

**Парадигма развития науки**  
**Методологическое обеспечение**

**А. Е. Кононюк**

**ОБОБЩЕННАЯ ТЕОРИЯ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Книга 3**

**Величины - количественные  
характеристики моделей**

**Часть 2**

**Физические величины (начало)**

**Киев  
Освіта України  
2012**

**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. Величины – количественные характеристики моделей. К.3. Ч. 2 Физические величины (Начало) Киев: "Освіта України", 2012. - 476 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**

**ISBN 978-966-7599-50-8**

**©А.Е. Кононюк, 2012**

## **Оглавление**

Предисловие.....	8
1. Аналитический обзор работ по физическим величинам и размерностям.....	13
1.1. Физические аналогии.....	13
1.1.1. Унификация единиц измерений.....	13
1.1.2. “Принцип виртуальной работы” Ж.Лагранжа.....	16
1.1.3. Естественная система единиц М.Планка.....	17
1.1.4. Физические (динамические) аналогии.....	21
1.1.5. Электротепловые аналогии А.Эйнштейна и Л.Инфельда и электрогидромеханические аналогии В.Фёрнера.....	24
1.1.6. О корректности термина “абсолютная система единиц”.....	25
1.2. Известные системы физических величин.....	27
1.2.1. Переход от физических аналогий к систематизации физических величин.....	27
1.2.2. “Единая математическая формула законов природы” М.Вудынского.....	32
1.2.3. Энергодинамика А.Вейника и ее вклад в метрологию.....	34
1.2.4. Система физических величин Н.Плотникова.....	41
1.2.5. Первый вариант системы физических величин И.Когана.....	44
1.2.6. Система физических величин И.Когана.....	46
1.2.7. Автономная система единиц Д.Конторова.....	50
1.2.8. Развитие энергодинамики В.Эткиным.....	52
1.2.9. “Обобщенные законы физики” Д.Ермолаева.....	56
1.2.10. Энергодинамическая система физических величин и понятий И.Когана.....	58
1.2.11. Системы электромагнитных величин Г. Трунова.....	61
1.2.12. Всеобщие физические инварианты В.Ацюковского.....	63
1.3. Системы физических величин в ЛТ-размерностях.....	68
1.3.1. Система физических величин Р.О. ди Бартини.....	68
1.3.2. Взгляды Г.Смирнова и В.Новицкого на ЛТ-систему величин.....	76
1.3.3. Взгляды В.Ерохина и В.Викулина на ЛТ-систему величин.....	80
1.3.4. “Естественная кинематическая система размерностей” А. Чуева.....	81
1.3.5. Периодическая система физики В. Васильева (ПСФ).....	87
1.3.6. Электронное учебное пособие А.Чуева.....	89
1.4. Общий анализ проблем в области систематизации физических величин.....	92
1.4.1. Уровневый подход в физике и его влияние на систематизацию физических величин.....	92

1.4.2. Новые работы в области систематизации физических величин..	94
1.4.3. Общий анализ тенденций в области систематизации физических величин .....	97
1.4.4. Вероятные причины отставания в решении проблем обобщения и систематизации физических величин.....	102
1.4.5. Инженерный аспект проблемы обобщения и систематизации физических величин.....	104
2. Систематизация физических величин.....	105
2.1. Основные обобщающие понятия физических величин.....	105
2.1.1. Обобщения и систематизация понятий физических величин...	105
2.1.2. Понятие и свойства физической системы.....	108
2.1.3. Понятие физической модели.....	113
2.1.4. Взаимосвязь между физической системой и окружающей средой .....	114
2.1.5. О понятиях материя, среда, вещество, движение.....	117
2.1.6. Уровневое строение материи.....	120
2.1.7. Системный подход и методы познания в физике.....	124
2.2. Физические величины, их классификация, свойства, размерности.....	125
2.2.1. О понятии “физическая величина”.....	125
2.2.2. О единице измерений.....	130
2.2.3. О размерности физической величины .....	134
2.2.4. Об основной и производной физических величинах.....	137
2.2.5. Естественные основные величины.....	142
2.2.6. Расширение определения понятия “Закон сохранения энергии”	146
2.2.7. О физическом содержании физической величины “действие”	151
2.2.8. Энергия как основная физическая величина.....	155
2.2.9. Длина, время и угол поворота как естественные основные физические величины.....	158
2.2.10. Основная физическая величина - число структурных элементов.....	160
2.2.11. Различие между размерностью физической величины и размерностью пространства.....	170
2.2.12. Условно принятые основные физические величины.....	172
2.2.13. Обобщенная координата состояния как условно принятая основная величина .....	177
2.2.14. Производные физические величины и их классификация.....	179
2.2.15. О размерности числа $\pi$ в физике.....	183
2.2.16. О физике и метрологии тригонометрических функций.....	187
2.2.17. Различие между системами физических величин и системами их единиц .....	189

