почему такие величины, как расход жидкости и электрический ток, не считаются в современной физике векторными величинами. Это недоразумение разъяснено в разделах об условии направленности и об “электрическом токе”.

Представление силы в виде вектора, приложенного в точке, также абстрактно. В реальности имеется интегральная сумма произведений сил на площадь поверхности, на которую действуют эти силы. Отказ от применения при систематизации физических величин понятия “материальная точка“ приводит к необходимости пересмотра определения “силы“. **Силу можно определить, как частную производную по площади от давления.** При таком определении силы отпадает необходимость в понятии “точка приложения силы“.

6. Несжимаемая жидкость. Практическое применение понятия “несжимаемая жидкость“ обширно, но при систематизации физических величин допущение недеформируемости и отсутствия диссипации накладывает серьезные ограничения на возможность обобщения, особенно когда это касается явлений переноса в жидкостях и процессов распространения волн в жидкостях.

7. Мгновенная скорость. Понятие “скорость“ подчиняется соотношению неопределенностей. Об этом убедительно говорится в работе В.Пакулина (2004): “*Утверждают, что соотношение неопределенностей — только для микромира. Но даже при малых скоростях в каждый данный момент времени тело находится и не*

находится в данной точке и правильно говорить об интервале Δx , в котором находится тело... Чтобы определить скорость тела, надо наблюдать за его движением на расстоянии Δs за промежуток времени Δt .” Мгновенной скоростью изменения величины называют отношение бесконечно малых величин, стремящихся к нулю. Но нулем они стать не могут, ибо тогда скорость невозможно будет измерить. Говорить о скорости в данное мгновение бессмысленно, ибо объект должен пройти пусть и бесконечно малый, но путь за какой-то промежуток времени, в течение которого можно было бы замерить пройденный путь.

8. Мощность, плотность, частота. *Всё, что говорилось о мгновенной скорости, можно применить и к этим физическим величинам, определяемым в виде производных по времени, по расстоянию, по площади, по объёму. Конечно, без применения этих величин физика немислима, но четкое понимание того, что эти величины являются не более чем удобными математическими абстракциями, должно быть заложено в сознание обучающихся с самого первого момента их применения.*

9. Принцип эквивалентности гравитационной и инертной масс. *Справедливость этого принципа ограничена макромиром. Поэтому эксперименты, проведенные в земных условиях, и свидетельствуют с высокой точностью о его справедливости. **Имеются свидетельства, как теоретические, так и экспериментальные, о том, что применимость этого принципа в микромире не оправдана.** Имеются веские доказательства того, что понятие “инертная масса“ следует вообще изъять из физики и любую массу считать гравитационной, что подробно освещается в разделе, посвященном понятию масса.*

10. Все системы единиц условны. *Современная метрология сосредоточилась на совершенствовании различных аспектов систем единиц и, прежде всего, СИ. Эта система единиц настолько вошла в жизнь, что при разговоре с физиком или инженером о систематизации физических величин первым вопросом во многих случаях бывает следующий: “**А разве они не систематизированы?**”. И удивляются, услышав отрицательный ответ. **Единицы физических величин во всех системах единиц унифицированы, а не систематизированы,** поскольку во всех системах единиц единицы ряда основных физических величин выбираются условно (А.Чертов, 1990). Поэтому и сами системы единиц применимы только на планете Земля.*

Анализ поисковых систем в Интернете показывает, что при поиске по ключевым словам “физические величины” практически все ссылки еще недавно относились только к СИ и к пособиям, популяризирующим СИ. Подобная ситуация особенно заметна в англоязычных поисковых системах, там даже не заметна разница между понятиями “система величин” и “система единиц”. Лишь в русскоязычных поисковых системах недавно появились ссылки именно на системы величин.

Систематизация физических величин и унификация их единиц – совершенно различные процессы (И.Коган, 1998, 2003, 2004, 2007).

Но инерция отождествления систем величин с системами единиц еще работает в полную силу. А условности, закладываемые в системы единиц, приводят к пренебрежению условием реальности.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Вейник А.И. 1980, Общая теория природы. – М., Сб. "Петрозаводское диво 20 сент. 1977 г.", вып. 7", Самиздат, стр. 122-209, а также <http://www.veinik.ru/sitemap.html>.
3. Кадиров С.К., 2001, Всеобщая физическая теория единого поля. – Бишкек: “Кыргыз Жер”, №1, также <http://www.newphysics.h1.ru/Kadyrov/Kadyrov-contents.htm>.
4. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
5. Коган И.Ш., 2003, Пути решения проблемы систематизации физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7073.html>
6. Коган И.Ш., 2004, “Физические аналогии” – не аналогии, а закон природы. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7438.html>
7. Коган И.Ш., 2007, Системы физических величин и системы их единиц – независимые друг от друга понятия – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8792.html>
8. Коновалов В.К., 2006, Основы новой физики и картины мироздания. 4-ое изд. <http://www.new-physics.narod.ru>
9. Пакулин В.Н., 2007, Структура поля и вещества. – Санкт-Петербург, а также Структура материи. 2004 – <http://www.valpak.narod.ru>
10. Репченко О.Н., 2005, Полевая физика или как устроен Мир? - М.: Галерея, 2005. - 320 с.
11. Репченко О. Н. , 2006, Сущность Полевой физики. – <http://www.fieldphysics.ru>

12. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
13. Эткин В.А., 2008, Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). – СПб.: Наука, 409 с.

5.5. Условие применения приращений величины

1. Суть условия приращений.

Условие применения приращений величины (сокращенно – **условие приращений**) указывает на важную особенность составления определяющих уравнений, а именно: **определяющие уравнения в любой форме движения должны составлять для приращений значений физических величин.**

Само по себе это условие не ново. Оно распространяется в современной физике на многие физические величины, входящие в определяющие уравнения. Например, во все виды записи закона сохранения энергии входит не абсолютное значение энергии, а ее приращение либо производная от энергии по какому-либо параметру. В частности, потенциальная энергия всегда имеет вид разности, отсчитываемой от условно принятого нулевого значения в начальный момент времени.

Благодаря соблюдению условия приращений в основу обобщения и систематизации физических величин хорошо ложатся основы **теории автоматического регулирования. В этой теории координатой состояния любой системы является приращение значения регулируемого параметра системы, а воздействующим на систему фактором является приращение внешнего воздействия.**

Анализ предлагаемых разными авторами вариантов систем физических величин показывает, что адекватность систематизации физических величин зависит от того, насколько строго соблюдается условие приращений.

2. Условие приращений и проблемы метрологии.

С точки зрения метрологии приращение физических величин, выражаясь в терминах теории шкал измерений (Л.Брянский, А.Дойников и Б.Крупин, 1993), осуществляется на базе шкал разностей (интервалов). Для этих шкал нуль устанавливается по соглашению, а диапазон шкалы определяется реальными потребностями (Л.Брянский, 2002).

Основой системы единиц СИ являются метрические шкалы разностей (интервалов) и отношений (Л.Брянский, 2002). При систематизации физических величин при определении любого приращения величины во времени за нуль шкалы принимается значение величины в момент времени, принятый за нулевой, а за диапазон шкалы принимается диапазон изменения приращения этой величины за определенный временной интервал. Разности потенциалов также являются разностями интервалов, только не временных интервалов.

Условие приращений отнюдь не препятствует выяснению абсолютных значений любой физической величины и необходимости установления нулевого значения (то есть точки отсчета) шкалы этой величины. Например, для составления уравнений состояния равновесных систем необходимы абсолютные значения некоторых физических величин. Следовательно, для этого необходимо определение и нулевых значений этих физических величин.

3. Разница между приращением величины и разностью потенциалов.

Приращение величины dq обычно понимается как приращение во времени и записывается в составе скалярной производной по времени dq/dt . А **векторная разность потенциалов скалярной величины P** зависит именно от разности значений потенциала P в подсистемах 1 и 2 бесконечно малого размера и потому является векторной величиной, которую следует записывать в виде

$$\Delta P = (P_1 - P_2) \mathbf{e}_{12}, \quad (1)$$

где \mathbf{e}_{12} – орт направления от точки 1 к точке 2.

Приведем практические примеры.

В теории теплопередачи можно рассматривать скалярное приращение температуры dT в конкретной точке в течение какого-то промежутка времени dt . Но можно рассматривать и векторную разность температур ΔT (так называемый **температурный напор**) в разных местах в один и тот же момент времени.

В гидроаэродинамике можно рассматривать скалярное приращение давления dp в конкретной точке в течение какого-то промежутка времени dt и можно рассматривать векторную разность давлений Δp (так называемый **перепад давлений**) в разных местах в один и тот же момент времени.

Механику прямолинейного движения частицы текучей среды можно рассматривать, как частный случай гидроаэродинамики, в которой с помощью разности потенциалов определяется сила по уравнению

$$F = \lim_{S \rightarrow 0} \Delta p S, \quad (2)$$

где S – площадь поперечного сечения потока частиц текучей среды, стремящегося восстановить равновесие, то есть привести к 0 перепад давления Δp .

При рассмотрении векторной разности потенциалов речь идет о разности потенциалов либо внутри неоднородной системы (в поле переноса) либо о разности потенциалов между системой и окружающей средой. В любом случае вектор e_{12} из уравнения (1) указывает на направление движения **энергоносителей**. Само слово “разность” указывает на то, что нет необходимости говорить об абсолютном значении физической величины.

Важно подчеркнуть тот факт, что скалярное приращение давления dp в составе производной dp/dt и векторный перепад давлений Δp , скалярное приращение температуры dT в составе производной dT/dt и векторный температурный напор ΔT – это разные по физическому содержанию величины, хотя и имеют одну природу и одну и ту же размерность. Поэтому их и следует обозначать по-разному.

Литература

1. Брянский Л.Н., 1993, Кое-что о размерностях единиц измерений. – Законодательная и прикладная метрология, **3**.
2. Брянский Л.Н., 2002, Непричесанная метрология. М.: ПОТОК-ТЕСТ, 160 с.

5.6. Перемещение энергоносителей – векторная физическая величина (Условие направленности)

1. Перемещения энергоносителей - всегда векторные величины.

Формулировка условия направленности - *перемещения энергоносителей в физических системах являются векторными (или псевдовекторными при вращательной форме движения) величинами*. Это иллюстрирует показанная ниже таблица.

Общие обозначения в таблице, присущие любым формам движения в проточных системах:

l – расстояние, на которое перемещается энергоноситель;

l – перемещение энергоносителя;

$d\mathbf{l} = d\mathbf{l} \mathbf{n}$ – элементарное перемещение энергоносителя;

\mathbf{n} – орт направления перемещения энергоносителей,

перпендикулярный к сечению потока энергоносителей;

$\mathbf{v} = d\mathbf{l}/dt$ – линейная скорость перемещения энергоносителей;

m – движущаяся внутри проточной системы масса.

Таблица характеристик перемещений энергоносителей

№ строки	<u>форма движения</u>	<u>координата состояния формы движения (статический заряд)</u>	<u>движущийся энергоноситель (движущийся заряд)</u>	<u>координата состояния процесса перемещения энергоносителей</u>	<u>токовый заряд</u>

	1	2	3	4	5
1	электрическая прямого тока	q	qv	$\mathbf{i} = d(q\mathbf{v})/dl$	$\mathbf{i} dl = d(qv)$
2	механическая массовая	m	$m \mathbf{v}$	$\mathbf{Q}_m = d(m\mathbf{v})/dl$	$\mathbf{Q}_m dl = d(mv)$
3	механическая вращательная	m/k	$(m\mathbf{v})/k$	$\mathbf{Q}_k = (1/k) d(m\mathbf{v})/dl$	$\mathbf{Q}_k dl = d(mv)/k$
4	механическая объёмная	$V = m/\rho$	$V\mathbf{v}$	$\mathbf{Q}_V = d(V\mathbf{v})/dl$	$\mathbf{Q}_V dl = d(Vv)$
5	механическая линейная	$x = m/\rho S$	$x\mathbf{v}$	$\mathbf{v} = d(x\mathbf{v})/dl$	$\mathbf{v} dl = d(xv)$

Обозначения в отдельных строках таблицы:

Строка 1: q – движущийся внутри проточной системы электрический заряд; \mathbf{i} – электрический ток.

Строка 2: \mathbf{Q}_m – линейная скорость перемещения массы (массовый расход).

Строка 3: k – кривизна круговой траектории движения конца радиуса инерции вещества внутри проточной системы; \mathbf{Q}_k – линейная скорость перемещения вращающихся энергоносителей в проточной системе.

Строка 4: V – объём движущегося внутри проточной системы участка энергоносителей; ρ – объёмная плотность внутри проточной системы; \mathbf{Q}_V – линейная скорость перемещения участка энергоносителей (объёмный расход).

Строка 5: x – движущийся внутри проточной системы энергоноситель, выраженный в виде удельной величины (перемещения); S – поперечное сечение потока энергоносителей внутри проточной системы.

2. Пояснения к таблице перемещений энергоносителей.

1. Если речь идет о расстоянии l , как о скалярной величине, то под ним понимается длина пути, пройденного энергоносителем внутри проточной системы. Но как только мы начинаем говорить о перемещении энергоносителей, мы должны указать направление этого перемещения. То есть речь идет уже о векторной величине, и перемещение следует записать в виде $d\mathbf{l} = dl \mathbf{n}$. Подробное доказательство необходимости именно такой формы записи перемещения энергоносителей приведена в разделе, посвященном уравнению состояния.

2. В колонке 2 указано количество единичных (элементарных) зарядов, содержащееся в перемещающемся участке проточной системы. Понятие о суммарном статическом заряде приведено в разделе, посвященном классификации зарядов. **В электрической форме движения – это количество перемещающихся электронов, в механических формах движения – это количество перемещающихся частиц, обладающих массой, либо удельные физические величины, в числителе которых присутствует масса.**

3. Движущийся заряд – это понятие, взятое из электромагнетизма, там оно обозначается как (qv) . Если учесть, что в механике роль статического заряда выполняет масса m , то из этого следует, что **движущимся зарядом при прямолинейном движении в механике является величина (mv) , называемая количеством движения**. Поэтому электрическому току в строке 1 в механике соответствует массовый расход Q_m в строке 2 (а не скорость, как это иногда встречается в литературе).

4. Строка 3 описывает линейное перемещение участков тела, поворачивающихся вокруг оси потока энергоносителей. Примером такой формы движения является линейный перенос угла поворота поворачивающихся секторов вала трансмиссии в любых механизмах. **Вращающимися энергоносителями являются повороты сечения вала трансмиссии, движущиеся вдоль вала.**

5. В колонке 5 представлен **токовый заряд**. Причина такого названия и преимущества его использования в физике в качестве источника физического вихревого поля детально изложены в разделе, посвященном токовому заряду. **Движущийся заряд и токовый заряд – это две различные физические величины, имеющие близкую по физическому содержанию природу и одинаковые размерности.** Для наглядности можно сравнить их единицы в электромагнетизме: у движущегося заряда – это Кл (м с^{-1}), а у токового заряда – это $(\text{Кл с}^{-1}) \text{ м} = \text{А м}$.

6. В строках 1, 2 и 3 отражено перемещение реальных материальных объектов, описываемое реальными физическими величинами (статическими зарядами). В строках 4 и 5 координата состояния становится абстрактной физической величиной после деления на плотность вещества ρ . Перемещение вдоль проточной системы характеризуют такие абстрактные геометрические величины, как

объём V и расстояние x . Эти величины уже нельзя называть зарядами, как это предлагал А.Вейник, а следует называть **координатами состояния**. По этой же причине считать скорость \mathbf{v} и объёмный расход Q_v аналогами электрического тока \mathbf{i} можно только формально, хотя это иногда делается в теории физических аналогий.

3. Разность потенциалов как векторная величина.

Между потенциалом системы и разностью потенциалов при переносе энергоносителей имеется существенное различие. **Потенциал системы является величиной скалярной, а разность потенциалов системы является величиной векторной.** Это показано для наглядности в отдельной таблице.

Таблица потенциалов и разностей потенциалов системы

Потенциал системы	P	Разность потенциалов системы	ΔP
давление	p	перепад давлений	Δp
температура	T	температурный напор	ΔT
электрическое напряжение	U	падение напряжения	ΔU
потенциал поля	φ	разность потенциалов поля	$\Delta \varphi$

Все указанные в правой колонке физические величины являются не просто алгебраическими, как это часто представляется в современной физике, а **векторными величинами**.

В качестве примера рассмотрим ситуацию, когда водопроводная труба имеет наклонную ось. Тогда между вектором перепада давлений, направленным вдоль оси трубы, и вектором разности статических давлений, направленным к центру Земли, имеется угол. (Этот угол не равен π или 2π , так как при таких углах водопроводная труба горизонтальна, и разность статических давлений равна нулю). Вектор перепада давлений и вектор разности статических давлений суммируются по правилу параллелограмма как обычные векторные величины.

То же самое можно сказать о теплопроводной стенке с неравномерным распределением температур на ее боковых поверхностях, когда применяется понятие о температурном поле и векторе температурного напора. И о сосуде с электропроводящей жидкостью с произвольным расположением электродов на стенках сосуда, в котором эта жидкость содержится.

Векторной величиной является разность потенциалов поля $\Delta\phi$, как и напряженность поля $\mathbf{E} = -\text{grad } \phi$. Это разные величины, у которых различные размерности и единицы. Сказанное не противоречит известному положению электростатики о том, что работа по перемещению электрического заряда в поле dA является скалярной величиной, так как она должна определяться по уравнению $dA = \Delta\phi (dl \mathbf{n})$, в котором и разность потенциалов поля, и элементарный направленный заряд ($dq \mathbf{n}$) являются векторными величинами. Это не противоречит также уравнению для определения силы взаимодействия зарядов в поле $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$, так как в этом уравнении присутствует не элементарный направленный заряд ($dq \mathbf{n}$), а суммарное количество единичных электрических зарядов q в системе, являющееся скалярной величиной.

Векторной величиной является и падение напряжения на участке электрической цепи ΔU , так как оно является частным случаем разности потенциалов поля. Отсюда следует непривычный для современных электродинамики и электротехники вывод о том, что векторной величиной является ЭДС (электродвижущая сила) \mathcal{E} .

Наконец, векторная величина \mathbf{F} , прекрасно знакомая, как сила, действующая на систему, определяется как $\mathbf{F} = \Delta p S$, где Δp – векторная разность давлений в среде и в системе, а S – площадь участка поверхности системы, на котором определен перепад давлений.

5.7. Условие показателей размерности

1. Размерность величины не может быть размерностью основной величины в отрицательной степени

Основная величина независима, она не имеет своего определяющего уравнения. Если имеется какая-то производная величина, размерность которой является размерностью основной величины в отрицательной степени, значит, эта величина является производной, в определяющем уравнении которой основная величина находится в знаменателе. А числитель в этом уравнении отсутствует. Это лишает такую производную величину какого-либо физического содержания. Имеется в виду, что **не должно быть величин с размерностями L^{-1} или T^{-1}** .

2. Примеры нарушения условия показателей размерностей в СИ.

Размерности угловой скорости вращающегося тела, частоты вращения и частоты колебаний в СИ совпадают и равны T^{-1} . Уже само **совпадение размерностей разных по содержанию физических величин недопустимо, ведь указанные величины относятся к принципиально разным формам движения (вращательной и волновой)**. Чтобы это нарушение условия показателей размерностей не бросалось в глаза, метрологические стандарты присвоили **угловой скорости** единицу измерений рад s^{-1} , **частоте вращения** – единицы s^{-1} или об s^{-1} , а **частоте колебаний** – единицу Герц. Путаницу, однако, этот прием не устранил.

Известно, что угловая скорость принципиально отличается от частоты вращения тем, что в первом случае рассматривается угловая скорость реально вращающегося тела, а во втором случае – угловая скорость абстрактного радиус-вектора на абстрактной векторной диаграмме. Что касается частоты колебаний, то она относится к любому периодическому процессу, независимо от того, что, как и в какой форме движения колеблется.

3. Как устранить нарушения условия показателей размерностей.

Поиск причин этого нарушения привел к выводу о том, что **при систематизации физических величин нельзя опираться на комплект основных единиц СИ. Любая система величин или система единиц должна иметь такой набор основных величин или основных единиц, чтобы условие показателей размерностей не нарушалось.** Наличие в СИ единиц m^{-1} и s^{-1} указывает на необходимость коррекции комплекта основных единиц в этой системе единиц.

Анализ вращательной формы движения, угла поворота и колебательных процессов показывает, что нарушение условия показателей размерностей может быть устранено только коррекцией комплекта основных единиц. Этот комплект базируется на **наборе естественных основных величин** и положен в основу **системы величин ЭСВП**.