2.2.18. Реальные и абстрактные физические величины.....	198
2.3. Физическое содержание некоторых понятий векторного анализа.....	202
2.3.1. Отличительные признаки векторной величины в физике.....	202
2.3.2. О бессодержательности понятия “поток вектора” в физике...	206
2.3.3. Приращения, дифференциалы и производные векторной величины .....	210
2.3.4. Производные вектора по модулю и направлению – разные величины.....	212
2.3.5. Об источниках силового поля.....	215
2.3.6. Уравнение непрерывности.....	217
2.4. Характеристики физической системы.....	
2.4.1. О формах движения и координатах состояния.....	
2.4.2. Состояние физической системы и ее координата состояния	
2.4.3. Графическая характеристика и уравнение состояния физической системы .....	
2.4.4. Уравнение состояния отдельной формы движения.....	
2.4.5. Закон сохранения энергии в виде обобщенного уравнения состояния.....	
2.5. Динамика физической системы.....	
2.5.1. Анализ применения понятия “динамика” в физике.....	
2.5.2. Обобщенное уравнение динамики системы.....	
2.5.3. Параметры системы при переходном процессе.....	
2.5.4. О терминологической некорректности в понятиях некоторых параметров системы .....	
2.6. Виды энергии и законы сохранения.....	
2.6.1. Об отличительных признаках форм энергии и видов энергии	
2.6.2. Физические аналогии – законы природы.....	
2.6.3. Классификация определений энергии в термодинамике.....	
2.6.4. Закон сохранения энергии (формы записи уравнения) .....	
2.6.5. Виды энергии в отдельно взятой форме движения.....	
2.6.6. Обобщенное уравнение состояния – источник всех законов сохранения.....	
2.7. Физические поля.....	
2.7.1. Физические поля (поле взаимодействия и поле переноса) .....	
2.7.2. О неоднозначности понятия “заряд физического поля“.....	
2.7.3. О структуре элементарного электрического заряда.....	
2.7.4. Базовые понятия зарядов физического поля.....	
2.7.5. Закон сохранения заряда системы и закон сохранения координаты состояния формы движения .....	
2.7.6. Диполи – системы из двух зарядов.....	
2.7.7. Классификация форм описания физического поля.....	

2.7.8. Об энергии центрального физического поля.....	
2.7.9. Об энергии вихревого физического поля.....	
2.7.10. Потенциал и его определяющие уравнения.....	
2.7.11. Параметры физического центрального поля.....	
2.7.12. Параметры физического вихревого поля.....	
2.7.13. О напряженности физического поля.....	
2.7.14. Сила взаимодействия зарядов физической системы и физического поля.....	
2.7.15. Размерность и единица статического заряда физического поля	
2.8. Движение физических систем.....	
2.8.1. Виды движения и формы движения.....	
2.8.2. Деление физических систем по движению потоков энергии	
2.8.3. Характеристики процесса движения в физических системах	
2.8.4. Обобщенные определяющие уравнения для расчета мощности	
2.8.5. Обобщенное уравнение состояния – источник всех законов сохранения.....	
3. Систематизация физических величин.....	
3.1. Условия систематизации физических величин	
3.2. Принцип причинности.....	
3.3. Условие аналогий.....	
3.4. Условие реальности.....	
3.5. Условие применения приращений.....	
3.6. Условие направленности, или перемещение координаты..... состояния – векторная величина.....	
3.7. Условие показателей степени размерностей.....	
3.8. Условие однозначности.....	
4. Классификация физических систем.....	
4.1. Классификация термодинамических систем.....	
4.2. Классификация физических систем.....	
4.3. Формы движения в различных физических системах.....	
4.4. Примеры классификации физических систем.....	
4.5. Виды движения и формы движения в механике.....	
4.6. Особенности непроточных физических систем.....	
4.7. Переходный процесс в непроточной системе.....	
4.8. Особенности проточных физических систем.....	
4.9. Координата состояния процесса, уравнение состояния..... процесса и уравнение динамики процесса.....	
4.10. Переходный процесс в проточной системе.....	
4.11. Особенности комплексных физических систем.....	
4.12. Переходные процессы в комплексной системе.....	
4.13. КПД процесса в физической системе и уравнение переноса	
4.14. Обобщенное уравнение переноса энергии.....	

4.15. Перемещение и вращение тела, как частные случаи  
процесса в проточной системе .....  
Литература

## 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 удастся 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, о котором сейчас уже говорят все, кому не лень. 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, сомневающих, 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 пробовать 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, придти 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. Аналитический обзор работ по физическим величинам и размерностям

## 1.1. Физические аналогии

### 1.1.1. Унификация единиц измерений

#### Краткая история унификации единиц измерений

Унификация мер и единиц измерений 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. 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). Не менее интересен обзор процесса унификации единиц электрических и магнитных величин в монографии Г.Трунова (2006).

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. 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 были предложены в виде закона и зафиксированы первые единицы измерений самых важных физических величин, которыми были **длина, вес** и **время**.

В 1789 г. были утверждены единицы длины и веса, которые сейчас кажутся нам существовавшими всегда. Это были метр (м) и грамм (г), а единица времени секунда (с) существовала с древних времен. Эти три единицы определили с той точностью, которую позволяла техника того времени.

В 1832 г. К.Гаусс сформулировал научные основы построения систем 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 **эталон массы** приняли **гравитационную массу эталона веса**, считая **инертную массу равной гравитационной**. С тех пор новые открытия в физике непрерывно обновляли и метрологию, и системы единиц.

Впоследствии в других системах единиц менялось значение единиц длины и массы, но они оставались в качестве основных величин. 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). Не исключено, что секунду сменила бы декасекунда, если бы такая единица была бы введена вместо минуты, или килосекунда вместо часа, но сказалась инерция веков. Системы единиц стали называть по первым буквам единиц, например, **СГС** – это сантиметр-грамм-секунда, **МКС** – это метр-килограмм-секунда.

Поскольку каждой основной физической величине была присвоена **размерность**, на зависящая от единицы измерений, и эти размерности стали обозначаться символами М (масса), L (длина) и Т (время), то системы единиц стали называть также по этим буквам. Как видим, все вышеупомянутые системы можно назвать **MLT-системами**. За различными вариантами **MLT-систем** на целый век закрепилось название “абсолютных систем единиц”. С тех пор проблема унификации единиц не выходила за рамки этих систем. Попытка заменить в середине XX века единицу массы единицей силы (с единицей измерений килограмм-сила) успеха не принесла.

### **Развитие электромагнетизма привело к появлению системы единиц СИ**

Гораздо сложнее обстояло (да и сейчас обстоит) дело с единицами измерений **электрических и магнитных величин**. 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. Очень смущали ученых и инженеров появившиеся **дробные степени в показателях** основных единиц. Этим и вызвано

было появление разных систем единиц электрических и магнитных величин (более десяти).

Наконец, в XX веке было решено ввести в системы единиц **основную электрическую единицу** в качестве **четвертой основной величины**. Для нее выбрали **единицу электрического тока Ампер (А)**, потому что измерять эту единицу оказалось легче и дешевле, чем другие электрические единицы. Эту систему, названную **СИ**, дополнили еще **3-мя единицами основных физических величин**: единицами **термодинамической температуры**, **силы света** и **количества вещества**. Метрологов это решение удовлетворило, а физики-теоретики и физики-педагоги до сих пор недовольны им, и причины для этого у них более чем веские.

### **Проблема создания систем физических величин**

Система единиц **СИ** внедрилась настолько успешно, что о необходимости обобщения и систематизации самих физических величин до последнего времени вообще перестали вспоминать, считая, видимо, проблему решенной. Дело дошло до того, что даже в современных поисковых системах Интернета при поиске по ключевым словам “система физических величин” выдаются источники со словосочетанием “система единиц физических величин”.

По мере совершенствования методов измерений создаются все более точные эталоны единиц измерений, связанные с не зависящими от человека природными явлениями. 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**, что показано в посвященном этому **разделе**. Как будет показано на страницах этого раздела, 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 идет речь в данном разделе, посвященном аналитическому обзору истории обобщения и систематизации физических величин.

### 1.1.2. “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  $\delta A_{ka}$  – виртуальная элементарная работа активной силы  $F_{ka}$ , действующей на  $i$ -ую материальную точку на виртуальном перемещении  $\delta s_k$ . 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  $\delta s_k$  и ”обобщенная работа” для обозначения  $\delta A_{ka}$ . 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 “работа – сила“, 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.