Во всех системах единиц угол поворота не входит в состав основных величин и своей размерности не имеет, хотя наличие единицы для него допускается. **В системе величин ЭСВП размерность для угла поворота имеется, ее символ А.** Поэтому размерность кривизны траектории стала равной AL^{-1} вместо существующей L^{-1} , а единица стала равной об m^{-1} вместо m^{-1} . По этой же причине размерность угловой скорости становится равной AT^{-1} вместо T^{-1} . Заметим, что ГОСТ 8.417-2002 уже ввел с 2003 г. единицу угловой скорости об s^{-1} и в СИ. Но единица оборот в СИ является пока внесистемной.

В состав основных величин пока не входит число структурных элементов (частный случай количества считаемых величин). В систему величин ЭСВП эта величина входит в качестве основной со своей размерностью С. Период колебаний является структурным элементом любого периодического процесса и поэтому должен иметь собственную единицу, например, пер (период). А существующая в СИ единица секунда должна входить не в единицу периода колебаний, а в единицу длительности этого периода. И тогда размерность частоты колебаний становится равной CT^{-1} вместо T^{-1} , единица частоты колебаний становится равной пер s^{-1} (период в секунду), и единица длительности периода становится равной пер $^{-1}$ с. И поэтому условие показателей размерностей в системе ЭСВП выполняется.

Еще одно нарушение условия показателей размерностей поясняется в разделе о частоте вращения, где доказывается, что это абстрактная математическая величина, не имеющая физического содержания.

Условие показателей размерностей не распространяется на удельные физические величины.

6. Классификация физических систем и уравнения динамики

6.1. Классификация термодинамических систем

В БСЭ сказано, что **термодинамические системы** определяются, как *“совокупности физических тел, которые могут взаимодействовать энергетически между собой и с другими телами, а также обмениваться с ними веществом”*. В этом определении говорится об энергообмене, а теплообмен - это лишь частный случай энергообмена.

В современной физике существует следующая классификация термодинамических систем **по признаку возможности энергообмена и обмена веществом** с окружающей средой или с другими системами:

- а) Система **открытая**, если возможен энергообмен и обмен веществом.
- б) Система **закрытая**, если энергообмен возможен, а обмен веществом невозможен.

Закрытые системы дополнительно подразделяются по признаку возможности осуществления энергообмена следующим образом:

- а) Система **замкнутая**, если энергообмен возможен, но обмен с внешней средой путем совершения механической работы невозможен.
- б) Система **изолированная**, если невозможен какой-либо обмен системы с окружающей средой.
- в) Система **адиабатная**, если отсутствует теплообмен системы с окружающей средой.

В адиабатной системе рассматривается как обратимый, так и необратимый **адиабатный процесс**. Обратимый адиабатный процесс

называется также **изоэнтропийным процессом**, чтобы подчеркнуть постоянство энтропии в адиабатной системе. А постоянство энтропии означает отсутствие необратимых диссипативных потерь энергии.

Недостатки существующей классификации термодинамических систем

1. Классификация термодинамических систем рассматривает системы только как тепломеханические, учитывая всего две формы движения: тепловую и механическую. Рассматриваемые в таком плане термодинамические системы являются лишь частным случаем **физических систем**, поскольку каждая физическая система имеет гораздо больше различных **форм движения**.

2. В. Кошарский (2006) указывает на то, что определение физической системы, принятое в современной физике, ограничивается лишь ***статической составляющей*** физических систем. Термодинамика, которой соответствует вышеприведенная классификация, рассматривает квазистатические обратимые процессы. Поэтому в термине “термодинамические системы“, как его понимают в приведенной классификации, присутствие второй половины слова “динамические“ следует поставить под вопрос, так как слово “динамика“ **обычно связано с движением и, следовательно, с необратимыми диссипативными потерями.**

3. Понятие “**энергообмен**“ должно пониматься не как обмен энергией, а **как обмен материальными энергоносителями, переносящими энергию. Сама по себе энергия является физической величиной и поэтому переноситься не может.** Понятие “обмен веществом“ является тем же самым обменом материальными энергоносителями на **структурном уровне материи**, называемом “**Вещество**“. С этой точки зрения обмен веществом является частным случаем энергообмена на одном из уровней структуры материи. Энергообмен же в общем понимании осуществляется на всех структурных уровнях материи.

4. **Систематизация физических величин не может ограничиться вышеприведенной классификацией термодинамических систем.** Потому что в указанной классификации не учитываются ни динамика энергообмена между системой и окружающей средой, ни необратимые диссипативные потери. Таким образом, **физические системы, как более обобщающее понятие по сравнению с термодинамическими**

системами, нуждаются в своей собственной более расширенной классификации. Она рассмотрена в разделе, посвященном классификации физических систем.

Литература

1. Кошарский В., 2006, Системный подход – путь к познанию и решению проблем. – Хайфа, Сб. "Системные исследования и управление открытыми системами", вып.2, Изд. Центра "Источник информации (Мекор мейда)", с.с. 9-19.

6.2. Классификации физических систем

1. Понятие о балансе и дисбалансе между системой и окружающей средой.

Физические системы, как более обобщенное понятие, чем термодинамические системы, нуждаются в такой классификации, которая учитывала бы динамику энергообмена между физической системой и окружающей средой и/или соседними системами. Это возможно только при условии учета динамических свойств физической системы.

Под балансом энергообмена физической системы и окружающей среды будем понимать состояние, при котором энергия энергоносителей, входящих в систему, равна энергии энергоносителей, выходящих из системы. Соответственно, отсутствие такого равенства будем называть дисбалансом энергообмена. Изменение энергообмена является главной характеристикой изменения состояния физической системы.

В разделе, посвященном определению окружающей среды, было показано, что устанавливаемая мысленно контрольная поверхность отделяет физическую систему от окружающей среды. Она может быть **представлена проницаемой или непроницаемой** для движения материальных энергоносителей. В соответствии с этим физические системы, как и термодинамические системы, делятся на **открытые системы** и **закрытые системы**. Эта классификация распространяется на **все формы движения**. При этом следует иметь в виду, что одна и

та же физическая система может быть открытой для одних форм движения и закрытой для других форм движения.

2. Классификация физических систем по признаку поведения энергоносителей.

Данная классификация была введена А.Вейником (1968, с.29) (вместо термина "энергоноситель" он применял термин "заряд системы").

Согласно этой классификации физические системы делятся на:

- а) **стационарные равновесные**, в которых количество энергоносителей в системе и их плотность в любой точке системы не изменяются со временем;
- б) **стационарные неравновесные**, в которых энергоносители движутся через систему, но количество энергоносителей в системе остается неизменным;
- в) **нестационарные равновесные**, в которых количество энергоносителей в системе и их плотность в любой точке системы со временем изменяются;
- г) **нестационарные неравновесные**, в которых энергоносители движутся через систему и их количество в системе со временем изменяется.

3. Классификация физических систем по признаку изменения энергообмена.

Данная классификация предложена И.Коганом (2006, с.113). Согласно ей физические системы делятся на:

- а) **системы-источники**, отдающие энергию энергоносителей в большем количестве, чем поглощают ее;
- б) **системы-стоки**, поглощающие энергию энергоносителей в большем количестве, чем отдают ее;
- в) **проточные системы**, одна часть контрольной поверхности которых является общей с системой-источником, а другая часть – общей с системой-стоком;
- г) **непроточные системы**, для которых окружающая среда или соседняя система являются либо системой-источником, либо системой-стоком;
- д) **комплексные системы**, сочетающие свойства непроточных и проточных систем;
- е) **изолированные системы**, у которых контрольная поверхность непроницаема для энергоносителей.

Эта классификация коррелируется с классификацией А.Вейника (1968) по последним четырем пунктам. Изолированные системы соответствуют стационарным равновесным, проточные системы - стационарным неравновесным, непроточные системы - нестационарным равновесным, комплексные системы - нестационарным неравновесным. Первые из сравниваемых терминов представляются более понятными и лучше усваиваемыми. Упрощенная схема деления физических систем на комплексные, проточные и непроточные приведена также в отдельном разделе и иллюстрируется ниже схемой.

На схеме стрелками показано направление потоков энергоносителей. **Контрольная поверхность** системы обозначена на схеме жирными линиями. Энергообмен следует рассматривать по каждому участку контрольной поверхности в отдельности. Под dW понимается элементарное изменение энергообмена. Индекс "in" означает вход в систему, а индекс "out" означает выход из системы. $\Delta U = \Delta P -$ разность потенциалов по обе стороны контрольной поверхности. dq - элементарное изменение координаты состояния формы движения.



Энергообмен следует рассматривать отдельно по каждой форме движения, имеющейся в системе, так как в одну и ту же систему могут входить энергоносители одной формы движения и одновременно с этим выходить энергоносители другой формы движения. **Например, в**

электродвигатель входят энергоносители электрической формы движения и выходят энергоносители механической вращательной формы движения, а перенос энергии из электрической в механическую форму движения происходит внутри самой системы.

Особый интерес вызывает перенос энергии любой формы движения в тепловую форму движения диссипации dW_R , показанный на схеме вертикальными стрелками. Не следует смешивать тепловую форму упорядоченного движения энергоносителей с тепловой формой движения диссипации неупорядоченного движения энергоносителей. В упорядоченной тепловой форме движения, как и в любых других формах движения, энергоносители могут как поглощаться системой, так и отдаваться ею, тогда как тепловая форма движения диссипации только поглощает энергоносители других форм движения системы. Она может обмениваться тепловой энергией только с окружающей средой.

Предполагается, что дисбаланс энергообмена на границе системы с окружающей средой незначителен по сравнению с энергообменом на границах с системой-источником и системой-стоком. В некоторых частных случаях роль системы-источника или системы-стока (но не обеих вместе) может взять на себя окружающая среда.

4. Особенности закрытых физических систем.

У закрытых систем обмен энергоносителями с окружающей средой отсутствует, но энергообмен может осуществляться путем воздействия окружающей среды и системы на контрольную поверхность системы. Это воздействие может повлечь за собой изменение энергии энергоносителей внутри закрытой системы.

Закрытые системы являются непроточными системами для всех случаев, когда энергообмен осуществляется вещественными энергоносителями. В том случае, **когда энергоносителями являются волны, закрытые системы становятся проточными системами, так как волны могут переносить энергию через контрольную поверхность вследствие колебаний этой поверхности.**

5. Классификации физических систем по другим признакам.

1. Все физические системы можно классифицировать также по признаку количества форм движения, для которых существует энергообмен. Системы могут быть **с одной, с двумя, с тремя** и более **учитываемыми формами движения**. При этом подразумевается, что в любой физической системе должна учитываться дополнительно такая форма движения, как тепловая форма движения диссипации. **Примером системы с двумя формами движения (электрической и механической) является электродвигатель, с тремя формами движения (электрической, механической и акустической) – громкоговоритель.**

2. Физические системы можно классифицировать по признаку количества форм физических полей, с которыми взаимодействует система. По этому признаку системы могут взаимодействовать **с одной и с двумя формами физического поля** или быть формально **независимыми** от влияния любого физического поля. Хотя на структурном уровне "Вещество" независимых от физических полей систем нет, так как нет тел, не обладающих гравитационной массой. Но в целом ряде случаев этой зависимостью можно пренебречь. **Примером проточной системы с одной формой поля (гравитационного) является поток жидкости, с двумя формами поля (гравитационного и электромагнитного) – поток электропроводящей жидкости в электромагнитном поле.**

3. Б.Доброборский (2008) предложил классифицировать физические системы также по признаку участия или неучастия химической, атомной и ядерной энергий системы в процессе энергообмена внутри системы. По этому признаку физические системы могут быть **активными** и **пассивными**. В активных системах имеет место энергообмен между **химической, атомной и ядерной энергиями** внутри системы и энергиями существующих в системе других форм движения, в пассивных системах такой энергообмен отсутствует. Изложение идеи И. Когана, в оригинальном тексте речь идет о дополнительной классификации термодинамических систем, и формулировка классификации несколько иная, но суть та же. **В качестве примера активных систем приводятся системы, в которых в результате химических реакций происходит выделение тепла, например, в двигателе внутреннего сгорания.**

6. Перераспределение видов энергии в физических системах

С точки зрения распределения видов энергии (потенциальной, кинетической и диссипации) следует иметь в виду следующее:

А. В непроточных открытых системах в процессе энергообмена дисбаланс потенциальной энергии между системой и окружающей средой преобразуется в перенос энергоносителей, характеризуемый их кинетической энергией, либо вовнутрь системы, либо из нее. Внутри системы изменение кинетической энергии преобразуется в изменение потенциальной энергии по мере выравнивания плотности энергоносителей по всей системе (до равновесного состояния). Процесс перехода кинетической энергии в потенциальную в непроточных открытых системах происходит за конечный промежуток времени. При этом часть кинетической энергии во время переходного процесса переходит в энергию диссипации, остающуюся внутри системы и повышающую ее температуру.

В. Системы-источники и системы-стоки могут быть как непроточными, так и проточными системами, с постоянным переносом энергоносителей через их контрольную поверхность. Они постоянно обмениваются энергоносителями с исследуемой физической системой, а внутри них постоянно происходит перенос энергии различных видов в энергию тепловой формы движения диссипации.

С. Проточные системы при стационарном процессе переноса энергоносителей отличаются отсутствием накопления или сброса потенциальной энергии, они только переносят энергоносителей через себя. На входе в проточную систему в приграничной области потенциальная энергия системы-источника преобразуется в кинетическую, а на выходе происходит обратное преобразование. При этом часть кинетической энергии переходит в энергию тепловой формы движения диссипации и увеличивает количество энергии тепловой формы движения проточной системы.

Примеры различных физических систем из области электромагнетизма, термодинамики, гидродинамики в соответствии с вышеприведенными классификациями приведены в отдельном разделе.

Литература

1. Доброборский Б.С., 2008, Об активных и пассивных термодинамических системах.
<http://interlibrary.narod.ru/GenCat/GenCat.Scient.Dep/GenCatPhysics/1500>

00011/150000011.htm .

2. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, Изд. Рассвет, 207 с.

6.3. Классификация физических систем на реальных примерах

1. Пример физической системы-источника и физической системы-стока.

Примером системы-источника (в тепловой форме движения) является топка тепловой электростанции, внутри которой химическая энергия топлива постоянно переходит в тепловую энергию водяного пара. Примером системы-стока (в гидравлической форме движения) является мировой океан, обладающий практически неограниченной емкостью для координаты состояния этой формы движения. Теоретически и ту, и другую системы можно считать функционирующими как угодно долго.

2. Примеры реальных физических систем в электромагнетизме.

Представим себе два разных участка электрической цепи постоянного тока.

Непроточной системой является участок цепи с ёмкостью (конденсатором). Внутри любого проводника изначально имеется какое-то количество единичных электрических зарядов q (количество электронов проводимости). Если изменить разность потенциалов на зажимах участка цепи, то на обкладках конденсатора изменится количество электрических зарядов q . Оно будет меняться только во время переходного процесса, то есть, пока меняется разность потенциалов. В этот промежуток времени по подводящим проводам течет ток (ток зарядки или разрядки конденсатора), который и приводит к изменению количества заряда на обкладках конденсатора.

В тот период, когда разность потенциалов неизменна, ток зарядки равен нулю.

Проточной системой является обычный проводник, условно не имеющий ёмкости. Если на клеммах проточного участка существует разность потенциалов и ее значение неизменно, то через этот участок электрический ток течет постоянно. Но общее количество электронов проводимости q внутри такого проводника при течении электронов остается постоянным. **Оно не зависит от того, каково значение тока в проводнике. Сколько электронов проводимости входит на входную клемму, столько же сходит и с выходной клеммы.** Электроны перемещаются по проводнику со скоростью $v = dl/dt$, где dl – длина элементарного участка проводника. Таким образом, на каждом участке элементарной длины dl с элементарным количеством заряда dq существует элементарный движущийся заряд ($dq v$). Это координата состояния процесса переноса в электрической форме движения. Отношение элементарного движущегося заряда (qv) к длине элементарного участка dl , равное $(dq/dl v)$, называют электрическим током и обозначают символом i .

А теперь подключим параллельно друг другу участки с ёмкостью и без нее. Такая система состоит как бы из двух частей: **непроточной и проточной. Она и является комплексной системой.** При изменении разности потенциалов на клеммах комплексной системы по проводнику с ёмкостью на короткое время пойдет дополнительный ток, меняя заряд на обкладках конденсатора. Только в этот период времени включается в работу непроточная часть комплексной системы. А на общих клеммах токи проточной части и непроточной части суммируются по закону Кирхгофа.

3. Примеры реальных физических систем в гидравлике и теплотехнике.

Приведем пример открытой проточной системы. Вдоль трубы постоянного сечения, заполненной текущей жидкостью, статическое давление и плотность жидкости, пусть и незначительно (если речь идет о капельной жидкости), но снижаются, а количество молекул в единице объема жидкости уменьшается. И хотя средняя по сечению продольная скорость частиц жидкости вдоль трубы не изменяется (о чем свидетельствует уравнение неразрывности потока), **общая кинетическая энергия молекул уменьшается вследствие**

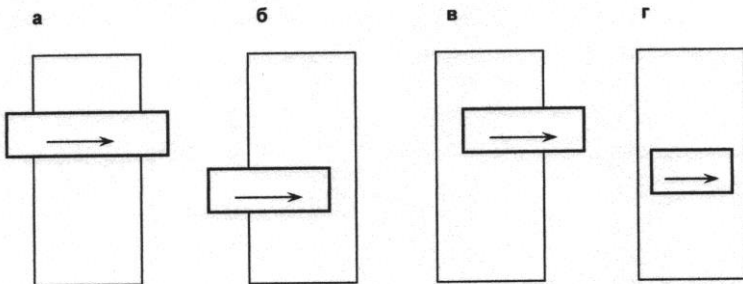
уменьшения их количества в единице объёма. Не менее важно то, что уменьшается доля упорядоченно движущихся молекул, то есть доля тех молекул, чья кинетическая энергия переходит на выходе из трубы в потенциальную энергию молекул системы-стока. А потерянная механическая энергия переходит в тепловую энергию, незначительно нагревающую жидкость в трубе.

Приведем пример закрытой проточной системы, в которой отсутствует поток вещества, но существует поток энергоносителей в виде волн в упругом теле (например, в теплопроводящей стенке). При отсутствии теплопередачи интенсивность тепловых колебаний молекул, из которых состоит тело стенки, стабильна. При возникновении температурного напора по обе стороны стенки более интенсивные колебания молекул горячей поверхности стенки передают свой импульс молекулам холодной поверхности, интенсивность колебаний молекул уменьшается в этом направлении, что и является свидетельством переноса энергоносителей. А заодно и нагрева самой стенки.

Одна и та же физическая система может быть проточной для одних форм движения и непроточной – для других. Например, при перекачке жидкости по трубопроводу система рассматривается как проточная только для гидравлической формы движения и как непроточная для других форм движения (если не учитывать того, что тепловой заряд диссипации, возрастающий при трении жидкости о стенки трубы, частично уходит в окружающую среду через стенки трубы).

4. Пример реальных физических систем в механике.

Классификация физических систем поясняется обычно наглядными примерами из гидродинамики и электродинамики. Значительно сложнее проиллюстрировать ее примерами из механики. В качестве примера приведем прямолинейное движение твердого тела.



На рисунке изображена физическая система в виде большого прямоугольника, ею является участок пространства, через которое перемещается тело. Перемещение центра масс тела является координатой состояния в механической форме движения. Скорость перемещения центра масс будет определять значение потока энергоносителей.

На рис. **а** показан тот случай, когда внутри системы находится только центральная часть перемещаемого тела. В этом варианте при перемещении тела через систему масса того участка тела, который входит в систему слева, такая же, как и та, что выходит из системы справа. Так что, согласно классификации физических систем, в этом варианте мы имеем дело с механической формой движения в **проточной системе**, а в ней полное количество энергоносителей не изменяется. Энергоносители только перемещаются через проточную систему.

На рис. **б** окружающая среда слева от системы играет роль системы-источника для той части тела, которая находится уже внутри физической системы. В системе наблюдается увеличение массы тела, а центр масс той части тела, которая находится внутри физической системы, перемещается слева направо. Это изменяет количество энергоносителей внутри системы, и поэтому систему следует считать **непроточной**.

На рис. **в** окружающая среда справа от физической системы является системой-стоком для той части тела, которая еще находится внутри физической системы. В системе наблюдается уменьшение количества энергоносителей, так как центр масс тела перемещается в сторону выхода из системы. Систему также следует считать **непроточной**.

Наконец, в случае, показанном на рис. **г**, физическая система является **неравновесной**, так как количество энергоносителей внутри системы не изменяется, тело, перемещаясь, не выходит за пределы системы. Правда, вариант, показанный на рисунке **г**, можно всегда мысленно сузить до варианта, представленного на любом из первых трех вышеприведенных вариантов.

5. Причины некорректной трактовки прямолинейного движения тела.