### **1.1.3. Естественная система единиц М.Планка**

#### **Главная идея естественных систем единиц**

Идеи создания **систем единиц, зависящих только от законов природы** и не зависящих ни от каких измерительных эталонов, возникли еще в XIX веке. История их возникновения подробно описана в работе К.Томилина (2001). Первым предложил две “универсальные системы единиц” в 1870 и 1873 г.г. английский физик Дж.Максвелл, а первую естественную систему единиц, основанную только на физических постоянных, предложил в 1874 г. ирландский физик Дж.Стони. **Система Стони базировалась на скорости света  $c$ , гравитационной постоянной  $G$  и элементарном электрическом заряде  $e$ .**

Наиболее популярной оказалась предложенная немецким физиком



М.Планком в 1897 г. **естественная система единиц**, базировавшаяся на **постоянной Планка  $h$** , **электродинамической постоянной  $c$** , **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 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.

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 вземных, и нечеловеческих"**.

### **Планковские величины или планковские единицы**

Со временем постоянную Планка  $h$  в его системе единиц заменили так называемой постоянной Дирака или редуцированной (рационализированной, приведенной) постоянной Планка  $\hbar = h/2\pi$ . Тем самым в систему единиц М.Планка внесли еще одну **5-ую константу ( $2\pi$ )**. В разделе данной работы, посвященной **числу  $2\pi$** , показано, что число  $2\pi$  при введении в физику математических методов становится **фундаментальной физической константой**.

Из указанных пяти констант (или четырех, если  $h$  заменить на  $\hbar$ ) 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	$t_{pl}=(\hbar G/c^5)^{1/2}=5,391 \cdot 10 \cdot 10^{-44}$	с,
планковская	энергия	$E_{pl}=(\hbar c^5/G)^{1/2}=1,956 \cdot 10^9$	Дж,
планковская	температура	$T_{pl}=(\hbar c^5/k^2 G)^{1/2}=1,417 \cdot 10^{32}$	К.

Для получения планковского заряда в систему единиц Планка ввели

электрическую постоянную  $\varepsilon_0$ , 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.

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.

**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 физические константы**.

Важной особенностью системы М.Планка является то, что единицы ее констант при выражении их через единицы **СИ** включают в себя единицу энергии Дж. Например, единицей постоянной Планка является **Дж·с**, единицей постоянной Больцмана  $k$  является Дж/К, а единицей инертной массы является  $\text{кг} = \text{Дж} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^2$ . Последнее говорит о том, что в системе единиц М.Планка **единица энергии может заменить единицу массы в качестве единицы основной величины**. В квантовой механике эта замена уже произошла. Там **массу элементарных частиц** измеряют в электрон-Вольтах, то есть в **единицах энергии**.

Идея включить в состав основных физических величин энергию 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, о чем будет сказано на последующих страницах данного обзора.

## **Недостатки планковской естественной системы единиц**

Главная цель естественных систем единиц, продекларированная М.Планком и приведенная выше с помощью цитаты из его работы, может быть осуществлена, если все базовые константы этих систем соответствуют природе.

В то же время в разделе данной работы, посвященной **фундаментальным константам**, показано, что гравитационная постоянная  $G$  и электрическая постоянная  $\epsilon_0$  являются размерными коэффициентами в уравнениях взаимодействия (законах Ньютона и Кулона), а не физическими константами. К тому же, истинная гравитационная постоянная  $\gamma_0=4\pi G$ . Не случайно, видимо, в современной физике элементарных частиц в знаменатель планковской массы перед  $G$  введен коэффициент  $8\pi$ .

Как в электромагнитном поле фундаментальной константой является **электромагнитная постоянная  $c$  (скорость распространения электромагнитных волн в вакууме)**, так и в гравитационном поле **фундаментальной константой** должна являться  $c_g$  (**скорость распространения гравитационных волн в вакууме**), **численное значение которой пока не определено даже приблизительно**. Но именно фундаментальная константа  $c_g$  должна войти во все планковские единицы вместо  $G$ . 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 постоянной Дирака  $\hbar=h/2\pi$  вследствие использования математического метода векторных диаграмм. А это вынуждает придавать размерность множителю  $2\pi$ , как это пояснено в разделе, посвященном **числу  $\pi$** . С другой стороны, в разделе, посвященном **числу структурных элементов**, как основной физической величине со своей собственной размерностью, показано, что единица постоянной Планка  $h$  равна Дж·с/кв, а не Дж·с. Так что **планковские единицы пока еще привязаны, хоть и частично, к нашему времени и к нашей земной культуре**.

Недостатком естественных систем единиц с точки зрения метрологии является то, что значение их основных единиц определяется косвенным путем. **Для планковских основных единиц нет и не может быть измерительных эталонов**. Все естественные системы единиц привязаны к тем системам единиц, которые на данный момент времени признаны международными. В приведенных выше примерах –

к системе единиц **СИ** и к ее измерительным эталонам.

Поэтому идея опоры на явления природы, а не на измерительные эталоны, может базироваться только на системы физических величин с их размерностями, не привязанными к системам единиц, и не требующие измерительных эталонов. Это детально обосновано в разделе, посвященном разнице между системами величин и системами единиц.

#### **1.1.4. Физические (динамические) аналогии**

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 пятячке” 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. 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. Табл. 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	$Z$	$L$	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	$\varphi$	$1$	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	$\theta$	$T^{-1}$	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	$J_M$	$M L^2 T^{-2}$	Звуковое давление	$p$	$M L^{-1} T^{-2}$
Электрич. сопротивление	$r_e$	$L T^{-1}$	Механич. сопротивление	$r_M$	$M T^{-1}$	Угловое сопротивление	$r_X$	$M L^2 T^{-1}$	Акустич. сопротивление	$r_A$	$M L^4 T^{-1}$
Электрич. емкость	$C_e$	$L^{-1} T^2$	Податливость	$C_M$	$M^{-1} T^2$	Угловая податливость	$C_X$	$M^{-1} L^{-2} T^2$	Акустич. емкость	$C_A$	$M^{-1} L^4 T^2$
Энергия	$W_e$	$M L^2 T^{-2}$	Энергия	$W_M$	$M L^2 T^{-2}$	Энергия	$W_X$	$M L^2 T^{-2}$	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	$P_X$	$M L^2 T^{-3}$	Мощность	$P_A$	$M L^2 T^{-3}$

Прежде всего, обратим внимание на то, что в таблице Г.Ольсона отсутствуют единицы измерений. Это как бы подчеркивает, что **систематизируются именно физические величины.**

В основу ТФА положено уравнение динамики. Отсюда, к слову, и появился термин “**динамические аналогии**”. Уравнение динамики выглядит так:

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

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  $I$ .

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

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 физических 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. Г.Ольсону осталось сделать один шаг до использования, подобно Ж.Лагранжу, обобщенных физических величин, но этот шаг им сделан не был. Возможно, потому что сам он 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.** Между тем, при взгляде на таблицу 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.

Интерес к **ТФА** не угасает, она по-прежнему остается популярным и распространенным инструментом для **расчета и моделирования многих систем.** Со временем она получила солидную теоретическую основу 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).

### **1.1.5. 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.

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**. Но 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).

**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 размерностными 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

### **1.1.6. О корректности термина “абсолютная система единиц”**

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. Во-первых, стандарты не уточняют, о какой массе идет речь. **Метрологи до сих пор не уточнили определения как инертной, так и гравитационной масс и не уточнили, единица**



**какой именно массы положена в основу унификации единиц измерений.**

Во-вторых, инертная масса является параметром лишь механической прямолинейной формы движения. В остальных формах движения инертная и гравитационная массы являются либо производными физическими величинами, либо вообще могут отсутствовать в определяющих уравнениях. **В атомной физике масса является измеряется в единицах энергии.**

Масса как физическая величина применяется не повсеместно. Более того, не стихает полемика относительно того, при любых ли условиях справедлив принцип эквивалентности инертной и гравитационной масс. Появляется все больше работ, в том числе, экспериментальных, приводящих доказательства ограниченности условий применения этого принципа.

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

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

В работе В.Ерохина (2008) снова был применен термин “абсолютная система единиц”, но на этот раз по отношению к ЛТ-системе величин, родоначальником которой следует, видимо, считать 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 единицей основной физической величины в СИ, но при систематизации физических величин массу не следует вводить в качестве основной физической величины. Точно так же **нет оснований считать длину и время единственными основными физическими величинами** (И.Коган, 2011).

По нашему мнению, 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.

## **1.2. Известные системы физических величин**

### **1.2.1. Переход от физических аналогий к систематизации физических величин**

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 работах.