Сложность восприятия перемещения тела, как процесса переноса энергоносителей при механическом прямолинейном движении, на самом деле психологическая. Причиной этого является то, что физическое содержание движения тела не сразу становится понятным вследствие выбора центра масс тела в качестве движущейся координаты состояния. В нашем сознании перемещение тела не ассоциируется с движущимися энергоносителями, потому что в реальном пространстве имеет место перемещение реального тела, имеющего объём и массу, а не перемещение каких-то бестелесных материальных точек, понятие о которых положено в основу кинематики. **На самом деле следует говорить о перемещении центра масс реального тела, а материальная точка в природе не существует.** Говоря о материальной точке, мы вступаем в противоречие с условием реальности, что препятствует процессу систематизации физических величин. А вместе с этим начинаются трудности и при преподавании.

Мы просто перестали замечать, что в современной механике перемещение массы тела сначала искусственно переводится в перемещение объёма тела путем деления массы на плотность. Затем точно так же искусственно перемещение объёма переводится в перемещение материальной точки путем деления объёма на площадь поперечного сечения. И, наконец, материальная точка совмещается с центром масс тела. Но этот мыслительный математический процесс при преподавании не поясняется, даже если он понятен самому преподавателю. К сожалению, есть подозрение, что многие преподаватели просто не задумываются над этим. Студенты тем более.

Но это вовсе не говорит о сознательном уходе от реальности при преподавании. Именно таким путем и развивались исторически наши знания о природе: от наглядного к содержательному, от частного к обобщенному. Просто в одних явлениях обобщенное вырисовывалось раньше, в других – позже. Жаль только, что к тому моменту, когда обобщение уже стало вырисовываться, очень трудно отходить от привычных разжеванных веками методик преподавания.

6. Пример реальных физических систем в механике вращения

Еще сложнее придать ясность процессу вращения тела вокруг неподвижной оси. Представим себе в качестве механической системы

цилиндрическое тело, например, вал трансмиссии, торцевые поверхности которого жестко связаны с другими цилиндрическими телами (другими валами), вращающимися с той же угловой скоростью и идентифицируемыми как система-источник и система-сток. **В качестве системы-источника может выступать вал двигателя, а в качестве системы-стока – вал рабочего механизма. Тогда вал трансмиссии выступает в роли проточной механической системы.**

Пусть угловая скорость системы-источника (вала двигателя) или системы-стока (вала рабочего механизма), или обеих систем вместе, в какой-то момент времени станет не равной угловой скорости проточной системы (вала трансмиссии). Это будет равносильно изменению энергообмена в проточной системе (вале трансмиссии). Проявляется это в том, что каждое сечение вала трансмиссии поворачивается по сравнению с предыдущим сечением на какой-то угол, пусть даже и незначительный, что равносильно угловому деформированию вала трансмиссии. Деформируемые участки тела и являются энергоносителями, переносимыми через проточную систему.

Как и в случае с прямолинейной формой движения, в роли движущейся координаты состояния после различных математических преобразований становится угол поворота. И тогда потоком координаты состояния становится угловая скорость вала трансмиссии. В реальности же движущейся координатой состояния при вращении тела, как проточной системы, является угловое перемещение сектора сечения тела.

Таким образом, и в этом случае физическое содержание приносится в жертву мнимой наглядности.

7. Сводная таблица реальных физических систем.

Физическое явление	Классификация физических систем		
	по балансу энергообмена	по количеству форм движения	по количеству форм силового поля
Прямолинейное движение тела	проточная	с одной формой	с одним полем
Движение тела по дуге	проточная	с одной	независимая

окружности	проточная	формой	с одним
Движение по криволинейной траектории	непроточная проточная	с двумя формами	полем независимая
Вращение тела вокруг своей оси	проточная непроточная	с одной формой	независимая с одним
Упругая деформация твердого тела	непроточная непроточная	с одной формой	полем с двумя
Движение жидкости в закрытом канале	непроточная комплексная	с одной формой	полями с одним
Движение электропроводящей жидкости	комплексная непроточная	с двумя формами	полем независимая
Движение жидкости в открытом канале	проточная проточная	с одной формой	независимая полем
Изотермическое движение газа в канале	проточная непроточная	с одной формой	с одним полем
Диффузия газа в сосуде	непроточная непроточная	с одной формой	независимая независимая
Диффузия жидкости в сосуде		с двумя формами	независимая независимая
Конвекция газа		с двумя	с одним
Конвекция жидкости		формами	полем
Сжатие (расширение) газа		с двумя формами	с одним полем
Теплопроводность через стенку		с одной формой	с одним полем
Нагрев (охлаждение) тела		с одной формой	с одним полем
Распространение звуковых волн		с одной формой	с одним полем
Движение зарядов в проводнике		с одной формой	
Движение зарядов в магнитном поле		с одной формой	
Поляризация диэлектрика		с одной формой	
Поворот контура с током в магнитном поле		с одной формой	
Перемагничивание магнитной цепи		с одной формой	

6.4. Анализ применения понятия “динамика” в физике

Лексическое содержание слова “динамика”

Слово “динамика” происходит от греческого слова “dynamikos”.
Словарь иностранных слов приводит два наиболее употребительные значения этого слова:

1. Раздел механики, изучающий движение тел в зависимости от действующих на них сил.
2. Состояние движения, ход развития, изменение какого-либо явления под влиянием действующих на него факторов.

Первая формулировка практически совпадает с формулировкой, приведенной в БСЭ, которая переводит греческое слово “динамика” русским словом “сила”. Вторая формулировка послужила основой для интернет-словаря Грамота.ру, где приведен другой перевод – русским словом “действующий”. Соответственно, и лексический смысл этого слова имеет два разных толкования. ВИКИПЕДИЯ обобщает первую формулировку, вместо понятия “сила” говорится о “*причинах возникновения механического движения*”.

Из приведенных формулировок видно, что вторая из них включает в себя первую в качестве частного случая. Поэтому можно считать, что динамика означает, прежде всего, движение, развитие. А где есть движение, там есть и направление этого движения. Не случайно противоположным динамике по значению словом является слово “статика”, предполагающее отсутствие движения, отсутствие развития.

Однако слово “динамика” используется в физике в сочетании не только с механикой, достаточно вспомнить такие названия разделов физики, как термодинамика, гидродинамика, электродинамика и т.д. Просто механика развивалась исторически раньше других разделов физики. Именно механика лежит в основе всей физики. Введение Ф.Канаревым (2009) термина “**механодинамика**” как бы восстанавливает равноправие всех разделов физики.

Слово «динамика» используется широко и в гуманитарных науках (истории, социологии, этнографии, музыковедении и проч.) в согласии именно со второй формулировкой, как более обобщенной.

В физике накопилось много новых направлений, использующих слово

“динамика”, причем содержание этого слова варьируется в достаточно широких пределах. Появились новые словосочетания: энегродинамика (А.Вейник, 1968, В.Эткин, 1992), эфиродинамика (В.Ащюковский, 2003), ритмодинамика (Ю.Иванов, 1997), механодинамика (Ф.Канарев, 2009) и проч.

Какие физические величины определяют динамику?

В разделе, посвященном взаимосвязи материи и движения, показано, что **движение** – это основное свойство материи и что по метрологическому определению движение является **физической величиной**. И поскольку движение всегда направлено, то движение является векторной величиной, имеющей свой модуль, характеризующий движение количественно. Такой величиной является **энергия**. Энергия является обобщенным понятием, а **энергообмен**, который в механике соответствует **работе**, - это подчиненные по отношению к энергии понятия. Энергия является **естественной основной физической величиной**, что описано в разделе, посвященном набору естественных основных физических величин и в работах И.Когана (1998, 2006).

Как названия важнейших терминов отошли от своего изначального значения

Слово энергия (energeia) в переводе с греческого языка означает действие, деятельность. Но энергия – это еще и характеристика движения, а движение на том же греческом языке звучит, как kinema. От слова “kinema” произошел термин “**кинематика**”, который формулируется, как “*раздел теоретической механики, изучающий геометрические свойства механического движения тел без учёта их массы и действующих на них сил*”. То есть, без учета динамических свойств тел, предопределяющих характер самого движения. **А поскольку кинематика изучается раньше динамики, то получается, что следствие изучается раньше причины. Потому что кинематика проще динамики при обучении.**

Еще один пример неверного развития терминологии. “*Раздел теоретической механики, объединяющий динамику и статику*”, называется **кинетикой**. Этот термин произошел от греческого слова kinetikos, то есть двигательный, приводящий в движение. Но при чем тут тогда статика, почему она должна входить составной частью в

кинетику?

Ссылаться на первоначальный лексический смысл слов сейчас, по-видимому, уже нет резона. Но понимать их происхождение и при возможности корректировать полезно.

Литература

1. Ацюковский В.А., 2003, Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. 2-ое изд. – М.: Энергоатомиздат, 584 с.
2. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
3. Иванов Ю.Н., 1997, Ритмодинамика. – Изд. “Новый центр”, 311 с.
4. Канарев Ф.М., 2009, Введение в механодинамику. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10044.html>.
5. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
5. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
6. Эткин В.А., 1992, Основы энергодинамики. – Тольятти, ТПИ.

6.5. Обобщенное уравнение динамики системы

1. В чем состоит ограниченность уравнения состояния.

В уравнении состояния системы отсутствует такая физическая величина, как время. В разделе, в котором обсуждается изменение состояния системы, ничего не говорится о том промежутке времени, который необходим для того, чтобы равновесная система перешла из одного состояния в другое, в котором у нее будет уже новое значение координаты состояния. Не говорится и о том промежутке времени, который необходим для того, чтобы в неравновесной системе выровнялся потенциал системы.

Процесс перехода физической системы в новое состояние называется переходным процессом. Для учета меняющегося состояния системы необходимо учитывать уравнение, описывающее переходный процесс, в котором основным аргументом является время. Такое уравнение называют уравнением переходного процесса.

Уравнение, описывающее зависимость от времени изменения координаты состояния любой формы движения системы от значения разности потенциалов ΔP между системой и окружающей средой для той же формы движения можно в общем случае называть **уравнением динамики системы**. Оно должно служить основой для составления уравнения переходного процесса.

2. Что понимается сейчас под уравнением динамики.

В современной физике **общее уравнение динамики** рассматривают в теоретической механике. Под ним понимают **принцип Лагранжа-Даламбера**: "*При движении механической системы с идеальными связями в каждый момент времени сумма элементарных работ всех приложенных активных сил и всех сил инерции на любом возможном перемещении системы будет равна нулю*". Как видим, речь идет только о механических системах и только об одной форме движения: прямолинейной, для которой координатой состояния является линейное перемещение системы x .

Под **активными силами** понимаются силы, приложенные к механической системе, которые сохраняются, если связи идеальные. **Реакции связи** называют иногда **пассивными силами**. Если активную силу \mathbf{F} считать воздействием на систему, то пассивные силы являются противодействиями системы. **Пассивные силы появляются только тогда, когда появляется активная сила. Для возникновения движения активная сила должна быть больше суммы пассивных сил**, под которыми понимаются сила инерции, сила упругого сопротивления деформации системы и сила диссипативного противодействия движению системы.

В принципе Лагранжа-Даламбера пассивной силой считается только **сила инерции**, которую снабдим нижним индексом и обозначим \mathbf{F}_I . Согласно этому принципу $m\mathbf{a} = \mathbf{F}_I$, где линейное ускорение \mathbf{a} является второй производной по времени от линейного перемещения системы x , а под m понимается величина, характеризующая инертность системы. Уравнение $m\mathbf{a} = \mathbf{F}_I$ является одной из форм записи **второго закона Ньютона**, который иногда также называют **уравнением динамики**.

В современной физике величину m называют **инертной массой**, считая ее **равной гравитационной массе**. Как показано в разделе о

принципе эквивалентности масс, этот принцип имеет ограниченное применение. В разделе о массе указано, что деление массы на инертную и гравитационную не обосновано, а понятие "инертная масса" следует исключить из физики. Поэтому второй закон Ньютона должен иметь иную форму записи, например, часто используют запись $dp/dt = \mathbf{F}_I$, где $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ - импульс системы, а под m понимается масса, характеризующая гравитационные свойства системы.

3. Уравнение динамики, дополненное другими реакциями связи.

В более общем представлении пассивными силами, кроме силы инерции, являются и другие реакции связи (внутренние и внешние силы противодействия). К **внешним силам** противодействия относятся силы трения \mathbf{F}_R между движущимся телом и окружающей его средой, пропорциональные скорости перемещения \mathbf{v} , они могут быть записаны в механике в виде $\mathbf{F}_R = r\mathbf{v}$, где r называют коэффициентом сопротивления.

В механике при движении тела к **внутренним силам** противодействия относятся силы, препятствующие деформации тела, стремящиеся восстановить первоначальную форму и размеры тела, их называют иногда **восстанавливающими силами**. Они пропорциональны деформации системы ξ , имеющей то же направление, что и перемещение \mathbf{x} , и могут быть записаны в виде $\mathbf{F}_D = k\xi$, где коэффициент k определяет жесткость деформируемого тела.

В случае рассмотрения активной силы, равной сумме внутренних и внешних сил противодействия и силы инерции, **уравнением динамики в механике следует считать уже третий закон Ньютона**, который для механической прямолинейной формы движения может быть записан в виде

$$k\xi + r(dx/dt) + m(d^2x/dt^2) = -\mathbf{F} . (1)$$

Активная сила \mathbf{F} в общем случае является функцией от времени $\mathbf{F}(t)$. Уравнение типа (1) относится к линейным дифференциальным уравнениям с постоянными коэффициентами. Аналогичное уравнение описано в учебнике И.В.Савельева (Курс общей физики, кн. 1, Механика, с.с. 265-269) применительно к механическим колебаниям, в

которых ξ - колебательное смещение и $\dot{\xi} = \dot{x}$.

В качестве еще одного примера использования уравнения (1) в физике приведем уравнение вынужденных электрических колебаний в скалярной форме записи (И.В.Савельев, Курс общей физики, кн.2, Электричество и магнетизм, с. 317):

$$q/C + IR + L(dI/dt) = U_m \cos \omega t, \quad (2)$$

где q – электрический заряд системы (координата состояния электрической формы движения); $1/C$ (соответствует k в механике) – величина, обратная электрической ёмкости; R (соответствует r) – омическое сопротивление; L (соответствует m) – индуктивность; $I = dq/dt$ – электрический ток; $U_m \cos \omega t$ (соответствует F) – разность электрических потенциалов, изменяющаяся периодически.

4. Как должно выглядеть обобщенное уравнение динамики системы.

Для перехода от механической формы движения к обобщенной форме движения следует учесть, что сила является абстрактной величиной, поскольку приложена в точке. В реальности сила \mathbf{F} из уравнения (1) является следствием наличия перепада давлений Δp на контрольную (граничную) поверхность со стороны системы и со стороны внешней среды. Точно так же U_m из уравнения (2) является модулем разности электрических потенциалов ΔU . И Δp , и ΔU являются частными случаями обобщенной разности потенциалов ΔP между системой и окружающей средой.

В разных формах движения разность потенциалов ΔP имеет разное физическое содержание. Она является причиной появления переходного процесса между системой и окружающей средой для любой формы движения. В течение переходного процесса происходит перемещение энергоносителей через контрольную поверхность из среды в систему или в обратном направлении. Перенос энергоносителей можно представить как перемещение обобщенной координаты состояния \mathbf{q} . И тогда уравнения (1) и (2) можно записать в виде обобщенного уравнения динамики, приемлемого для любой формы движения:

$$a_0 \mathbf{q} + a_1 (d\mathbf{q}/dt) + a_2 (d^2\mathbf{q}/dt^2) = - \Delta P. \quad (3)$$

где a_0 , a_1 и a_2 – коэффициенты пропорциональности при производных по времени.

Уравнение (3) для системы с i формами движения ранее было представлено ранее в статье И.Когана (1998) в скалярной форме для i -той формы движения в виде:

$$\sum_{k=0}^m a_{ki} \frac{d^k q_i}{dt^k} = \Delta P_i, \quad (4)$$

где k - порядок производной по времени, изменяющийся от 0 до m . В современной литературе по физике обычно $m = 2$, но принципиальных ограничений на его значение нет. Отметим также, что производные первого и следующих порядков имеют ненулевые значения только в течение переходного процесса. В начальный момент времени и по завершению переходного процесса (при переходе системы в новое равновесное состояние) они равны нулю, что позволяет определить конечное приращение координаты состояния Δq за конечный интервал времени Δt . По завершению переходного процесса уравнение (3) упрощается до уравнения:

$$a_0 \Delta q = - \Delta P. \quad (5)$$

Обобщенное уравнение динамики (4) можно записать и в виде:

$$D \Delta q + R(dq/dt) + I(d^2q/dt^2) = - \Delta P, \quad (6)$$

где ΔP и Δq – разности между текущими значениями приращений разности потенциалов между системой и средой и координаты состояния системы и их значениями в момент времени начала переходного процесса; D , R и I – конструктивные параметры физической системы (жесткость, сопротивление и инертность).

5. Особенности применения обобщенного уравнения динамики системы.

Уравнения (3), (4) и (6) удобно использовать для анализа такой модели движения, в которой изменение энергообмена, вызванное изменением разности потенциалов системы, возникает скачкообразно. Именно так успешно анализируется динамика системы в теории автоматического управления. При этом непрерывный процесс изменения координаты состояния системы заменяется дискретной последовательностью квазистатических процессов, длящихся в течение бесконечно малых интервалов времени dt . Дискретизация переходных процессов позволяет соблюсти **принцип линеаризации** малых приращений, согласно которому значения коэффициентов a_0 , a_1 и a_2 в уравнении динамики можно считать постоянными.

В реальных процессах изменение энергообмена происходит непрерывно, и промежуточные состояния системы не рассматриваются. **Реальная система всегда находится в движении, равновесных состояний у нее практически не бывает.** Но результаты систематизации физических величин, построенной с учетом дискретизации непрерывных процессов, получаются такими же, как и без этого учета, так как цель процесса систематизации физических величин отличается от анализа неравновесных процессов.

Литература

1. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
2. И.В.Савельев И.В., 2005, Курс общей физики, в 5 кн.

6.6. Анализ переходного процесса в физической системе

1. Уравнение динамики как основа анализа переходного процесса.

При переходе системы из одного состояния в другое, то есть в течение переходного процесса поведение любой формы движения описывает обобщенное уравнение динамики:

$$a_0 \mathbf{q} + a_1 d\mathbf{q}/dt + a_2 d^2\mathbf{q}/dt^2 = - \Delta\mathbf{P}, (1)$$

где $\Delta\mathbf{P}$ – разность потенциалов между системой и окружающей средой или соседними системами, а \mathbf{q} – направленное перемещение

координаты состояния из среды в систему или в обратном направлении. Коэффициенты a_0 , a_1 и a_2 являются конструктивными характеристиками системы в каждой конкретной форме движения. Их обычно называют **параметрами системы**. Для каждой формы движения имеется свой набор таких параметров.

В научной литературе устоялись определенные названия параметров системы и их обозначения: a_0 – **жесткость** (символ D), a_1 – **сопротивление** (символ R), a_2 – **инертность** (символ I). Наравне с ними применяются и обратные им величины: $1/a_0$ – **ёмкость**, **податливость**, **упругость** (символ C), $1/a_1$ – **проводимость** (символ Y). Величина $1/a_2$, называемая **подвижностью** (символ M), применяется редко. С учетом этой устоявшейся символики обобщенное уравнение динамики (1) можно переписать в виде:

$$D \mathbf{q} + R \, d\mathbf{q}/dt + I \, d^2\mathbf{q}/dt^2 = - \Delta \mathbf{P} . \quad (2)$$

2. Обобщенное уравнение переходного процесса.

Уравнение динамики (1) показывает, что воздействие разности потенциалов вызывает одновременно несколько суммирующихся противодействий системы. Их количество обычно равно трем. Обозначим слагаемые этой суммы **противодействий** так:

$$\mathbf{P}_D = D\mathbf{q} = \mathbf{q}/C \quad (3) \text{ – противодействие жёсткости (или упругое противодействие),}$$

$$\mathbf{P}_R = R\,d\mathbf{q}/dt = (1/Y)\,d\mathbf{q}/dt \quad (4) \text{ – противодействие сопротивления (диссипативное противодействие),}$$

$$\mathbf{P}_I = I \, d^2\mathbf{q}/dt^2 \quad (5) \text{ – противодействие инертности.}$$

Таким образом уравнение (1) с учетом введенных обозначений противодействий (3-5) можно записать как **обобщенное уравнение переходного процесса** в виде:

$$\mathbf{P}_D + \mathbf{P}_R + \mathbf{P}_I = - \Delta \mathbf{P} . \quad (6)$$

Заметим попутно, что крылатая фраза “*Действие равно противодействию*” не соответствует принципу причинности. На самом деле наоборот, противодействие равно действию, так как

воздействие разности потенциалов предшествует противодействиям. Добавим, что состояние системы может измениться также вследствие изменения значений параметров системы D , R и I . Изменения значений параметров системы могут происходить как по причине внутренних флуктуаций в системе, так и по причине влияния окружающей среды. Например, **изменение температуры внешней среды приводит к дисбалансу энергообмена в тепловой форме движения, что влияет на состояние практически всех прочих форм движения в системе.**

Параметры системы можно определить из уравнений (3-5), если известны значения противодействий, по формулам:

$$D = P_D / q, \quad (7)$$

$$R = P_R / (dq/dt), \quad (8)$$

и

$$I = P_I / (d^2q/dt^2). \quad (9)$$

Противодействия R и I являются функциями времени. Характер зависимостей противодействий от времени различен сам по себе и в разных видах систем. Это рассматривается по отдельности для переходных процессов в непроточной системе, в проточной системе и в комплексной системе.