#### **Междисциплинарные аналогии**

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 <br	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 </br	напряжение

В таблице четко проявляется тенденция к обобщению различных разделов физики на базе различимости форм движения, которая была предложена еще А.Вейником (1968) и с которой П.Бриджфелд, по-видимому, не знаком. Направление исследования аналогичное, особенно это заметно в столбике "переменная состояния" (у А.Вейника "**координата состояния**").

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.

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

неразрывности Кирхгофа. Эти законы применены также и 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**.

### **Развитие физических аналогий**

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 третьего порядка от заряда 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 сокращается до 4.

В работе П.Пирната ни слова не сказано о размерностях физических величин, им использованы только единицы **СИ**. Он отходит от них лишь в отношении единиц угла, угловой скорости и углового ускорения, однако заменяя единицу радиан просто числовой единицей 1. При этом он уподобляет угол *“величине без единицы измерений”*.

П.Пирнат указывает на некоторые издержки **СИ**. В частности, на то, что  $\text{с}^{-1}$  является и единицей угловой скорости, и единицей частоты, и единицей расхода одновременно, а также на то, что Дж 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”*.

Исходя из этих слов, становится понятно, что программа П.Пирната рассчитана не на тех, кто только начинает изучать физику. Это мнение подтверждается и обилием новых терминов (34% терминов введены заново) и непривычной символикой. Последнее частично объясняется трудностями кодировки индексов и букв греческого алфавита в Интернете и непривычно лишь для тех, кто слабо знаком с Интернетом. К недостаткам программы 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. Особенно интересны такие величины, как *“момент”* с единицей  $\text{кг}\cdot\text{м}$ , *“линейная плотность”* с единицей  $\text{кг}/\text{м}$ , *“поверхностная плотность”* с единицей  $\text{кг}/\text{м}^2$ , *“поток энергии”* с единицей  $\text{кг}/\text{с}^3$ , *“температурный поток”* с единицей  $\text{К}/\text{с}$ . Интересно, что у П.Пирната термодинамическая температура в четвертой степени становится самостоятельной физической величиной при рассмотрении теплового излучения. Жаль только, что ввод новых обобщенных величин не иллюстрируется реальными примерами.

### Еще одно видение физических аналогий

В понятиях, близких к эргодинамике, теорию динамических аналогий изложил В.Костышин (2000). У него поведение каждой формы движения “характеризуется парой сопряженных фазовых переменных ( $\Phi_{II}$ ), которые имеют соответственно «силовой», типа потенциала ( $\Phi_C$ ), и «скоростной», типа потока ( $\Phi_{II}$ ), характер, произведение которых равно мощности  $N^c$ ”. В.Костышин приводит такое определяющее уравнение для мощности, используя введенные им обозначения:

$$N = \Phi_C \Phi_{II}, \quad (1)$$

где

$$\Phi_C = dA/d\xi \quad (2)$$

и

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

В уравнениях (2) и (3)  $\xi$  – 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 для мощности (5), определяемое по основным физическим величинам, первично, тогда как уравнение (4) определяется по производным физическим величинам и поэтому вторично.

Главным недостатком уравнения для мощности (4) является то

обстоятельство, что в теории физических аналогий существует неверная тенденция, подробно описанная ниже.

### **Одна неверная тенденция в теории физических аналогий**

В вышеуказанных работах прослеживается тенденция, давно появившаяся в теории физических аналогий и считающаяся в ней само собой разумеющейся. Она 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)<sup>-1</sup> аналогичен сопротивлению и (упругость)<sup>-1</sup> аналогична индуктивности. Другой подход состоит в том, чтобы выбрать силу аналогией потенциалу. В этом случае момент инерции (масса) аналогичны индуктивности, (упругость)<sup>-1</sup> аналогична емкости, а демпфирующий коэффициент аналогичен сопротивлению“.*

Подобная тенденция базируется на обобщенном уравнении для мощности (4)  $P = UI$ . Само по себе это уравнение не может вызывать никаких возражений. **Но возможность двух подходов к представлению физических аналогий, указываемая в вышеприведенной цитате, является теоретически ошибочной.** Возможность свободного выбора одного из подходов вытекает из теории электрических цепей, но в других разделах физики такая возможность имеется не всегда. В работе Н.Хогана и П.Бридфельда (1999) приводится 6 весомых 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 аргументов не сопровождается доказательством.

Но 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, которые подробно описаны в данной работе.

### 1.2.2. “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 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,  $\eta$  – производная физическая величина,  $M$  – масса,  $S$  – длина,  $T$  – время,  $T_0$  – температура,  $\Pi$  – безразмерный множитель, величина  
 $D_F = \Pi \epsilon^{2m} C^{-t-2m} b^{\tau}$ , где  $\epsilon$  – 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.

### **1.2.3. Энергодинамика А.Вейника и ее вклад в метрологию**

Имя А.Вейника уже полвека вызывает самые различные комментарии и отзывы со стороны людей науки, и об этом будет подробнее рассказано в конце этого раздела. В большом количестве его 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 в данной работе проблемы обобщения и систематизации физических величин.

#### **А.Вейник – основатель энергодинамики**

А.Вейник разработал в трудах 1956 – 1968 г.г. теорию, названную им “**Общей теорией**” и опубликованную в завершенном виде в монографии “Термодинамика” (1968). В этой теории 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 А.Вейник, и **это обстоятельство служит косвенным доказательством верности его теории**. С точки зрения систематизации физических величин наиболее важно то, что его **“Общая теория” дает теоретическое обоснование идеи о существовании обобщенного закона состояния, базирующегося на**

**законе сохранения энергии** в его наиболее общей форме записи.

Поэтому А.Вейник предложил **всю совокупность наук**, базирующихся на применении **закона сохранения энергии**, 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. Он, в частности, **ввел классификацию систем по признаку уровня**, на котором они исследуются, рассматривая отдельно **поведение систем в субмикром мире, микром мире, макром мире и субмакром мире**.

А.Вейник **создал учение** о существовании элементарных **форм движения**, понятие о которых положено в основу его “Общей теории”. Процитируем 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, что в науке его называют **координатой состояния**.

Интересно, что 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. К слову, 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.

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. А.Вейник же всю свою “Общую теорию” построил на этом. И этот шаг в решении проблемы обобщения и систематизации физических величин оказался революционным, предсказавшим, в том числе, и последующие варианты решения проблемы другими авторами.

### **Основа систематизации – закон сохранения энергии**

В основу систематизации форм движения А.Вейник положил **закон сохранения энергии**, математическая запись которого была сделана им в виде уравнения, названного им **калорическим уравнением состояния** (приводится в символикe автора)

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

где  $dU$  – элементарное приращение внутренней энергии системы;  $\partial E_i$  – элементарное приращение заряда  $i$ -ой формы движения;  $i$  – количество форм движения, в которых происходят приращения заряда при изменении внутренней энергии системы.  $E_{in}$  в виде нижнего индекса означает неизменность (инвариантность) зарядов остальных форм движения при приращениях в  $i$ -ой форме движения.

У А.Вейника  $\partial U / \partial E_i$  является производной физической величиной, зависящей от приращения заряда (аналогами этой величины служат сила и вращающий момент в механике, напряжение в электродинамике). Это очень важный шаг, отрицающий одну из основ теории физических аналогий, согласно которой допускается, что частная производная  $\partial U / \partial E_i$  может быть одним из вариантов основной физической величины. Наконец, и это тоже очень важно, **закон сохранения энергии у А.Вейника связывает между собой приращения физических величин, а не их абсолютные значения.**

Если иметь в виду, что заряд А.Вейника аналогичен **обобщенной координате состояния Ж.Лагранжа**, то получается, что “Общая теория” А.Вейника, по сути дела, подтвердила распространение

принципа виртуальной работы на любую форму движения в любом разделе физики.

### **А.Вейник возродил тепловую форму движения**

А.Вейник 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 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 (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**.

### **Трудная судьба А.Вейника и его 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.

Подобное прочтение привело к остракизму 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 даже были 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 20 лет появилось много статей, осуждающих 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.

### **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 становится у него координатой состояния в введенной им хрональной форме движения. Переход А.Вейника 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 той 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.**

## **О возможности применения идей А.Вейника в метрологии**

Для применения “Общей теории“ А.Вейника в метрологии с целью систематизации физических величин его **калорическое уравнение** 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 и для характеристики физической системы.

**Методологически неверно** 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,** они необходимы для **практического применения систем единиц.**

При унификации единиц измерений не обязательно единице энергии фигурировать в качестве единицы основной физической величины. А вот при систематизации физических величин энергия должна быть принята в качестве основной физической величины, что и подтвердилось впоследствии в работах И.Когана (1993, 1998), Д.Конторова (1999) и Д.Ермолаева (2004).

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, Д.Ермолаев, 2004). Было бы справедливо, если бы единицу теплового заряда, введенного в термодинамику А.Вейником, назвали бы со временем его именем.

## **Выводы**

Главный вывод сделан самим А.Вейником в его монографии 1991 г. (с. 76).