К сожалению, в научной и учебной литературе нередко встречаются необоснованные и даже ошибочные применения названий параметров системы или неверные замены одних названий на другие. Это приводит к неверному пониманию учебного материала, а иногда и к ошибкам. Приведем наиболее существенные примеры.

3. К чему приводит путаница между сопротивлением и жёсткостью в магнетизме.

В магнетизме неверность терминологии является элементарной и грубой ошибкой, которую, впрочем, пока не собираются устранять. При расчете магнитных цепей величины, которые в физике называют **магнитным сопротивлением** и **магнитной проводимостью**, фактически являются жесткостью и упругостью магнитной цепи.

Их так и следует называть: **магнитной жесткостью** и **магнитной упругостью**. Более того, совершенно необоснованная аналогия между магнитной цепью и электрической цепью связана лишь с совпадением формы записи расчетных уравнений. **Физическое же содержание совершенно различное.**

Произошла подмена понятий по следующим причинам. Координатой состояния магнитной цепи является величина под названием **“потокосцепление”**, представляющая собой **магнитный поток, умноженный на число витков обмотки магнитопровода**. Магнитный поток считается потоком вектора магнитной индукции, но **само понятие “поток вектора” является понятийной бессмыслицей**. С точки зрения физического содержания при изменении электрического тока в обмотке магнитопровода происходит **переориентация в пространстве молекулярных токов магнетика**. А это явление как раз и связано с жесткостью магнетика, а вовсе не с диссипативным сопротивлением какому-либо потоку. **Ничто в магнитной цепи не течет в отличие от электрической цепи, по которой текут электрические заряды. Поэтому неверен и сам термин “магнитопровод”.**

Разность электрических потенциалов в электрической цепи, называемая (некорректно) **электродвижущей силой**, имеет совершенно другое физическое содержание, нежели разность магнитных потенциалов, называемая (также некорректно) **магнитодвижущей силой**. Поэтому аналогия между законом Ома для электрической цепи и законом Ома для магнитной цепи **абсолютно формальна**. Так одна терминологическая ошибка влечет за собой цепочку других. Хорошо было бы хотя бы пояснять это при преподавании, если уж нет пока желания исправить.

На эту терминологическую ошибку было указано еще в работе И.Когана (1998), опубликованной в ведущем российском метрологическом журнале, но никакой реакции метрологов или физиков пока не последовало.

4. К чему приводит путаница между сопротивлением и жесткостью в механике.

В механике бывают такие системы, в которых единственным учитываемым параметром является жесткость, например, жесткость пружины. **Но имея в виду именно жесткость, неверно говорят о**

якобы сопротивлении пружины.

Наглядным примером этого является тот случай, когда говорят о сопротивлении пружины сжатия, имея в виду вовсе не диссипативное сопротивление материала пружины при деформации, а жесткость пружины в целом. В данном случае подмена одного термина другим неверна и не так уж безобидна. **Ведь сопротивление указывает на возможность диссипации энергии, а жесткость – на степень способности системы накапливать потенциальную энергию вне зависимости от процесса диссипации.**

5. Не следует все параметры уравнения переходного процесса называть сопротивлениями.

Иногда высказываются предложения (В.Эткин, 1999) назвать все коэффициенты уравнения динамики сопротивлениями. Но можно ли, например, жесткость именовать сопротивлением? На наш взгляд, применение термина “сопротивление” и, тем более, его символа R для обозначения всех коэффициентов уравнения динамики может привести только к терминологической путанице.

Каждый коэффициент уравнения динамики включен в отдельное слагаемое уравнения (1), являющееся одним из трех **противодействий разности потенциалов ΔP** . **Все три противодействия имеют различное физическое содержание, и характер их изменения во время переходного процесса. Поэтому распространять термин “сопротивление” на все три вида противодействия не следует.** Не говоря уже о том, что термин “сопротивление” закрепился в метрологии и в учебных пособиях за коэффициентом a_1 из уравнения динамики, то есть за диссипативным сопротивлением R .

Наконец, если все параметры системы назвать сопротивлениями, все равно придётся их расшифровывать каким-нибудь поясняющим дополнительным словом и дополнительным нижним индексом, так что выигрыша не будет, а усложнение налицо.

6. Стоит ли заменять жёсткость в уравнении переходного процесса упругостью или ёмкостью?

Логичнее применять коэффициенты D , R и I , чем обратные им величины C , Y и M . Но в электродинамике предпочитают применять ёмкость C , нежели жесткость D . Это связано с привычным понятием

“ёмкость конденсатора”, понимаемым как ёмкость по отношению к количеству электрических зарядов в конденсаторе. Поэтому следует разъяснять при обучении, что ёмкость в электродинамике и упругость в механике применяются вместо жесткости потому, что они характеризуют способность системы накапливать потенциальную энергию соответствующей формы движения. Тогда как жесткость характеризует уменьшение способности системы накапливать потенциальную энергию.

Применение жесткости D в уравнении динамики для механической системы и применение ёмкости C в уравнении динамики для электрической системы приводят к тому, что форма записи аналогичных по физическому содержанию уравнений динамики в механике и в электродинамике становится различной. К этому все привыкли, но хоршего в этом мало.

7. Сопротивляются ли жидкости и газы сдвигу?

В современной механике укоренилось мнение, что жидкие и газообразные среды не обладают сопротивлением сдвигу. Но возникает вопрос: откуда берется диссипативное сопротивление потоку жидкостей и газов в трубах и каналах? Ведь разность продольных скоростей в пограничном слое возникает вследствие именно сдвига соседних слоев текучей среды друг относительно друга.

В данном случае также имеет место терминологическая путаница. Жидкости и газы в реальности не обладают жесткостью при деформации сдвига, то есть не противодействуют деформации сдвига. А вот диссипативное сопротивление имеет место при любой деформации в жидкостях и газах. Свидетельством этому является тот факт, что звуковые волны затухают в любых жидкостях и газах, независимо от того, являются ли эти волны продольными или поперечными поперечными.

Литература

1. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
2. Эткин В.А., 1999, Термокинетика (Термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии). Изд.2 – Тольятти, ТПИ, 228 с.

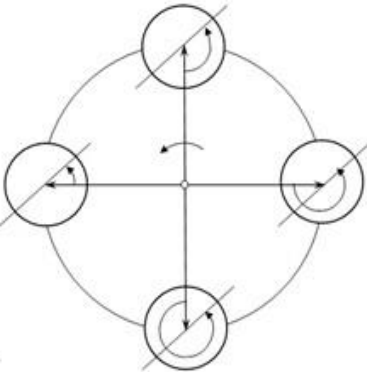
6.7. Виды движения и формы движения в механике

1. Современная классификация видов движения и ее недостатки.

В современной механике движение тела подразделяется на виды, и существует следующая классификация **видов движения тела**:

1. **Поступательное движение**, при котором любая прямая линия, связанная с телом, остается при движении параллельной самой себе.
2. **Вращательное движение** или вращение тела вокруг своей оси, считающейся неподвижной.
3. **Сложное движение** тела, состоящее из поступательного и вращательного движений.

Таким образом, в современной механике в основу классификации видов движения тела положено наличие или отсутствие вращения тела вокруг своей оси. Координатой состояния поступательно движущегося тела в механике считается вектор его **перемещения dr** , а координатой состояния вращающегося тела – вектор бесконечно малого **углового перемещения $d\varphi$** , модуль которого $d\varphi$ называют **углом поворота** (см. А.Чертов, 1990). При этом конечное угловое перемещение φ в современной механике считается скалярной безразмерной величиной. Покажем, что эта классификация видов механического движения нуждается в пересмотре.



Такая классификация не дает возможности систематизировать физические величины в механике хотя бы потому, что поступательное движение тела на самом деле не является простейшим видом движения. Оно допускает движение тела по криволинейной траектории. На рисунке показан пример того, что тело, движущееся поступательно

по круговой траектории с какой-то угловой скоростью поворота радиуса окружности, вынуждено, чтобы сохранить параллельность любой прямой линии самой себе, поворачиваться вокруг своей

собственной оси, проходящей через центр масс этого тела, с той же самой угловой скоростью.

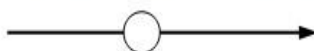
2. Уточненная классификация форм механического движения.

При рассмотрении механического движения в основу классификации видов движений должны быть положены свойства выбранных координат состояния форм движения. Форм механического движения должно быть тоже три, но они другие (см. рисунок):

1. Прямолинейная форма движения тела, координатой состояния которой является **линейное перемещение** центра масс тела $d\mathbf{l}$.
Прямолинейная форма движения тела – это предельный случай

1. Прямолинейная форма движения

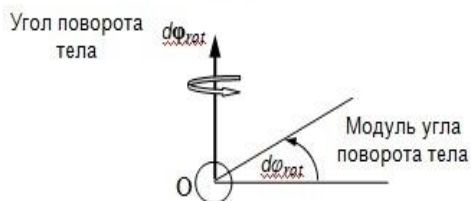
Прямолинейное (линейное) перемещение $d\mathbf{l}$



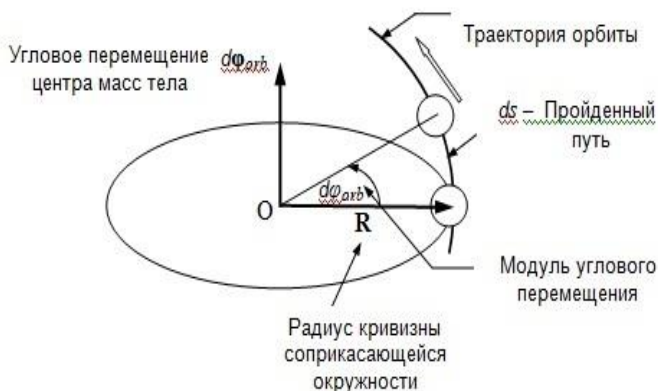
Модуль линейного перемещения $d\mathbf{l}$



2. Вращательная форма движения



3. Орбитальная форма движения



вращательной формы движения при кривизне траектории, стремящейся к нулю.

2. Вращательная форма движения тела, координатой состояния

которой является аксиальный вектор **угла поворота** $d\varphi_{rot}$. Эта форма движения относится только к вращению тела в целом. При рассмотрении этой формы движения не рассматривается самостоятельное движение отдельных частей тела, и ось вращения считается проходящей через неподвижный относительно системы отсчета центр масс. По этой причине и следует говорить только об угле поворота тела.

3. Орбитальная форма движения тела по криволинейной траектории, каждая из точек которой имеет свой **радиус кривизны R** , равный радиусу окружности, соприкасающейся с этой точкой. Эта форма движения даже в простейшем случае, когда центр соприкасающейся окружности O совмещается с центром системы отсчета, состоит из сочетания **4-х форм движения: двух прямолинейных (движения вдоль радиуса кривизны и перпендикулярно к нему) и двух вращательных (вращения движущегося тела вокруг собственного центра вращения и вращения радиуса кривизны вокруг центра кривизны O)**. Соответственно, имеются и 4 координаты состояния.

При движении тела по орбите линия действия аксиального вектора угла поворота тела $d\varphi_{rot}$ проходит через центр вращения движущегося тела. А через центр кривизны траектории проходит аксиальный вектор **углового перемещения** $d\varphi_{orb}$ радиуса кривизны траектории.

Перемещение центра масс движущегося тела dr становится векторной суммой элементарных перемещений различных прямолинейных форм движения, составляющих орбитальное движение тела. В более сложном случае следует учитывать, что сам центр кривизны O может двигаться по собственной криволинейной траектории.

Различие между орбитальной и вращательной формами движения заключается еще и в том, что радиус любой точки тела при собственном вращении вокруг своей оси измеряется в метрах, а радиус кривизны траектории R при орбитальном движении измеряется в $m \cdot ob^{-1}$, доказательство чего приводится в разделе, посвященном угловому перемещению.

3. Угол поворота и угловое перемещение – различные физические величины.

Сам термин “перемещение“ ничего не говорит ни о форме движения, ни о характере траектории. По определению перемещение – это

вектор, соединяющий точку траектории, в которой находится центр масс тела в начальный момент времени, с другой точкой, в которой этот центр будет находиться через какой-то временной интервал. Этот термин не содержит в себе полной разъясняющей информации. Для описания движения, при котором тело вращается **вокруг условно неподвижной оси термин «перемещение» неприемлем.** Ведь слово «перемещение» указывает на смену места. А при собственном вращении тело не меняет место относительно собственной оси вращения, поэтому **собственное вращение следует называть поворотом тела.**

Меняют место частицы тела, которые движутся по круговым орбитам, именно к ним относится термин **угловое перемещение**, а не к вращающемуся телу. К тому же, при движении периферийных частиц вращающегося тела нас обычно интересует не их перемещение, а **путь**, пройденный этими частицами. От размера этого пути зависят диссипативные потери энергии при вращении тела во вязкой среде. Так что собственное вращение тела вокруг своей оси должно быть охарактеризовано только **углом поворота.**

Главный вывод: **угол поворота и угловое перемещение характеризуют разные формы движения – собственное вращение тела и движение тела по криволинейной орбите, при котором само тело может вращаться или не вращаться вокруг собственной оси.** Поэтому **угол поворота является самостоятельной физической величиной, а не модулем углового перемещения. Угол поворота и угловое перемещение – разные физические величины одной природы.** Общее между ними то, что они обе измеряются в единицах плоского угла. Сопутствующим выводом является необходимость различного обозначения этих величин. Например, обозначать угол поворота как $d\varphi_{rot}$, а угловое перемещение – как $d\varphi_{orb}$.

В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) сказано также: “Из определения углового перемещения следует, что это безразмерная величина, выражаемая в радианах“. Однако этот вывод отнюдь не следует из определения углового перемещения из того же справочника. Он следует из того, что угловое перемещение измеряется в СИ в единицах плоского угла. Это единица плоского угла в СИ “безразмерна“, потому что плоский угол - это математическая, а не физическая величина. А **угол поворота** (и угловое перемещение) являются размерной величиной, мало того, **основной величиной** со своим символом размерности А, и об этом написано уже более десятка

статей. Это обстоятельство не меняет ни одного практического результата, но оно приводит к необходимости пересмотра ряда фундаментальных положений методологии и метрологии современной механики.

4. Выражение "Земля вращается вокруг Солнца" неверно.

Это выражение следует заменить на "Земля движется вокруг Солнца", а еще точнее "**Земля движется вокруг Солнца по эллиптической орбите и вращается вокруг себя самой**". Запишем угловую скорость собственного вращения Земли $\omega_{rot} = d\varphi_{rot}/dt$ и угловую скорость вращения радиуса земной орбиты $\omega_{orb} = d\varphi_{orb}/dt$. Угловая скорость собственного вращения Земли ω_{rot} существенно отличается от угловой скорости движения вращения радиуса орбиты вокруг Солнца ω_{orb} . Более того, угловая скорость Земли ω_{rot} постоянна, а угловая скорость ω_{orb} радиуса эллиптической орбиты переменна в пределах каждого орбитального цикла.

5. Сравнительный анализ понятий "перемещение" и "путь".

Понятие "путь" определяют, как длину траектории, пройденную центром масс тела по криволинейной траектории или длину круговой траектории, пройденную частицей вращающегося тела. С точки зрения динамики движения понятие "путь" более важно, чем понятие "перемещение", так как путь позволяет рассчитать диссипативные потери энергии при движении тела. При орбитальном движении по замкнутой орбите интерес представляет именно путь, а не перемещение. Ведь **по завершению одного орбитального цикла перемещение центра масс тела становится равным нулю, а значение пути только наращивается с каждым циклом.**

И. Коганом проанализировано 6 авторитетных первоисточников, и во всех шести текстах определения понятия "перемещение" отличаются друг от друга. В словаре Глоссарий.ру: "*Перемещение – векторная величина, равная радиусу-вектору, проведенному от начальной точки траектории к ее конечной точке*". В Википедии: "*Перемещение (в кинематике) – изменение местоположения физического тела в пространстве относительно выбранной системы отсчёта. Также перемещением называют вектор, характеризующий это изменение*". В справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) для определения вектора перемещения \mathbf{r}_{12} приводится уравнение $\mathbf{r}_{12} = \mathbf{r}_2 -$

$\mathbf{r}_1 = \mathbf{r}(t_2) - \mathbf{r}(t_1)$. В справочнике А.Чертова (1990) речь идет только об элементарном перемещении $d\mathbf{r}$, для которого определяющее уравнение не приводится. В учебнике по физике И.Савельева (2005):

“Перемещение – это прямолинейный отрезок, проведенный из одной точки траектории в другую“. Такое смешение понятий оказалось возможным потому, что орбитальное движение в современной механике не выделено в качестве самостоятельной формы движения.

И. Коган полагает, что для элементарного перемещения $d\mathbf{r}$ уравнение, связывающее его с угловым перемещением $d\varphi_{orb}$, существует в таком виде:

$$d\mathbf{r} = [d\varphi_{orb} \mathbf{R}]. \quad (1)$$

Пройденный по криволинейной траектории элементарный **путь** ds является произведением модулей элементарного углового перемещения радиуса кривизны траектории и самого радиуса кривизны лишь приближенно. Перемещение $d\mathbf{r}$ совпадает с пройденным путем ds только при прямолинейном движении.

Как видим, **виды механического движения**, существующие в современной механике, и предложенные **формы механического движения** – это категории двух разных классификаций. Современная классификация по видам движения не позволяет систематизировать физические величины в механике и разложить их по различным таблицам. Предложенная классификация по формам движения позволяет это сделать. Именно она выявила необходимость считать угол поворота основной физической величиной. А это повлекло за собой необходимость рассмотрения ряда особенностей вращательной формы движения и орбитальной формы движения, не рассматриваемых в современной механике и в современной метрологии.

6. Являются ли конечные угол поворота и угловое перемещение векторами?

В дополнение к определению из справочника А.Чертова (1990) в учебнике И.Савельева (2005) поясняется, почему можно считать вектором только бесконечно малое угловое перемещение. Потому что *“путь, проходимый любой точкой тела при очень малом повороте, можно считать прямолинейным“*. По этой причине конечное угловое

перемещение вектором в современной механике условно не считается.

Но прямолинейным отрезком в геометрии является кратчайшее расстояние между двумя точками. А **траектория движения – это понятие физическое, а не геометрическое**, и **прямолинейное движение в приведенном определении углового перемещения является математической абстракцией**. Более подробное обоснование того, что конечный угол поворота можно считать псевдовектором, приведено в разделе, посвященном векторности угла поворота.

В словарной статье Википедии в англоязычном варианте по поводу углового перемещения имеется такое предложение: *“Несмотря на наличие направления и числового значения, угловое перемещение не является вектором, потому что оно не подчиняется закону коммутативности”*. В учебнике И.Савельева (2005) также сказано, что конечные угловые перемещения не могут считаться векторами по той же причине (они не складываются по правилу параллелограмма). **Но угловое перемещение является не истинным, а аксиальным вектором, псевдовектором, а псевдовектор не обязан подчиняться закону коммутативности.**

Надо указать на справедливость выдержки из той же словарной статьи Википедии: *“В современном применении почти вся научная реальность строится на понятии углового перемещения. Можно сказать, что все измерения физических свойств состояются из понятий углового перемещения некоторой рассматриваемой системы. **Время – это мера представления углового перемещения между двумя событиями, связанными с одним телом, пространство – это мера представления углового перемещения между двумя событиями, связанными с двумя различными телами, масса – это функция времени и пространства**”*. Отсюда понятно, насколько важно, чтобы всё, что касается углового перемещения, было определено четко и обоснованно.

7. Уточненные определения координат состояния форм механического движения

На основании материала, изложенного в разделах книги, посвященных механическим формам движения, приведем определения линейного перемещения тела, угла поворота тела, углового перемещения точки

тела, углового перемещения центра масс тела, орбитального перемещения центра масс тела.

Линейное перемещение тела – это *“вектор, оцениваемый расстоянием между положением центра масс тела в начальный момент времени и положением центра масс тела через какой-то промежуток времени при движении по прямолинейной траектории”*. Размерность линейного перемещения равна размерности длины.

Угол поворота тела – это *“псевдовектор (аксиальный вектор), оцениваемый плоским углом, образованным поворотом радиуса любой точки тела в процессе вращения тела вокруг центра его вращения. Значение модуля угла поворота тела изменяется от 0 до полного плоского угла (в пределах одного полного оборота)”*. Угол поворота тела является основной физической величиной, имеющей свою размерность.

Угловое перемещение точки вращающегося тела, – это *“псевдовектор (аксиальный вектор), оцениваемый плоским углом, образованным поворотом радиуса, проведенного из центра вращения тела к данной точке. Значение модуля углового перемещения изменяется от 0 до полного плоского угла (в пределах одного полного оборота)”*. Размерность углового перемещения точки равна размерности угла поворота тела.

Угловое перемещение центра вращения тела, движущегося по криволинейной орбите, – это *“псевдовектор (аксиальный вектор), оцениваемый плоским углом, образованным поворотом радиуса кривизны траектории, проведенного из центра соприкасающейся с орбитой окружности до центра вращения движущегося по орбите тела. Значение модуля углового перемещения изменяется от 0 до полного плоского угла (в пределах одного полного оборота)”*.

Размерность углового перемещения равна размерности угла поворота тела.

Орбитальное перемещение центра вращения тела, движущегося по криволинейной орбите, – это *“путь, пройденный центром вращения тела по этой орбите”*. Размерность пути равна размерности длины.

Единицы всех величин разных форм движения в механике в системе единиц СИ и в системе величин ЭСВП приведены в обобщенной таблице единиц в конце раздела.

8. Определяющие уравнения для пути, пройденного по орбите

Начало координат в современной механике располагают в произвольной точке O (см. рисунок) и вводят понятие радиус-вектора движущегося центра масс тела

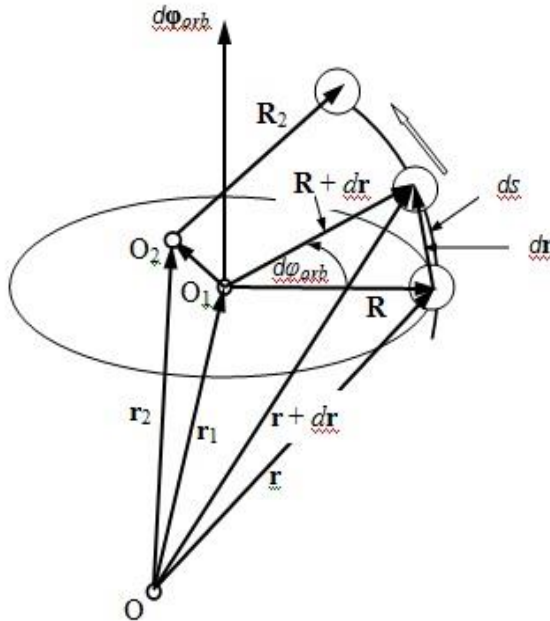
$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_1 + \mathbf{R}, \quad (2)$$

где \mathbf{r}_1 – радиус-вектор центра соприкасающейся с траекторией окружности O_1 , а \mathbf{R} – радиус самой соприкасающейся окружности, совпадающий в данный момент времени с радиусом кривизны траектории. В общем случае и \mathbf{R} , и \mathbf{r}_1 – переменные величины. Центр соприкасающейся окружности O_1 движется по собственной траектории, называемой **центроидой**. В частности, для замкнутой эллиптической орбиты центроидой является линия соединяющая два полюса эллипса. Что касается траектории периферийных точек движущегося по траектории и одновременно вращающегося вокруг собственной оси тела, то она очень сложна, особенно, если траектория

плоская,

не

а



пространственная. Лишь в частном случае, когда траектория орбиты плоская, а ось собственного вращения тела перпендикулярна плоскости орбиты, траектория любой периферийной точки

называется **циклоидой**.

Из рисунка видно, что элементарное перемещение $d\mathbf{r}$ является **хордой** траектории орбиты. Элементарный пройденный путь приближенно равен

$$ds = R d\varphi_{orb}, \quad (4)$$

так как в общем случае и радиус кривизны, и угловое перемещение – переменные величины. Поэтому конечный путь, пройденный по траектории движения, равен

$$s = \int_R \int_{\varphi} R \varphi_{orb} dR d\varphi_{orb}. \quad (5)$$

Из приведенных уравнений следует, что элементарное угловое перемещение $d\varphi_{orb}$ является аргументом и элементарного перемещения $d\mathbf{r}$, и элементарного пути ds .

Разница между пройденным путем, как скалярной величиной, и перемещением, как векторной величиной, хорошо видна на следующем примере. При движении по круговой орбите при изменении φ_{orb} от 0 до полного оборота модуль линейного перемещения (модуль хорды \mathbf{a}) сначала увеличивается до $2R$ и становится в $\pi/2$ раз меньше пройденного пути s , а затем и вовсе уменьшается до 0, тогда как путь s возрастает непрерывно и становится в конце полного оборота равным длине окружности. При необходимости учитывать потери энергии вследствие диссипативного сопротивления окружающей среды это различие весьма существенно.

Более подробный математический анализ орбитальной формы движения выходит за рамки тех целей, которые поставлены при систематизации физических величин.

9. Объединенная таблица единиц.

В заключение приводим таблицу сравнения единиц физических величин разных форм механического движения в СИ и в системе величин ЭСВП.

Название величины	в СИ		в <u>системе величин ЭСВП</u>	
	Обозначение	Единица	Обозначение	Единица
Линейное перемещение	l	метр	l	метр

Угол поворота тела	φ	радиан	Φ_{rot}	оборот
Радиус вращения точки тела	R	метр	R	метр
Угловое перемещение тела по орбите	Φ	радиан	Φ_{orb}	оборот
Радиус орбиты (Радиус кривизны)	R	метр	R	м об ⁻¹
Кривизна орбиты	k	м ⁻¹	k	м ⁻¹ об

Литература

1. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
2. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
3. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.

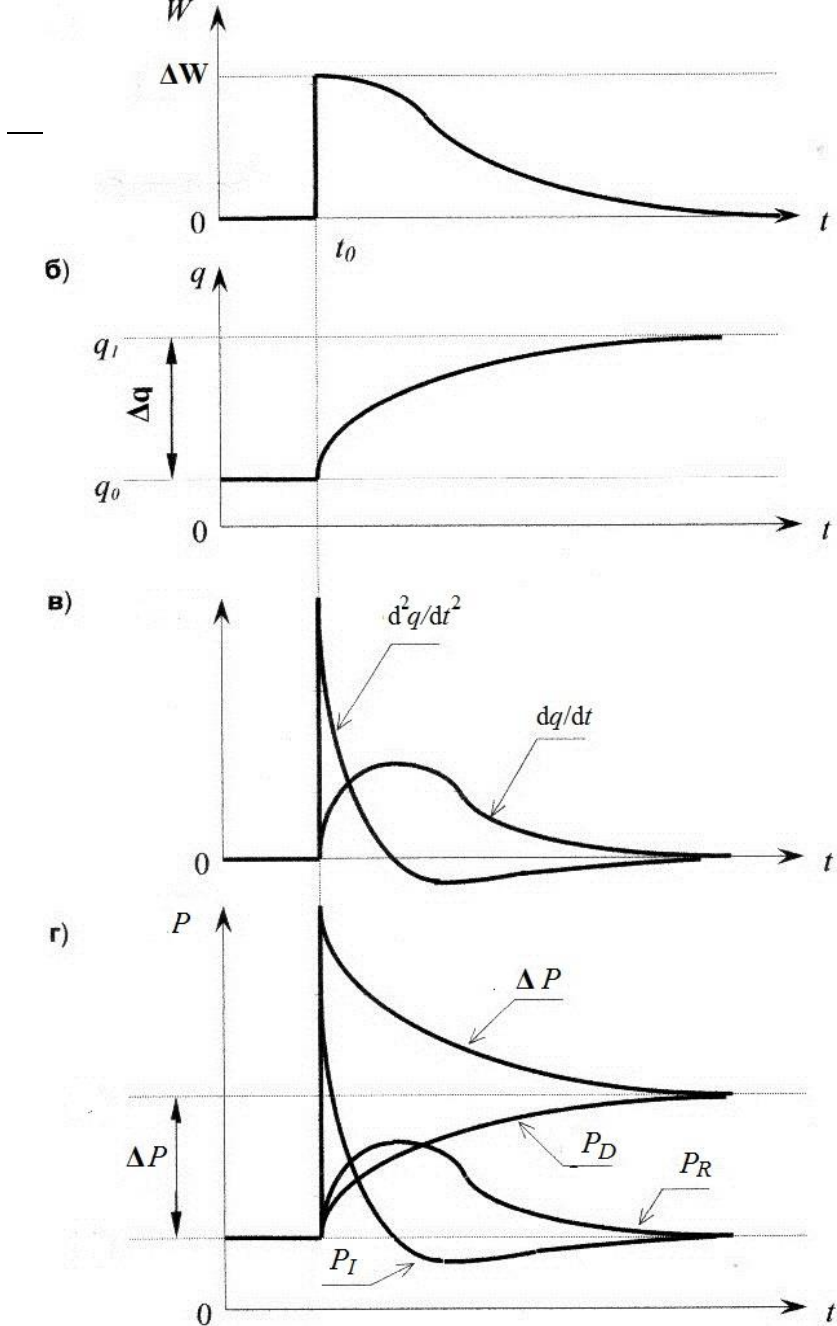
6.8. Переходный процесс при изменении состояния системы

Рассмотрим обобщенное уравнение динамики системы и соответствующее уравнение переходного процесса, в течение которого в системе изменяется количество энергоносителей:

$$D \Delta q + R dq/dt + I d^2q/dt^2 = P_D + P_R + P_I, (1)$$

где D – жесткость системы, R – диссипативное сопротивление системы, I – инертность системы, P_D – противодействие жесткости, P_R – диссипативное противодействие, P_I – противодействие инертности. Эти уравнения соответствуют процессу в непроточной системе, отличающейся тем, что энергоносители либо только входят в нее, либо только выходят из нее..

1. Характер изменения координаты состояния при переходном процессе.



Предположим, что при $t < t_0$ дисбаланс энергообмена между средой и системой отсутствует ($\Delta W = 0$) (см. рис. а), и система находится в равновесном состоянии при суммарном количестве энергоносителей в системе $q = q_0$ (см. рис. б).

Пусть в какой-то момент времени t_0 дисбаланс энергообмена изменится скачком до значения ΔW . Такого типа скачкообразную функцию широко применяют для исследования поведения моделей систем в динамике, ее называют единичной функцией Хевисайда.

При $t > t_0$ система выходит из равновесного состояния, и суммарное количество энергоносителей в системе q (см. рис. б) будет плавно меняться в течение переходного процесса от q_0 до q_1 , соответствующему новому равновесному состоянию системы в конце переходного процесса. При этом (см. рис. а) значение дисбаланса энергообмена ΔW будет плавно падать и дойдет до 0.

Вид графика функции $q = f(t)$ на рис. б показывает, что эта функция аperiодическая, то есть график плавно асимптотически приближается к новому значению количества энергоносителей q_1 . Но возможна и такая ситуация, когда график функции $q = f(t)$ приблизится к новому значению q_1 после нескольких колебаний вокруг этого значения. Это зависит от значения параметра $f_0 = \sqrt{(D/I)}$, называемого **собственной частотой колебаний**.

2. Характер изменений параметров системы при переходном процессе.

Соотношение между слагаемыми уравнения (1) меняется в течение переходного процесса. Приращение координаты состояния Δq нарастает постепенно (см. рис. б), а скорость его изменения dq/dt (см. рис. в) вначале быстро растёт, а потом постепенно сходит к 0. Ускорение изменения количества энергоносителей d^2q/dt^2 в начале переходного процесса (см. рис. в) возрастает скачком до очень большого значения, а затем начинает быстро снижаться, переходит через нулевое значение при максимальном значении скорости приращения dq/dt и возвращается к 0. Интенсивности изменений dq/dt и d^2q/dt^2 зависят от значений сопротивления R и инертности I системы. При высоких значениях жесткости и малых значениях инертности зависимость d^2q/dt^2 от времени приобретает вид графика затухающих колебаний.

В начале переходного процесса имеет место всплеск текущего значения разности потенциалов ΔP , так как изменение Δq еще очень мало. К концу переходного процесса значение ΔP возвращается к $\Delta P =$

$dW/\Delta q$, так как количество энергоносителей принимает новое значение, равное $q_1 = q_0 \pm \Delta q$.

Графики значений противодействия инертности P_I и диссипативного противодействия P_R повторяют по своему характеру графики значений dq/dt и d^2q/dt^2 , так как при систематизации физических величин значения инертности I и сопротивления R условно считаются постоянными. По мере роста приращения количества энергоносителей dq все большую роль начинает играть противодействие жесткости P_D . К концу переходного процесса dq/dt и d^2q/dt^2 обращаются в нуль, процесс приращения координаты состояния прекращается, а итоговое значение суммы противодействий определяется только противодействием жесткости P_D .

Длительность переходного процесса существенно зависит от инертности системы I . Для одних форм движения эта длительность весьма значительна (например, тепловые формы движения), для других – практически незаметна (например, электрические формы движения). Но это не снижает важности классификации систем по динамике энергообмена.

Если внутри физической системы жесткость D распределена неравномерно, то в системе наступают дополнительные колебания относительно центра равновесия системы, которые при определенных неблагоприятных условиях могут стать незатухающими расходящимися и привести к аварийной ситуации. Это явление известно, например, в авиации в виде так называемого флаттера крыльев.

Если энергообмен между окружающей средой и системой меняется постоянно, то при систематизации физических величин этот непрерывный процесс рассматривают, как последовательность переходных процессов, протекающих за бесконечно малые промежутки времени.

3. Примеры переходных процессов в непроточных системах.

1. В аэродинамической форме движения возникновение энергетического воздействия приводит к появлению перепада давлений Δp между системой и окружающей средой. По истечению переходного процесса абсолютное давление газа в системе p

становится равным абсолютному давлению газа в окружающей среде, перепад давлений между средой и системой исчезает, а объем газа в системе изменяется на ΔV .

2. При изменении электрического напряжения на клеммах конденсатора возникает всплеск значения разности электрических потенциалов, существующий до тех пор, пока потенциалы на зажимах не выровняются. При этом изменится значение электрического заряда конденсатора. Разница между двумя приведенными примерами заключается лишь во времени протекания переходного процесса, во втором примере оно несравненно меньше, чем в первом (близко к нулю).

3. Рассмотрим два сообщающихся сосуда, из которых один из сосудов соединен с окружающей средой, а другой сосуд соединен с соседней системой, давление в которой не равно давлению окружающей среды. Тогда любое сечение канала, соединяющего эти сообщающиеся сосуды, можно рассматривать как контрольную поверхность между непроточной системой и окружающей средой. Энергообмен между окружающей средой и непроточной системой становится обменом жидкостью через соединительный канал. Любое изменение уровня жидкости в любом из двух сообщающихся сосудов приводит к появлению дисбаланса энергообмена, и, как следствие, к обмену жидкостью между сосудами и к изменению объемов жидкости в каждом из сосудов.

4. Некоторые частные случаи переходного процесса.

1. Если вдоль контрольной поверхности баланс энергообмена неодинаков, то перенос материальных носителей энергии через контрольную поверхность происходит до тех пор, пока баланс не установится в каждой точке контрольной поверхности. Но при этом локальные значения координаты состояния вдоль контрольной поверхности будут разными (например: изменение температуры тела в неравномерном температурном поле внешней среды). Вследствие этого в течение переходного процесса будет происходить перенос энергоносителей в направлении от большего значения координаты состояния к меньшему.

2. Если система и среда находятся в одной и той же форме силового поля, то напряженность этого поля изменяется аналогично и в системе,

и в среде (например, гравитационный потенциал поля тяготения изменяется в направлении от одной поверхности системы к другой). В этом случае перенос энергоносителей внутри системы отсутствует, так как баланс энергообмена вдоль контрольной поверхности системы остается всюду равным нулю. Система при этом находится в равновесном состоянии (например, состояние жидкости в сообщающихся сосудах равновесное, если разность статических давлений по обе стороны любого объема жидкости, находящегося в трубке сосуда, уравновешивается силой тяжести этого объема). И хотя в этом случае распределение координаты состояния формы движения внутри системы неравномерно, но ее локальные значения постоянны во времени.

6.9. Процесс переноса энергоносителей через физическую систему

1. Особенности перехода видов энергии при движении энергоносителей через систему.



Перенос энергоносителей может происходить только в проточной системе. Как только значение потенциальной энергии системы-источника $(W_p)_{in}$ становится больше значения потенциальной энергии системы-стока $(W_p)_{out}$ (см. схему), возникает процесс переноса энергоносителей через систему. Разность потенциальных энергий

$(W_p)_{in} - (W_p)_{out}$ обычно поддерживается искусственно. Та часть потенциальной энергии системы-источника $(W_p)_{in}$, которая вносится энергоносителями в проточную систему, преобразуется в кинетическую энергию упорядоченной формы движения W_k внутри проточной системы. На схеме это преобразование имеет вид скачкообразного процесса, показанного жирной ломаной линией, но в реальности оно происходит плавно, захватывая частично область перехода от системы-источника к проточной системе с обеих сторон. Обратное преобразование кинетической энергии проточной системы в потенциальную энергию системы-стока происходит аналогично, только с другим знаком. При равномерном процессе переноса значение кинетической энергии W_k в каждом сечении внутри проточной системы постоянно. Переход потенциальной энергии системы-источника в кинетическую энергию на входе в систему и обратный переход кинетической энергии в потенциальную на выходе из системы происходят постоянно и постольку, поскольку существует разность между значениями потенциальной энергии системы-источника и системы-стока.

Часть кинетической энергии W_k упорядоченных форм движения переходит по длине системы в кинетическую энергию неупорядоченного теплового движения, то есть в энергию диссипации W_R , что повышает температуру внутри системы. В итоге разность между потенциальными энергиями на входе и на выходе из системы составляет энергию тепловой формы движения диссипации $W_R = (W_p)_{in} - (W_p)_{out}$. Переход W_k в W_R вдоль системы постоянно компенсируется переходом потенциальной энергии в кинетическую, в результате чего значение кинетической энергии вдоль системы остается неизменным, а падает значение потенциальной энергии. В качестве примера можно привести поток жидкости в трубе, где вдоль трубы падает статическое давление, а динамическое давление остается неизменным.

2. Равномерный и неравномерный процессы переноса энергоносителей через систему.

Если разность дисбалансов энергообмена постоянна: $(W_p)_{in} - (W_p)_{out} = \text{const}$, то перенос энергоносителей через систему является **равномерным процессом**, а сама система находится в равновесном динамическом состоянии. Подразумевается, что в таком состоянии количество энергоносителей внутри системы неизменно,

несмотря на их перемещение. Например, количество перемещающихся электронов в проводнике постоянно, если количество вошедших в проводник и вышедших из него электронов одинаково. Другой пример, в системе "тепловая электростанция" имеется подсистема-источник "тепловой котел", в котором всегда поддерживается избыток тепловой энергии, и подсистема-сток "конденсатор", который постоянно служит приемником тепловой энергии. А энергоносители тепловой энергии постоянно перемещаются через турбины.

Если разность дисбалансов энергообмена непостоянна, то перенос энергоносителей через систему является **неравномерным процессом**. Однако это не влияет на неизменность количества энергоносителей внутри системы, поскольку проточная система не обладает ёмкостью для их накопления. Неравновесие проточных систем следует рассматривать как неравновесие **процесса переноса** энергоносителей. Изменяется скорость переноса энергоносителей, а не их количество в системе.

3. Обобщение первого закона Ньютона для проточных систем.

При изменении значений $(W_p)_{in}$ или $(W_p)_{out}$ (или обоих одновременно) значение потока энергоносителей через систему будет меняться в течение переходного процесса. Поэтому переменной величиной в проточных системах является поток энергоносителей. Это позволяет сформулировать первый закон динамики Ньютона при рассмотрении проточных систем в обобщенном виде:

“Физическая проточная система продолжает находиться в состоянии динамического равновесия, то есть в состоянии, когда через неё протекает постоянный по значению поток энергоносителей, пока и поскольку эта система не понуждается изменить это состояние приложенным к ней изменением энергообмена на входе и/или на выходе системы”.

4. Координата состояния процесса переноса энергоносителей.

Для анализа процесса переноса энергоносителей применяется элементарное количество движущихся энергоносителей dq_l .

Координатой состояния процесса переноса является ток энергоносителей $\mathbf{i} = dq_l / dt = (dq_l / dl)\mathbf{v}$. В электромагнетизме под \mathbf{i} подразумевают электрический ток. В современной физике ток (под названием сила тока) некорректно считается скалярной величиной.

Поток энергоносителей $\Phi = iS$, где S – площадь сечения потока. Это уравнение можно записать также в виде $\Phi = (dq_{fl} / dl)vS$. Произведение (vS) является **объёмным расходом** энергоносителей Q_V в проточной системе. В текучих средах, где частицы движутся хаотично, поток Φ является величиной усредненной и выглядит как превышение усредненной скорости энергоносителей в направлении потока над усредненной скоростью энергоносителей в обратном направлении. При переходном процессе имеет место временное изменение значения потока. Между потоком энергоносителей Φ в проточных и непроточных системах существует различие. В непроточной системе поток Φ имеет место только при переходном процессе, а в проточной системе он существует всегда.

5. Уравнение переходного процесса переноса энергоносителей.

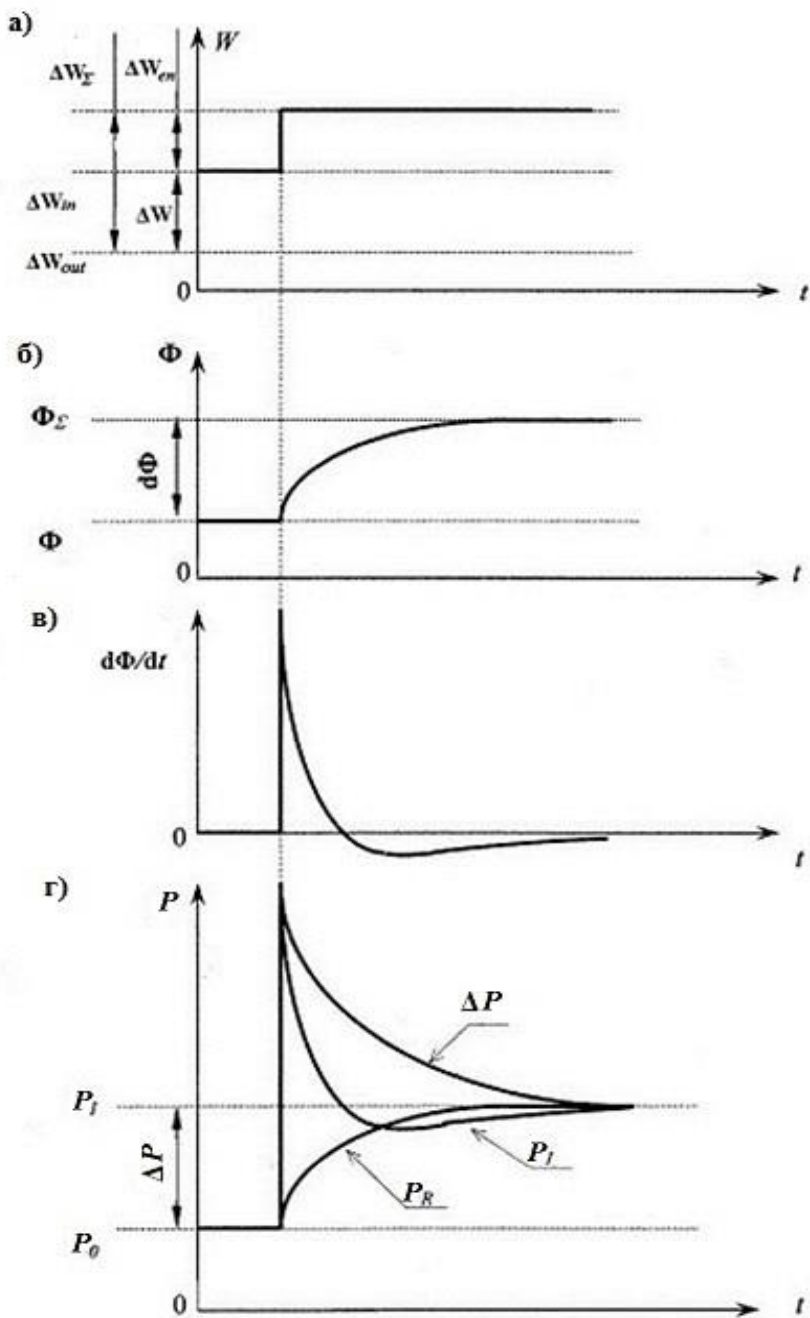
Аргументом уравнения переходного процесса в проточной системе является ток энергоносителей \dot{i} . В обобщенном уравнении динамики, применяемом для проточных систем, отсутствует противодействие жесткости P_D , так как полное количество энергоносителей q в проточной системе не изменяется, а два других противодействия становятся векторными величинами. Поэтому уравнение динамики для проточной системы имеет вид:

$$R\dot{i} + I(di/dt) + \dots = P_R + P_I = -\Delta P. \quad (1)$$

В уравнении (1) R и I – те же сопротивление и инертность, что и в уравнении переходного процесса для непроточной системы. Только в проточной системе сопротивление R может включать в себя дополнительно сумму диссипативных сопротивлений тех участков системы-источника, системы-стока и проточной системы, которые примыкают к контрольным поверхностям проточной системы.

В промежутки времени, когда проходит переходный процесс, уравнение непрерывности потока в проточной системе $\dot{i} = \int_S \mathbf{j}_i dS = \text{const}$ не соблюдается. Это означает не разрыв сплошности среды, а отсутствие постоянства интеграла.

6. Изменения параметров системы при переходном процессе переноса.



При постоянстве дисбалансе энергообмена ΔW процесс переноса энергоносителей через систему равномерный. Если в какой-то момент времени скачкообразно возникнет дополнительный дисбаланс

энергообмена, равный ΔW_{en} (см. рис. а), то постоянство значения потока энергоносителей Φ нарушится. Суммарный дисбаланс энергообмена уже будет равен $\Delta W_{\Sigma} = (\Delta W + \Delta W_{en})$, что приведет к переходному процессу изменения потока Φ .

Переходный процесс будет длиться, пока при новом значении ΔW_{Σ} не установится новое значение потока $\Phi_{\Sigma} = \Phi + \Delta\Phi$ (см. рис. б). На рис. в показано изменение ускорения потока, а на рис г - графики изменений противодействий системы в период переходного процесса.

Противодействие диссипации плавно растет со временем, пока не станет к концу переходного процесса равным полному противодействию. А противодействие инертности резко возрастает в первый момент и потом плавно уменьшается до нуля.

7. Особенности ускорения потока энергоносителей через систему.

Изменение потока по времени $d\Phi/dt$ после начального всплеска обычно асимптотически приближается к нулю. Если же это изменение все время положительно или все время отрицательно, то речь может идти о двух особых случаях.

Первый случай наступает при очень малых значениях сопротивления проточной системы (при $R \rightarrow 0$). В этом случае происходит нарастание потока Φ до какого-то предельно допустимого значения, выше которого наступает аварийная ситуация. Например, в электрической форме движения нарастание электрического тока возможно лишь до ситуации, называемой **коротким замыканием**.

Второй случай наступает при очень больших значениях сопротивления системы (при $R \rightarrow \infty$). Тогда значение потока становится настолько малым, что приводит к торможению и, наконец, к остановке технологического процесса. Например, в электрической форме движения это соответствует **режиму холостого хода**.

Из сказанного следует, что для нормального протекания технологического процесса усредненное во времени значение $d\Phi/dt$ должно быть равно нулю, что обычно и обеспечивается техническими

средствами. По этим же причинам $d\Phi/dt$ не может быть использовано в качестве аргумента уравнения динамики.

6.10. Переходный процесс в обобщенной физической системе

1. Энергообмен в обобщенной физической системе.

Переходные процессы в проточной и непроточной частях комплексной системы следует рассматривать независимо друг от друга. В комплексной системе учитывается дисбаланс энергообмена на всех ее границах, включая границу с окружающей средой. Соответственно, дисбаланс энергообмена на входе комплексной системы ΔW_{in} является суммой дисбалансов энергообмена в обоих компонентах комплексной системы: в непроточную части ΔW_{nfl} и в проточной части ΔW_{fl} , или

$$\Delta W_{in} = \Delta W_{fl} + \Delta W_{nfl} . (1)$$

В выбранной i -ой форме движения комплексной системы могут одновременно протекать два переходных процесса: процесс изменения количества энергоносителей q в непроточной части под влиянием разности потенциалов ΔP_{nfl} и процесс перемещения энергоносителей q_l в проточной части комплексной системы под влиянием разности потенциалов ΔP_{fl} . Поэтому разность потенциалов комплексной системы ΔP_{in} также состоит из двух слагаемых:

$$\Delta P_{in} = (dW/dq + dW/dq_l) e_{\Delta P} . (2)$$

Физическая природа координаты состояния и в непроточной, и в проточной частях комплексной системы, естественно, одна и та же.

Примером комплексной системы может служить проводник, по которому течет электрический ток, если проводник обладает большой электрической ёмкостью.

Другим примером комплексной системы может служить течение жидкости в канале, открытом в атмосферу. При равномерном процессе течения устанавливается постоянный расход жидкости через канал при неизменном значении объема жидкости, находящейся в канале. При нарушении равномерного процесса течения одновременно изменяются и объём жидкости в канале, и расход жидкости через канал.

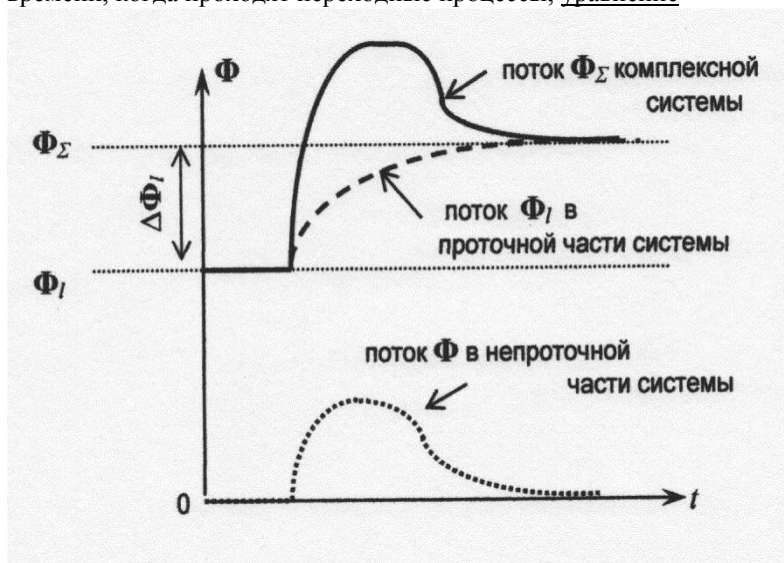
Количество жидкости в канале будет величиной переменной и зависящей от уровня жидкости в канале. Аналогичная ситуация получается, если к трубе, внутри которой течет жидкость, пристроить гидравлический аккумулятор с воздушной подушкой. В том и в другом случае мы имеем дело с комплексной системой.

Наконец, комплексными системами являются любые проточные системы, в которых течет сжимаемая жидкость. Это и течение газа в трубе, и распространение звуковых волн в любой упругой среде, а также движение теплового заряда ввиду того, что каждое теплопроводящее тело обладает собственной теплоёмкостью.

Сочетание различных свойств в одной и той же системе приводит к расширению объема таблиц физических величин.

2. Графики переходных процессов в обобщенной физической системе.

Комплексная система ведет себя одновременно и как непроточная, и как проточная система. Поэтому в ней могут происходить одновременно два разных переходных процесса. В промежуток времени, когда проходят переходные процессы, уравнение



непрерывности потока в проточной части комплексной системы не

соблюдается, что поясняется в статье, посвященной переходному процессу в проточной системе.

На рисунке показан процесс приращения суммарного потока энергоносителей Φ_{Σ} в комплексной системе при переходном процессе. В непроточной части комплексной системы (пунктирная линия) характер приращения потока энергоносителей аналогичен характеру изменения потока энергоносителей в непроточной системе. Это поясняется в статье, посвященной переходному процессу в непроточной системе. А в проточной части комплексной системы (штриховая линия) характер приращения потока энергоносителей аналогичен характеру изменения потока энергоносителей в проточной системе. Из рисунка видно, что при переходном процессе в обеих частях комплексной системы приращения потоков суммируются друг с другом.

3. Примеры переходных процессов в обобщенной физической системе.

В электрической форме движения заряда в проводнике в проточной части комплексной системы (в самом проводнике) происходит приращение значения постоянно протекающего электрического тока. А в непроточной части комплексной системы (в ёмкости проводника) приращение потока энергоносителей приводит к приращению количества электрического заряда, что сопровождается кратковременным всплеском значения электрического тока. Этот всплеск хорошо знаком всем, кто связан с электричеством.

В другом примере рассмотрим механическую форму движения (например, перемещение деформируемого тела). В проточной части комплексной системы (в теле в целом) изменение потока энергоносителей соответствует изменению скорости перемещения тела. С другой стороны, приращение потока энергоносителей связано с приращением силы, действующей на тело, и тогда в непроточной части комплексной системы (то есть в теле, как деформируемой среде) это приращение приводит к деформации тела. Как видим, в данном примере речь идет об упругом соударении тел, когда в момент удара тело упруго сжимается, а потом уже при иной скорости тела его упругая деформация возвращается к нулю. Если же деформирование тела можно не учитывать, то тогда речь идет уже не комплексной системе, а только о проточной системе.

Переходные процессы приращения потока энергоносителей в непроточной и проточной частях комплексной системы имеют разные количественные характеристики. Это зависит от того, является ли система открытой или закрытой, постоянна ли ее ёмкость (упругость) или нет. Кроме того, разность изменений энергообмена ΔW_{Σ} по обе стороны проточной части системы и приращение этой разности друг от друга не зависят. Всё зависит от свойств технологического процесса.

4. Диссипация энергии в обобщенной физической системе.

Поток энергоносителей, входящий в комплексную систему, может быть не равен в течение переходного процесса потоку энергоносителей, выходящему из системы. Причиной этого является то обстоятельство, что часть входящего в систему потока энергоносителей изменяет суммарное количество энергоносителей в системе. Суммарный поток заряда диссипации $\Phi_{R\Sigma}$ в комплексной системе определяется по уравнению

$$\Phi_{R\Sigma} = -P_{R\Sigma}/R, \quad (3)$$

где $P_{R\Sigma} = P_R + \Delta P_R$ – суммарное диссипативное противодействие; P_R – диссипативное противодействие проточной части комплексной системы; ΔP_R – дополнительное диссипативное противодействие при переходном процессе в непроточной части системы.

6.11. Обобщенное уравнение переноса энергоносителей через систему

Поток заряда диссипации и обобщенное уравнение переноса.

Появление потока теплового заряда диссипации является следствием перехода энергии упорядоченно движущихся энергоносителей в энергию неупорядоченно движущихся энергоносителей. Этот перенос энергии характеризуется **потоком заряда диссипации Φ_R** , пропорциональным диссипативному противодействию P_R . Поток заряда диссипации определяется по **обобщенному уравнению**

переноса:

$$\Phi_R = - P_R / R . (1)$$

Название величине Φ_R было дано А.Вейником (1968). Поток заряда диссипации Φ_R характеризует скорость перехода энергии из любой формы движения с упорядоченным движением в энергию тепловой формы движения диссипации с неупорядоченным движением. Знак “–“ в уравнении (1) отражает противоположность направлений потока Φ_R и диссипативного противодействия P_R .

Размерность потока заряда диссипации Φ_R совпадает с размерностью потоков энергоносителей Φ в непроточных и проточных системах, но эти три физические величины имеют разные определяющие уравнения и разные значения, хотя у них одна и та же природа. Поток Φ_R зависит только от диссипативного сопротивления R , а потоки Φ зависят от значений всех параметров уравнения динамики системы. В проточной системе Φ_R соответствует мощности процесса диссипации dW_R/dt .

Применяемая в физике форма записи обобщенного уравнения переноса энергии.

Уравнение (1) является **обобщенным уравнением переноса** энергии из любой формы движения в тепловую форму движения диссипации. Но это уравнение в современной физике записывается иначе. Противодействие P_R относят к длине переноса энергоносителей l , представляя это отношение в виде градиента противодействия dP_R/dl , а также включают в уравнение площадь поперечного сечения S потока энергоносителей. И тогда обобщенное уравнение переноса (1) приобретает вид:

$$\Phi_R = - k_R (dU_R/dl) S , (2)$$

в котором коэффициент $k_R = l/RS$ называется **обобщенным коэффициентом переноса**.

Конкретные значения и размерности обобщенного коэффициента переноса в различных формах движения, принятые в современной физике, иногда не совпадают с теми значениями и размерностями, которые вытекают после обобщения и систематизация физических величин. Причины этого несоответствия и примеры уравнений, определяющих коэффициент переноса в различных физических науках,

пояснены в разделе, посвященном явлениям переноса. Чаще всего эти причины имеют историческую подоплеку.

Коэффициент переноса k_R является удельной физической величиной.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.

7. Таблицы физических величин

(в круглых скобках указано время публикации первого варианта таблицы или схемы)

Таблицы, обобщающие физические величины

- Таблица физических аналогий (1943)
- Таблица классификации форм физического поля (06.2008)
- Таблица величин физического поля в СИ (размерности в системе LMTI) (09.2009)
- Таблица величин физического поля (в обновляемой СИ) (размерности в системе ELTQ) (06.2008)
- Таблицы напряженностей в разных формах физического поля (06.2008)
- Таблица восприимчивостей и проницаемостей вещества (10.2009)
- Обобщенная таблица упругих деформаций (08.2006)
- Таблица физических величин теплового излучения (10.2008)
- Таблицы физических величин периодических процессов (04.2008)
- Таблица величин физической экономики (01.2009)

Таблицы физических величин в разных формах движения и разных видах физических систем

Классификация физических систем (03.2008)

Непроточные системы

Деформация растяжения (сжатия)
Деформация сдвига
Деформация кручения
Деформация изгиба
Наполнение (опорожнение) сосуда
Нагрев (охлаждение) тела
Поворот электрического диполя
Поляризация диэлектрика
Намагничивание магнитной цепи

Проточные системы

Прямолинейное перемещение тела
Вращение тела вокруг своей оси
Движение тела по криволинейной орбите
Движение жидкости в трубе (в единицах об)
Движение жидкости в трубе (в единицах ве)
Движение жидкости в пограничном слое
Теплопередача (в современной трактовке)
Движение электрического заряда в проводн
Движение заряженного тела в электрическо
Движение заряженной частицы в магнитно
Движение проводника в магнитном поле

Классификации физических понятий и их схемы

- Иерархия уровней систематизации физических величин и понятий (02.2004)
- Схема классификации форм и видов энергии (12.2007)
- Схема классификации форм и видов энергообмена (03.2008)
- Схема классификации зарядов физического поля (02.2009)
- Схема классификации диполей в электродинамике и гравидинамике (09.2009)
- Схемы уровня строения структуры материи (2004)

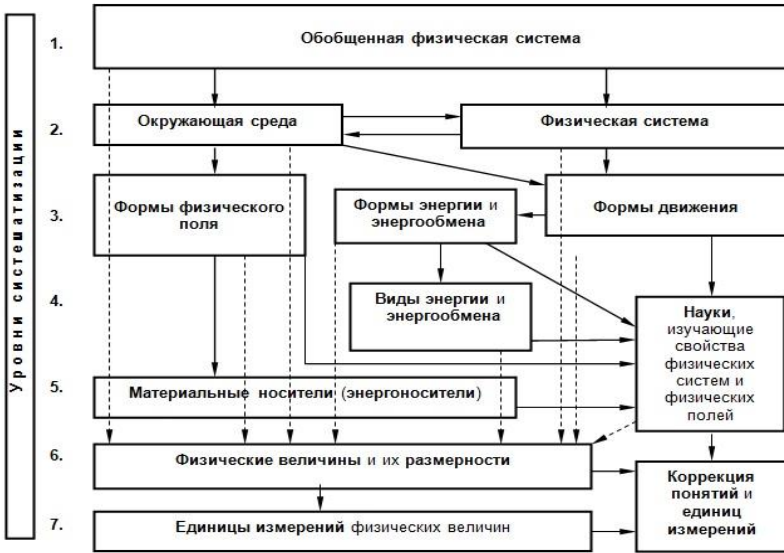
7.1. Иерархия уровней систематизации физических величин

Схема иерархии уровней систематизации физических величин.

Чтобы систематизировать какие-либо объекты, надо уяснить, прежде всего, что от чего зависит и в какой последовательности. **Системный подход требует в этом случае составить иерархию уровней систематизации, то есть расположить части или элементы целого в порядке от высшего уровня к низшему.** В этом нуждается и систематизация физических величин. Иерархия ее уровней изображена схематично на рисунке.

Схема иерархии уровней систематизации физических величин была

опубликована ранее в работах И.Когана (2003, 2006). Схема, представленная на данном рисунке, несколько изменилась по сравнению с ранее опубликованными вариантами, но принципы построения и терминология остались прежними.



Предложенная схема относится к физике. Согласно трактовке А.Вейника (1968) энергодинамика должна находиться на более высоком уровне иерархии, чем физика, в состав энергодинамики должны по Вейнику входить и физика, и химия, и биология, и все прикладные (технические, медицинские и прочие) науки. Однако в основе всех уравнений, описывающих поведение химических, биологических и прочих систем лежат все те же физические величины. Значит, внутри расширенной иерархии должны были бы возникнуть перекрестные связи, учитывающие направления, возникшие на стыке перечисленных наук (например, физхимия, биофизика, биохимия и т.д.). Подобная схема возникнет в будущем.

В предлагаемой схеме на верхнем уровне находится обобщенная физическая система. Если в дальнейшем будет построена более полная иерархия, рассматривающая не только физические явления, этот уровень окажется не высшим. Может возникнуть еще более высокий уровень, включающий в себя и науки о живой природе. Но расширение

систематизации на другие естественные науки будет возможно, по-видимому, лишь после того, как удастся систематизировать физические величины в рамках самой физики.

Какие уровни и подуровни систематизированы в разделах данной работы

Физические величины являются характеристиками свойств всех физических объектов на всех уровнях. Поэтому их систематизацию невозможно осуществить, не систематизировав предварительно все уровни, находящиеся выше уровня "Физические величины". В современной физике, к сожалению, систематизация коснулась лишь отдельных уровней и подуровней, причем в ряде случаев она нуждается в корректировке. В данную работу включены ниже перечисленные варианты систематизации предложенные И. Коганом:

- классификация физических систем,
- классификация форм и видов энергии,
- классификация форм и видов энергообмена,
- классификация форм описания физического поля,
- систематизация полевых величин,
- классификация зарядов разных форм физического поля,
- классификация диполей,
- классификация напряженностей в разных формах физического поля,
- классификация восприимчивостей и проницаемостей вещества,
- систематизация форм записи уравнения состояния,
- частичная систематизация законов сохранения,
- обновленная классификация механических форм движения,
- систематизация параметров упругих деформаций,
- систематизация форм записи уравнения состояния,
- систематизация физических величин периодических процессов,
- систематизация физических величин теплового излучения,
- систематизация физических величин явлений переноса.
- Таблицы физических величин в 26 формах движения.

Приведен подробный аналитический обзор истории систематизации физических величин. На базе этого обзора определены условия успешной систематизации физических величин.

Комментарии к схеме иерархии уровней

В схеме присутствуют некоторые новые понятия. В частности, для изменения локальных значений координаты состояния в любой форме движения необходимо, чтобы какие-то материальные объекты донесли энергию от контрольной поверхности физической системы до конкретного места системы. Объекты, участвующие в переносе энергии, можно объединить общим понятием “материальные носители”. В.Эткин (2006) для этой же цели применяет термин “энергоносители”, и с этим термином следует согласиться, хотя его применение более характерно для промышленной энергетики, но там он имеет несколько иное содержание.

Энергоносители с совокупностью разных функций были названы А.Вейником (1968) **ансамблями зарядов**. В качестве примера ансамблей зарядов он привел любую элементарную частицу, несущую одновременно и электрический, и гравитационный, и спиновый заряды. Примером ансамблей координат состояния являются молекулы, переносящие при конвективной теплопередаче энергию механических форм движения (прямолинейной и вращательной), тепловой формы движения, а если молекулы ионизированы, – то еще и электрической формы движения.

Примерами систематизации ансамблей зарядов являются Периодическая система элементов Д.Менделеева и таблица элементарных частиц М.Гелл-Манна и Ю.Неэмана в атомной физике. Вероятным примером такой систематизации является бинарная номенклатура К.Линнея в биологии. В связи с указанными примерами ясно, что **именно координаты состояния форм движения и заряды физического поля определяют научное содержание любого раздела физики или любой технической науки. Поэтому естественные науки, изучающие формы движения, формы взаимодействия и особенности энергообмена, относятся сразу к четырем уровням иерархии.**

Особо следует отметить, что размерности физических величин находятся на схеме на более высоком иерархическом уровне, чем единицы измерений. Из этого очень важного для метрологии вывода следует, что никакая система единиц не может и не должна влиять на решение проблемы систематизации физических величин. Любая система единиц может иметь свой набор основных единиц, включая единицы, выбранных условно, но это ни к чему не обязывает при решении проблемы систематизации физических величин.

Литература

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Коган И.Ш., 2003, Пути решения проблемы систематизации физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7073.html>
3. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
4. Эткин В.А., 2006, Энергия и анергия. – http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/energijaianergija.shtml

7.2. Основное содержание системы физических величин ЭСВП

1. Основные идеи, заложенные в систему физических величин и понятий ЭСВП.

В основу созданной И. Коганом энергодинамической системы величин и понятий ЭСВП положены такие идеи:

1. Необходимость введения нового комплекта основных величин и связанный с этим пересмотр размерностей и единиц многих физических величин.
2. Анализ определяющих уравнений классической физики на предмет их соответствия принципу причинности и анализ нарушений этого принципа.
3. Критический анализ соответствия терминов и символов, применяемых для названия и обозначения понятий и величин, их физическому содержанию.
4. Рекомендации по пересмотру методологии преподавания некоторых разделов физики.

2. Основные мотивы при создании системы физических величин ЭСВП.

С точки зрения физики:

Все формы движения являются моделями обобщенной формы движения, и все формы физического поля в природе являются моделями обобщенного физического поля. Поэтому уравнения,

описывающие формы движения и формы физического поля для любой физической системы, являются частными случаями уравнений, описывающих обобщенную физическую систему и обобщенное физическое поле.

С точки зрения метрологии:

1. Системы физических величин должны базироваться на том комплекте основных физических величин, которые предоставляет в наше распоряжение Природа, а не на том, который условно принимают люди на своей планете Земля, разрабатывая различные системы единиц.
2. Система физических величин не обязана иметь тот же набор основных величин, что и применяемая на практике система единиц. Набор основных единиц не обязан копировать набор основных величин.
3. Обобщенная физическая система имеет условную обобщенную координату состояния, для которой введен условный символ размерности, превращающийся в конкретную размерность координаты состояния в конкретной форме движения. Конкретные координаты состояния определяют физическое содержание конкретных форм движения.

С точки зрения педагогике:

Существующие в физике понятия и обозначения должны быть тщательно проанализированы с целью устранения существующей в этом вопросе бессистемности. Если такое устранение в отдельных случаях не представляется возможным, должны быть приведены рекомендации о внесении соответствующих разъяснений в метрологические и терминологические стандарты, в учебные пособия и справочники, а также в практику преподавания.

Из методологии физики должны быть устранены все нарушения принципа причинности, в связи с чем должны быть скорректированы методика и последовательность изложения учебного материала. Это должно быть учтено при составлении учебных программ и учебных пособий по физике и общетехническим дисциплинам.

3. Основные величины системы физических величин ЭСВП.

ЭСВП описана ранее в работах И.Когана (1998, 2004, 2006). Она постоянно совершенствуется, уточняется и дополняется как в статьях, публикуемых в метрологических журналах, так и в статьях сайта И. Когана.

ЭСВП является системой физических величин, а не системой их единиц. И. Коган как автор вынужден не раз повторять это, так как многие не сразу понимают, зачем нужна еще одна система физических величин, когда уже есть СИ. Но **СИ это не система физических величин, а система единиц.** Чтобы получить подробный ответ на этот неясный для многих вопрос, можно прочесть статью И.Когана (2007) или раздел данной работы, где детально **описано различие между системами физических величин и системами единиц.**

ЭСВП базируется на **комплекте из пяти естественных основных физических величин: энергия (символ размерности E), длина (символ размерности L), угол поворота (символ размерности A), число структурных элементов или количество считаемых величин (символ размерности C), время (символ размерности T) и одной условно введенной основной величины заряд (символ размерности Q).** Соответственно, ЭСВП может быть представлена как **система размерностей ELASTQ.** Поясним конкретно причины введения именно такого комплекта основных физических величин:

1. Идея о необходимости считать основной физической величиной **энергию** была в начале XX века высказана А.Пуанкаре и заложена в скрытом виде в естественную систему единиц М.Планка, постулирована и обоснована в середине XX века А.Вейником (1968), разработана в конце XX века другими авторами (см. **историю проблемы**). В упрощенном виде эта идея обосновывается в разделах работы, посвященных **уравнению состояния** и **формам и видам энергии**.

Энергия со своим символом размерности **E** была включена, как основная физическая величина в систему физических величин, по-видимому, впервые в работе И.Когана (1993). Второе аналогичное упоминание о том же самом найдено в работе Д.Конторова (1999). На возможность замены единицы массы на единицу энергии в системе единиц указал И.Миллс (1995). Г.Трунов (2004) включил энергию в качестве основной физической величины в свою систему

электромагнитных величин с символом размерности W . На методическую ценность использования такой замены в процессе анализа размерностей указал Г.Голицын (2008). Необходимость замены массы в качестве основной величины энергией обоснована в работах И. Когана (см. отдельный раздел) и в монографии К.Томила (2006, глава 3).

2. Относительно угла поворота тела и того, какой именно физической величиной он является (основной, производной, дополнительной), дискуссия ведется не один десяток лет. Эта дискуссия отражена в разделе, посвященном углу поворота. Утверждение о том, что угол поворота тела должен иметь свою размерность и, следовательно, должен являться основной физической величиной, опубликовано в работе В.Эдера (1982) со ссылками на 11 предыдущих работ. Оно доказывается в статье И.Когана (2007) и приведено в отдельном разделе настоящей работы.

3. Число структурных элементов в качестве основной физической величины известно сейчас метрологам под названием "**количество объектов**", в Международном метрологическом словаре указано на то, что эта величина может считаться основной величиной. В СИ число структурных элементов входит в определяющее уравнение для количества вещества (условно принятой основной величины) и применяется лишь в молекулярной физике и физхимии. В разделах, посвященных числу структурных элементов и количеству считаемых величин, подробно обосновано применение этой физической величины в качестве основной в метрологии периодических процессов, в квантовой механике, в информатике, в экономике.

4. Анализ основных единиц, лежащих в основе СИ, показал, что их размерности могут быть выражены через размерности основных величин ЭСВП. В частности, размерность силы света – через размерность энергии, размерность термодинамической температуры – через размерность количества считаемых величин, размерность электрического тока – через размерность электрического заряда.

Причина того, что в комплекте основных физических величин Международной системы величин ISQ присутствуют те же основные величины, что и в системе единиц СИ, хотя это и противоречит принципу причинности, объясняется следующим. Метрология – это наука об измерениях, и для таких единиц, например, как килограмм, ампер, кельвин и кандела имеются измерительные эталоны. А для

единицы энергии джоуль это сделать чрезвычайно трудно, и уж, во всяком случае, не экономично. Но, во-первых, системы физических величин, в отличие от любой системы единиц, не нуждаются в измерительных эталонах, поскольку у них разные цели и задачи. А, во-вторых, в происходящем сейчас процессе переопределения единиц с базированием на фундаментальные физические константы, необходимость в натуральных измерительных эталонах отпадает. **Их место занимают фундаментальные физические константы.**

О таблицах величин в системе физических величин ЭСВП.

Введение обобщенной физической системы и обобщенной координаты состояния подсказало идею конструирования таблиц физических величин на базе ЭСВП. Более подробно о конструкции самих таблиц рассказано в отдельном разделе.

Для освоения методики пользования таблицами ЭСВП требуется мало времени, она доступна даже школьнику-старшекласснику. Естественно, в соответствии с тем объемом знаний, которые уже накоплены на момент знакомства с таблицами. Немаловажным достоинством таблиц является то, что ими можно пользоваться и как справочником по единицам измерений. Но это второстепенная функция таблиц физических величин.

В таблицах в качестве единиц указаны как единицы в ЭСВП, так и единицы в СИ, но для одних и тех же физических величин единицы в ЭСВП и в СИ единицы могут быть разными. В ЭСВП всего 5 единиц основных величин (джоуль, метр, оборот, штука, секунда) плюс 2 единицы для заряда физического поля (килограмм, кулон). А в СИ имеется 7 единиц для основных величин (метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела, моль) плюс примерно 27 единиц для наиболее часто применяемых производных величин, не считая нескольких десятков внесистемных единиц.

В таблицах физических величин приведены также определяющие уравнения для каждой физической величины, что может быть использовано для практических целей.

Литература

1. Голицын Г.С., 2008, Наглядность для ряда задач выбора энергии в качестве единицы измерения вместо массы. – “Успехи физических наук”, **178**, № 7, с.с. 753-755.
2. Коган И.Ш., 1993, Основы техники. – Киров, КГПИ. 231 с.
3. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, **5**, с.с. 30-43.
4. Коган И.Ш., 2004, “Физические аналогии” – не аналогии, а закон природы. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7438.html>
5. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
6. Коган И.Ш., 2007, Системы физических величин и системы их единиц – независимые друг от друга понятия – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8792.html>
7. Конторов Д.С., Михайлов Н.В., Саврасов Ю.С., 1999, Основы физической экономики (Физические аналогии и модели в экономике). – М.: Радио и связь, 184 с.
8. Томилин К.А., 2006, Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах, – М.: Физматлит. 368 с.
9. Трунов Г.М., 2004, О физическом смысле формул размерностей электрических и магнитных величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, **6**.
10. Eder W.E., 1982, A viewpoint on the quantity “plane angle“. Metrologia, **18**, p.p. 1–12
11. Mills I.M., 1995, Unity as a Unit. – Metrologia, v. **31**, p. 537.

7.3. Конструкция таблиц физических величин и пояснения к ним

1. Таблицы ЭСВП состоят из двух частей: левой и правой с заливкой разного цвета. В левой части расположены **обобщенные физические величины** для заданной системы (непроточной, проточной или комплексной). Все левые части имеют одну и ту же голубую заливку. В правой части таблиц расположены соответствующие обобщенным физическим величинам **физические величины конкретных форм движения**. Правые части имеют три цвета заливки: для непроточных систем – розовый, для проточных систем – салатовый и для комплексных систем – сиреневый.

2. Шапка левой части состоит из двух половин: верхняя содержит название физической системы (согласно классификации физических

систем), а нижняя содержит название формы физического поля (согласно классификации форм физического поля). Нижняя половина левой части шапки может отсутствовать, если влияние физического поля на физическую систему не учитывается.

3. В верхней половине правой части шапки указаны название и размерность **координаты состояния** конкретной формы движения, название этой **формы движения** и ее особенность. В нижней половине правой части шапки указаны название **заряда физического поля**, его размерность и название физического поля. Как правило, имеется ссылка на раздел, на которой обосновывается размерность координаты состояния или заряда. Нижняя половина правой части шапки может отсутствовать, если влияние физического поля на физическую систему не учитывается.

4. Физические величины разделены на **группы величин** (главные производные величины, параметры физического поля, параметры системы, параметры явлений переноса, прочие производные величины). Порядок расположения групп величин в таблице соответствует той очередности, которая указана в скобках при условии, что физическое поле противодействует изменению состояния системы под влиянием сторонних сил. Если же состояние системы не изменяется по причине воздействия на нее физического поля, то группа параметров физического поля может отсутствовать. Группа параметров явлений переноса может отсутствовать, если диссипативное сопротивление не учитывается.

5. Под **прочими производными физическими величинами** подразумеваются физические величины, для которых в данной форме движения отсутствуют обобщенные физические величины. Величины этой группы введены физиками и инженерами для удобства практических расчетов. Наличие группы прочих производных величин в таблице не обязательно.

6. Расположение **производных физических величин** внутри каждой группы величин и в целом внутри таблицы иерархическое, то есть соответствует принципу последовательности образования физических величин. Это означает, что величины, входящие в определяющее уравнение рассматриваемой величины, должны находиться в таблице выше определяемой величины.

7. Для каждой производной величины приведено уравнение, которое

определяет ее взаимосвязь с другими величинами, расположенными выше ее в таблице, и потому оно называется **определяющим уравнением** или **уравнением связи**. Основные физические величины определяющих уравнений не имеют.

8. Для каждой физической величины в левой части таблицы приведены размерность и единица измерений в ЭСВП, а в правой части таблицы в СИ. Благодаря последнему таблицы могут служить своего рода справочным пособием.

9. Если в какой-нибудь строке конкретной формы движения отсутствует название физической величины и ее определяющее уравнение, а вместо них поставлен знак "--", то это означает, что физическая величина, которая должна находиться в данной строке, либо не применяется, либо в данной форме движения этой величиной пренебрегают, либо используют очень редко.

10. Каждая единица измерений соответствует расположенной рядом с ней слева размерности.

11. Новые физические величины в таблицы И. Коган старался не включать в той степени, в какой это ему удавалось. В некоторых случаях пришлось корректировать названия и обозначения физических величин по сравнению с теми, которые существуют в стандартах, а также проставлять дополнительные нижние индексы.

12. Пользователь имеет полное право заполнять незаполненные строки в таблицах, скачанных им для собственного пользования, а также вставлять в таблицы новые строки. Однако делать это рекомендуется в соответствии с принципами систематизации.

7.4. Принципы систематизации обозначений полевых величин

Систематизация обозначений величин физического поля

Описанию проблемы символьной бессистемности в современной физике посвящен отдельный раздел, но особенно сильно эта бессистемность проявляется в обозначениях, применяемых при описании физических полей. Составители метрологических стандартов вместо того, чтобы систематизировать обозначения и индексы,

узаконивают наиболее часто применяемые обозначения, придавая, таким образом, символьной бессистемности силу закона. Символы величин часто употребляются без индексов даже в тех случаях, когда они применяются в различных обстоятельствах. При этом всё это происходит в одной и той же главе, а иногда и в одном и том же параграфе учебного или справочного пособия.

Подобная практика не только напрягает внимание и усложняет понимание текста, рисунков и схем, но и вынуждает авторов делать многочисленные примечания и сноски. А это приводит к ошибкам и недопониманию текста. Например, сила взаимодействия зарядов F , как правило, всюду записывается без индексов, хотя в различных формах физического поля различны определяющие уравнения для сил взаимодействия. Обобщение и систематизация физических величин диктуют необходимость обобщения и систематизации их обозначений (символов) и индексов к ним. Подчиняясь этой необходимости, составлена система обозначений величин физического поля и система индексов к ним. Эта **система обозначений полевых величин** применена в Таблицах величин физического поля.

Внимание. На все физические величины, показанные в Таблицах **синим цветом**, принятая система обозначений и система индексации не распространяются, символы этих физических величин приведены такими, какими их принято применять сейчас в метрологических стандартах. При желании распространить на подобные величины составленную систему обозначений и систему индексации следует применить запись, сделанную в левом верхнем углу той ячейки, в которой приведена величина, а определяющее уравнение для этой величины имеется в данной строке в третьем столбце Таблицы.

Систематизация индексов к обозначениям величин физического поля

Предлагаемая **система индексации величин** физического поля построена в соответствии со следующими принципами:

1. Отсутствие нижнего индекса говорит о том, что приведено обозначение полевой величины может быть отнесено к любой форме описания поля в любой среде и с любым типом заряда.
2. Для символа физической величины, связанной с полеобразующим зарядом, применяется прописная буква, а для символа физической

величины, относящейся к заряженной системе, применяется строчная буква.

3. Для указания о том, что символ относится к центральному полю, для индексации применяется буква “ f ” (от английского слова field, то есть поле).

4. Для указания о том, что символ относится к вихревому полю, для индексации применяется буква “ c ” (от английского слова current, то есть ток, так как вихревое поле образуется движущимся или токовым зарядом).

5. Для указания о том, что символ относится к гравистатическому полю, для индексации применяется буква “ g ”.

6. Для указания о том, что символ относится к электрическому полю, для индексации применяется буква “ e ”.

7. Для указания о том, что символ относится к гравидинамическому полю, для индексации применяется буква “ i ”.

8. Для указания о том, что символ относится к магнитному полю, для индексации применяется буква “ m ”.

9. Для указания о том, что символ относится к сочетанию полей, для индексации могут быть применены две буквы, например, “ gi ” или “ em ”.

10. При необходимости указать, что поле находится в физическом вакууме, при индексации добавляется буква “ v ”.

11. При необходимости указать, что поле находится в веществе, при индексации добавляется буква “ s ” (от английского слова substance, то есть вещество).

12. При необходимости указать, что речь идет об относительной величине, при индексации добавляется буква “ r ” (от английского слова relative, то есть относительный).

13. При необходимости указать, что речь идет о сторонних зарядах, при индексации добавляются буквы “ for ” (от английского слова foreign, то есть сторонний).

14. При необходимости указать, что речь идет о связанных зарядах, при индексации добавляются буквы “ fix ” (от английского слова fixed, то есть связанный).

15. При необходимости сочетания индексы записываются один за другим с соблюдением той же очередности, что и в данном списке.

Обозначение \mathbf{e} всегда относится к орту векторной величины (единичному вектору), а нижний индекс указывает на ту величину, к которой относится или параллельно которой направлен данный орт.

7.5. Описание таблиц величин физического поля

1. Задачи и цели создания таблиц величин физического поля.

Основной задачей создания таблиц полевых величин является упорядочение последовательности их расположения в соответствии со строгим соблюдением принципа причинности.

Первой дополнительной задачей является уточнение записи определяющих уравнений полевых величин в соответствии с классификацией форм физического поля и классификацией зарядов поля.

Второй дополнительной задачей является **сравнение** размерностей и единиц одних и тех же полевых величин в системе единиц СИ и в предложенной автором системе величин ЭСВП.

Целью создания таблиц полевых величин является **ознакомление** читателей с теми изменениями, которые вносит обновленная классификация зарядов поля в определяющие уравнения полевых величин, и с теми возможностями, которые представляет унифицированная терминология и символика.

Дополнительной целью является получение возможности воспользоваться таблицами в качестве справочного метрологического пособия по размерностям и единицам полевых величин.

2. Общие сведения о таблицах величин физического поля.

1. Представлены две таблицы полевых величин: первая – с размерностями и единицами СИ, вторая – с размерностями и единицами системы величин ЭСВП. Разъяснению принципиального различия между этими системами посвящен отдельный раздел.

2. В шапках таблиц приведена применяемая на данной работе терминология форм поля и их зарядов.

3. В таблицах рассматриваются последовательно 5 групп полевых величин: заряды, напряженности, силы взаимодействия, объёмные плотности зарядов и объёмные плотности энергии. Внутри каждой группы соблюдается принцип последовательности. Это означает, что величины, входящие в определяющее уравнение рассматриваемой величины, должны находиться в таблице выше

определяемой величины.

Величина **первой очереди** (статический заряд поля) образована только от основных физических величин. В размерность величин **второй очереди** (например, движущегося заряда, количества движения) входят дополнительно размерности хотя бы одной величины первой очереди. В размерность величин **третьей очереди** (например, дипольного момента) входят размерности хотя бы одной величины второй очереди. И так далее.

4. Для каждой полевой величины в обеих таблицах приведены размерность и единица, поэтому таблицы могут служить справочным пособием.

5. Если вместо величины поставлен знак "-", то это означает, что величина, которая должна находиться в данной строке, либо не применяется, либо пока не известна.

3. Дополнительные сведения о некоторых величинах физического поля.

1. Статический заряд центрального поля считается условно принятой основной физической величиной.

2. Плотность потока заряда в строке 3, как доказывается в разделе, посвященном электрическому току, является векторной величиной, а длина прямолинейного отрезка проводника является величиной скалярной, что противоположно современным представлениям.

3. Выражения в круглых скобках (Qv) и (I), применяемые для обозначения двух вариантов динамического заряда, не допускается разделять на сомножители с вынесением одного из сомножителей за скобки.

4. Гравитационная постоянная, электрическая и магнитная постоянные) считаются не константами, а размерными коэффициентами, зависящими от принятой системы единиц. Значение гравитационной постоянной уточняется. Магнитная постоянная считается функцией от электрической постоянной, а не наоборот, как в современной физике.

5. Размерность любой полевой величины в СИ получается путем

умножения размерности этой величины в системе единиц СГСЭ на размерность тока в СГСЭ ($\dim \mathbf{I} = L^{3/2}M^{1/2}T^{-2}$) и последующего деления на размерность тока в СИ ($\dim \mathbf{I} = I$).

6. Термины чистая напряженность, локальная напряженность, полная напряженность приведены в соответствии с классификацией напряженностей физического поля.

7. При выводе определяющих уравнений для восприимчивостей и проницаемостей вещества применены принципы, изложенные в статье о характеристиках поля в веществе.

ТАБЛИЦА ВЕЛИЧИН ФИЗИЧЕСКОГО ПОЛЯ (в СИ)

Размерности и единицы основных величин:
LMTI, м кг с А.

Аналогичная таблица имеется для обновляемой СИ.

Предварительно ознакомиться с принципами составления Таблицы и системой символики и индексации.

Примечания:

1. **Черным цветом** напечатаны принятые в СИ уравнения связи, термины, символы, размерности и единицы.

2. **Фиолетовым цветом** напечатаны не принятые в СИ уравнения связи, термины, символы, размерности и единицы.

3. **Коричневым цветом** напечатаны предлагаемые уравнения связи, термины, символы, размерности и

единицы.

4. Знак **U** обозначает операцию логического ИЛИ.

Формы физического поля						
Центральное поле <u>статического заряда</u> со сферической эквипотенциальной поверхностью				Вихревое поле <u>динамического заряда</u> с цилиндрической эквипотенциальной поверхностью		
наименование физической величины	<u>Гравистатическое</u> поле	Размерность и единица	Электро- статическое поле	Размерность и единица	Уравнение связи	<u>Гравидинамическое</u> поле
3	4	5	6	7	8	9
В	А	Р	Я	Д	Ы	.
Q_g Гравитац. заряд Масса M	Q_e Электрич. заряд Q	М кг	Q_e Электрич. заряд Q	ТИ А с Кл	$Q_c = (Qv)$	Q_i $Q_i = (Q_g v)$ Колич. движения (Mv)
q_g Гравитац. заряд Масса m	q_e Электрич. заряд q	М кг	q_e Электрич. заряд q	ТИ А с Кл	$q_c = (qv)$	q_i $q_i = (q_g v)$ Колич. движения (mv)
-	-	-	-	-	I i	I_i U i_i Ток массы
-	-	-	-	-	(I) (i)	(I_i l) U (i_i l) Гравитационный токовый заряд (I_i l) U (i_i l)
$Q_g U d$	p_g Гравистатический дипольный момент $p_g = Q_g d U q_g d$	LM м кг	p_e Электростатический дипольный момент $p_e = Q_e d U q_e d$ Электрич. момент электрич. диполя $p_e = ql$	LTI м с А м Кл	$p_c = [Q d]$ U $[q d]$	p_i Гравидинамический дипольный момент $p_i = [Q_i d] U [q_i d]$

Р	Я	Ж	Ё	Н	Н	О
k_f	k_g $k_g = 1/\gamma_0 = G$ ($\gamma_0=1/G$ - гравитат. постоянная, G или γ - гравитац. постоянная)	$L^3 M^{-1} T^{-2}$ $M^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^2$	k_e $k_e = 1/\epsilon_0$ (ϵ_0 - электрическая постоянная)	$L^3 M T^{-4} I^{-2}$ $M^3 \text{ кг} \text{ с}^{-4}$ A^{-2} $M \Phi^{-1}$	$k_c = k_f/c^2$	k_i $k_i = \delta_0 = 1/(\gamma_0 c_g^2)$ (δ_0 - гравидинам. постоянная, c_g - скорость гравитац. волн)
S_f	S_g $S_g = 4\pi r^2$ (r - радиус сферы)	L^2 M^2	S_e $S_e = 4\pi r^2$	L^2 M^2	S_c	S_i $S_i = 2\pi b l$ (b - радиус цилиндра)
Q_e/S_f	E_g $E_g = M e_r / 4\pi r^2$ (с учетом строки 10 $E_g = \gamma_0 G$)	$L^{-2} M$ $M^{-2} \text{ кг}$	E_e $E_e = Q e_r / 4\pi r^2$ (с учетом строки 10 $E_e = \epsilon_0 E$)	$L^{-2} T I$ $M^{-2} \text{ с} A$ $M^{-2} \text{ Кл}$	$E_c = [Q_c e_r] / S_c$	E_i $E_i = [(M v) e_r] / 2\pi b l$ (с учетом строки 10 $E_i = G_i / \delta_0 = B / \mu_0$)
$k_f Q/S_f$	φ_{gv} $\varphi_{gv} = M / \gamma_0 4\pi r$ $\varphi = W_p / m$	$L^2 T^{-2}$ $M^2 \text{ с}^{-2}$ $\text{Дж} \text{ кг}^{-1}$	φ_{ev} $\varphi = Q / \epsilon_0 4\pi r$	$L^2 M T^{-3} I^{-1}$ $M^2 \text{ кг} \text{ с}^{-3}$ A^{-1} $\text{Дж Кл}^{-1};$ B	$\varphi_{cv} = k_c Q_c r / S_c$	φ_{iv} $A_g = \delta_0 (I_i l) / 2\pi l$
$k_f E_f$	E_{gv} $E_{gv} = G = M e_r / \gamma_0 4\pi r^2$ $G = - \text{grad } \varphi_g$	$L T^{-2}$ $M \text{ с}^{-2}$	E_{ev} $E_{ev} = E = Q e_r / \epsilon_0 4\pi r^2$ $E = - \text{grad } \varphi$	$L M T^{-3} I^{-1}$ $M \text{ кг} \text{ с}^{-3} A^{-1}$ $H \text{ Кл}^{-1}; B$ M^{-1}	$E_{cv} = k_c E_c$	E_{iv} $E_{iv} = \delta_0 [(I_i l) e_b] / 2\pi b l$ $G_i = \text{rot } A_g$
$\int_S E_{fv} dS$	Φ_{gv} $\Phi_{gv} = \int_S G n dS$	$L^3 T^{-2}$ $M^3 \text{ с}^{-2}$	Φ_{ev} $\Phi_E = \int_S E n dS$	$L^3 M T^{-3} I^{-1}$ $M^3 \text{ кг} \text{ с}^{-3}$ A^{-1} $B M$	$\Phi_{cv} = \int_S E_{cv} n dS$	Φ_{iv} $\Phi_{iv} = \int_S G_i n dS$
$= \sum_V / V$	$E_{g \text{ fix}}$ -	-	$E_{e \text{ fix}}$ Поляризованность диэлектрика	$L^{-2} T I$ $M^{-2} \text{ с} A$	$E_{c \text{ fix}} = \sum_V p_c / V$	$E_{i \text{ fix}}$ -

			$\mathbf{P} = \Sigma_V \mathbf{p}_e / V$	M^{-2} Кл		
$\mathbf{E} = \mathbf{E}_g + \mathbf{E}_{fix}$	$\mathbf{E}_{g\ ext}$	-	$\mathbf{E}_{e\ ext}$ Электрическое смещение $\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}$	$L^{-2} T I$ $M^{-2} c A$ M^{-2} Кл	$\mathbf{E}_{c\ ext} = \mathbf{E}_c + \mathbf{E}_{c\ fix}$	$\mathbf{E}_{i\ ext}$
$\Phi = \int_S \mathbf{E}_f \cdot d\mathbf{S}$	$\Phi_{g\ ext}$	-	$\Phi_{e\ ext}$ $\Psi = \mathbf{D} \cdot \mathbf{n} \ dS$	Т I А с Кл	$\Phi_{c\ ext} = \int_S \mathbf{E}_c \cdot \mathbf{n} \ dS$	$\Phi_{i\ for}$
$\chi = E_{f\ fix} / E_{fv}$	$k_{g\ s1}$	-	$k_{e\ s1}$ $\chi_a = \chi = P/E$	$L^{-3} M^{-1} T^4 I^2$ $M^{-3} K^{-1} c^4$ A^2 $M^{-1} \Phi$	$k_{c\ s1} = E_{c\ fix} / E_{cv}$	$k_{g\ s1}$
$\chi = E_{f\ fix} / E_f$	$k_{g\ r1}$	-	$k_{e\ r1}$ $\chi_r = P/(\epsilon_0 E) = \chi / \epsilon_0$	1	$k_{c\ r1} = E_{c\ fix} / E_c$	$k_{i\ r1}$
$\chi = E_{f\ ext} / E_{fv}$	$k_{g\ s2}$	-	$k_{e\ s2}$ $\epsilon_a = D/E = 1/\epsilon_0 + \chi$	$L^{-3} M^{-1} T^4 I^2$ $M^{-3} K^{-1} c^4$ A^2 $M^{-1} \Phi$	$k_{c\ s2} = E_{c\ ext} / E_{cv}$	$k_{g\ s2}$
$\chi = E_{f\ ext} / E_f$	$k_{g\ r2}$	-	$k_{e\ r2}$ $\epsilon_r = \epsilon = D/(\epsilon_0 E) = 1 + \chi_r$	1	$k_{c\ r2} = E_{c\ ext} / E_c$	$k_{i\ r2}$
		С	И	Л	Ы	
$q_f \mathbf{E}_{fv}$	\mathbf{F}_{gv} Сила тяжести $\mathbf{F}_g = m\mathbf{G}$	LMT^{-2} м кг с ⁻² Н	\mathbf{F}_{ev} Кулоновская сила $\mathbf{F}_C = q\mathbf{E}$	LMT^{-2} м кг с ⁻² Н	$\mathbf{F}_{cv} = [q_c \mathbf{E}_{cv}]$	\mathbf{F}_{iv} Сила Кориолиса $\mathbf{F}_K = [(m\mathbf{v}) \mathbf{G}_i]$
$\mathbf{r} = \mathbf{F}_{fv}$	dA_{gv} $dA = \mathbf{F}_g \cdot d\mathbf{r}$	L^2MT^{-2} $M^2 \text{ кг с}^{-2}$ Н м; Дж	dA_{ev} $dA = \mathbf{F}_C \cdot d\mathbf{r}$	L^2MT^{-2} $M^2 \text{ кг с}^{-2}$ Н м; Дж	$dA_{cv} = [\mathbf{F}_{cv} \cdot d\mathbf{b}]$	dA_i $dA = [\mathbf{F}_K \cdot d\mathbf{b}]$

Т	О	Т	Н	О	С	Т
В	а	р	я	д	о	в
V	$4\pi r^3/3$	L^3 M^3	$4\pi r^3/3$	L^3 M^3	V	$\pi b^2 l$
(dQ_f/dV) $\text{div } \mathbf{E}_f$	ρ_g Плотность $\rho = dM/dV$ $\rho_g = \text{div}(\gamma_0 \mathbf{G})$	$L^{-3}M$ $M^{-3} \text{ кг}$	ρ_e Плотность заряда $\rho = dQ/dV$ $\rho_e = \text{div}(\epsilon_0 \mathbf{E})$	$L^{-3}T$ $M^{-3} \text{ с А}$ $M^{-3} \text{ Кл}$	$\rho_c = (dQ_c/dV)$ $\rho_c = \text{rot } \mathbf{E}_c$	ρ_i $\rho_i = (dQ_i/dV)$ $\rho_i = \text{rot}(\mathbf{G}_i/\delta_0)$
$= k_f$ (dV/dV) $= \text{div}$ f_v	ρ_{gv} $\rho_{gv} = (dM/dV)/\gamma_0$ $\rho_{gv} = \text{div } \mathbf{G} = \rho/\gamma_0$	T^{-2} c^{-2}	ρ_{ev} $\rho_{ev} = (dQ/dV)/\epsilon_0$ $\rho_{ev} = \text{div } \mathbf{E} = \rho/\epsilon_0$	$MT^{-3}T^{-1}$ $\text{кг с}^{-3} \text{ А}^{-1}$ $\text{кг с}^{-2} \text{ Кл}^{-1}$	$\rho_{cv} =$ $k_c(dQ_c/dV)$ $\rho_{cv} = \text{rot}$ \mathbf{E}_{cv}	ρ_{iv} $\rho_{iv} = \delta_0 (dQ_i/dV)$ $\rho_{iv} = \text{rot } \mathbf{G}_i = \delta_0 \rho_i$
$= \text{div}$ f_{fix}	$\rho_{g \text{ fix}}$ -	-	$\rho_{e \text{ fix}}$ $\rho_{e \text{ fix}} = \text{div } \mathbf{P} = \chi \rho/\epsilon_0$	$L^{-3}T$ $M^{-3} \text{ с А}$ $M^{-3} \text{ Кл}$	$\rho_{c \text{ fix}} = \text{rot}$ $\mathbf{E}_{c \text{ fix}}$	$\rho_{i \text{ fix}}$ -
$= \text{div}$ f_{ext}	$\rho_{g \text{ ext}}$ -	-	$\rho_{e \text{ ext}}$ $\rho_{e \text{ ext}} = \text{div } \mathbf{D}$	$L^{-3}T$ $M^{-3} \text{ с А}$ $M^{-3} \text{ Кл}$	$\rho_{c \text{ ext}} = \text{rot}$ $\mathbf{E}_{c \text{ ext}}$	$\rho_{i \text{ ext}}$ -
Т	О	Т	Н	О	С	Т
е	р	г	и	и	.	п
$w_v =$ $= 2k_{f0}$	w_{gv} $w_{gv} = \gamma_0 \mathbf{G}^2/2$	$L^{-1}MT^{-2}$ $M^{-1} \text{ кг с}^{-2}$ Дж М^{-3}	w_{ev} $w_{ev} = \epsilon_0 \mathbf{E}^2/2$	$L^{-1}MT^{-2}$ $M^{-1} \text{ кг с}^{-2}$ Дж М^{-3}	$w_{cv} =$ $\mathbf{E}_{cv}^2/2k_{c0}$	w_{iv} $w_{iv} = \mathbf{G}_i^2/2\delta_0$
$w_{fix} =$ $f_{fix}/2$	$w_{g \text{ fix}}$ -	-	$w_{e \text{ fix}}$ $w_{e \text{ fix}} = \mathbf{E}P/2 =$ $= \epsilon_0 \chi \mathbf{E}^2/2$	$L^{-1}MT^{-2}$ $M^{-1} \text{ кг с}^{-2}$ Дж М^{-3}	$w_{c \text{ fix}} =$ $\mathbf{E}_{cv} \mathbf{E}_{c \text{ fix}}/2$	$w_{i \text{ fix}}$ -

$w_{ext} = f_{ext} / 2$	$w_g ext$	-	-	$w_e ext$ $w_e ext = \mathbf{E} \mathbf{D} / 2 = \epsilon_0 \epsilon \mathbf{E}^2 / 2 = \mathbf{D}^2 / 2 \epsilon_0 \epsilon$	$L^{-1} \text{MT}^{-2}$ $\text{M}^{-1} \text{кг} \text{с}^{-2}$ $\text{Дж} \text{м}^{-3}$	$w_c ext = \mathbf{E}_{cy} \mathbf{E}_{c ext} / 2$	$w_i for$	-
-------------------------	-----------	---	---	--	---	--	-----------	---

Сим-вол	Формы физического поля											
	Центральное поле <u>статического</u> вида со сферической или иной симметрией						Векторное поле <u>динамического</u> вида с цилиндрической или иной симметрией					
	Уравнение связи	Гравитационное поле	Размерность и единица	Электростатическое поле	Размерность и единица	Уравнение связи	Гравитационное поле	Размерность и единица	Омнестроительное (магнитное) поле	Размерность и единица		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	З А Р Я Д Ы											
Q	Q	Q_g Гравитационный заряд Масса M	М кг	Q_e Электрический заряд Q	П А с Кл	$Q_c = (Q_e)^2$ Квант. динамич. (Дж) (Q ²)	ЛМТ ⁻¹ м кг с ⁻¹	$Q_m = (Q_e v)$ Движущийся заряд (Qv)	ЛМТ ⁻¹ м кг с ⁻¹	$Q_m = (Q_e v)$ Движущийся заряд (Qv)	ЛП м А м с ⁻¹ Кл	ЛП м А м с ⁻¹ Кл
φ	φ	φ_g Гравитационный потенциал Масса M	М кг	φ_e Электрический потенциал U	П А с Кл	$\varphi_c = (\varphi_e)^2$ Квант. динамич. (Дж) (U ²)	ЛМТ ⁻² м кг с ⁻²	$\varphi_m = (\varphi_e v)$ Движущийся потенциал (Uv)	ЛМТ ⁻² м кг с ⁻²	$\varphi_m = (\varphi_e v)$ Движущийся потенциал (Uv)	ЛП м А м с ⁻¹ Кл	ЛП м А м с ⁻¹ Кл
I	I	-	-	-	-	I	I	I	I	I	I	I
(P)	(P)	-	-	-	-	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)
P	$p = [Qd]$ p_d	p_g Гравитационный дипольный момент $p_g = Q_g d$ U d ₂ d	ЛМ м кг	p_e Электростатический дипольный момент $p_e = Q_e d$ U d ₂ d Электрический дипольный момент $p_e = qd$	ЛП м с А м Кл	$p_c = [Qd]$ $p_c = [Q_e d]$ U [d ₂ d]	ЛМТ ⁻¹ м кг с ⁻¹	$p_m = [Q_e d]$ U [d ₂ d]	ЛМТ ⁻¹ м кг с ⁻¹	$p_m = [Q_e d]$ U [d ₂ d]	ЛП м А м с ⁻¹ Кл	ЛП м А м с ⁻¹ Кл
П Р Я Ж Ё Н Н О С Т И												
ϵ	ϵ	ϵ_0 $\epsilon_0 = 1/\mu_0 = G$ Гравитационная постоянная	$\epsilon_0 = 1/\mu_0 = G$ м ³ кг ⁻¹ с ²	$\epsilon_0 = 1/\mu_0 = G$ м ³ кг ⁻¹ с ²	$\epsilon_0 = 1/\mu_0 = G$ м ³ кг ⁻¹ с ² А ²	$\epsilon_0 = 1/\mu_0 = G$ м ³ кг ⁻¹ с ² А ²	$\epsilon_0 = 1/\mu_0 = G$ м ³ кг ⁻¹ с ²	$\epsilon_0 = 1/\mu_0 = G$ м ³ кг ⁻¹ с ²	$\epsilon_0 = 1/\mu_0 = G$ м ³ кг ⁻¹ с ²	$\epsilon_0 = 1/\mu_0 = G$ м ³ кг ⁻¹ с ²	$\epsilon_0 = 1/\mu_0 = G$ м ³ кг ⁻¹ с ²	$\epsilon_0 = 1/\mu_0 = G$ м ³ кг ⁻¹ с ²