"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.**"

В этой цитате ОТ – “Общая теория“, ОТС – “Общая теория систем“, к теории подобия, по-видимому, следует добавить и **теорию физических аналогий.**

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. Не вдаваясь в подробности, отметим, что многие идеи А.Вейника, и, особенно, идеи, помогающие решить проблему обобщения и систематизации физических величин, **просто 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.**

**1.2.4. 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, автору данного обзора, 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, видимо, 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 **СФВ** 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).

### **1.2.5. Первый вариант системы физических величин И.Когана**

Первые упоминания о возможности построения системы физических величин, базирующейся на физических аналогиях, появились в 1971 г. в диссертационной работе И.Когана "Теоретическое и экспериментальное исследование акустикопневматических преобразователей и основы построения пневмоакустической автоматики". Однако доклады на эту тему встретили прохладное отношение со стороны коллег-физиков, и работа по этой проблеме продолжалась в замедленном темпе.

Система физических величин, основанная на принципиально иных основах, чем система Р. ди Бартини или система Н.Плотникова, появилась в составе **небольшой монографии И.Когана (1993).**

И.Коган предложил иное решение проблемы систематизации физических величин. Он объединил понятие "обобщенные физические величины", введенное еще Ж.Лагранжем, с обобщенными физическими величинами уравнения динамики из теории автоматического регулирования. Ни у Г.Ольсона, ни у Р. ди Бартини, ни у Н.Плотникова понятие "обобщенные физические величины" не фигурировало.

И.Коган создал сначала Таблицу обобщенных физических величин, а затем, используя эту таблицу в качестве клише, на ее базе составил таблицы физических величин разных форм движения. Сколько конкретных форм движения рассматривается, столько и таблиц, по одной на каждую форму движения.

В работе И. Когана (1993) рассматриваются равновесные физические системы. Длина в качестве обобщенной физической величины не фигурирует, она включена в качестве координаты состояния в механические формы движения. А всего в систему физических величин И.Когана в ее первоначальном варианте включены **10 отдельных таблиц**, посвященных различным конкретным формам

движения. Комплекс таких таблиц (Приложение IV книги) И.Коган назвал **Таблицей аналогий**. Лишь впоследствии, **через 10 лет**, автору стало ясно, что это название неверно, что **система физических величин** – это более широкое понятие, чем **таблица физических аналогий**.

### **Предложения И.Когана в области теоретической метрологии**

1. В качестве основной физической величины И.Коган ввел в систему физических величин **обобщенную работу**, которая получила свою размерность и символ этой размерности **Е**. Другими двумя **обобщенными физическими величинами** стали **обобщенная координата состояния** и **обобщенная сила** (как в принципе виртуальной работы Ж.Лагранжа).

Поскольку работа является физической величиной той же природы, что и энергия, то можно констатировать, что и **энергия впервые получила свою собственную размерность и символ этой размерности Е**.

2. Новшеством явилось включение в систему таблицы, посвященной обобщенным величинам из теории автоматического регулирования: **воздействию на систему** (аналогу **обобщенной силы**) и **отклонению системы** (аналогу **обобщенной координаты состояния**). В качестве единицы отклонения И.Коган предложил ввести новую внесистемную единицу – **долю**, равную одной десятой от диапазона приращения 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**).

3. Принципиально важным шагом оказалось введение в роли координаты состояния колебательных процессов новой физической величины – **числа периодов колебательного процесса**. Для этой физической величины И.Коганом была предложена единица под названием **период (пер)**. Правда, слово "период" ассоциируется с известной физической величиной "период колебаний", измеряемой в секундах, но следует учесть, что в современной физике термин "период колебаний" фактически отражает длительность периода, а не период, как структурный элемент периодического процесса. Поэтому логично считать число периодов координатой состояния периодического процесса. Впоследствии через 15 лет И.Коган предложил считать **число структурных элементов** **основной физической величиной**.

4. Впервые было предложено считать **угловое перемещение во вращательной форме движения основной физической величиной**. В этой связи было предложено считать единицу углового перемещения **радиан** единицей основной физической величины. В таком качестве единица радиан приняла участие в образовании единиц всех производных физических величин **во вращательной форме движения (включая вращающий момент, момент импульса, момент инерции тела, угловую жесткость и угловое сопротивление)**, не только в образовании единиц угловой скорости и углового ускорения, как это принято в СИ. Соответственно, был **сделан вывод о необходимости корректировки в СИ единиц величин, характеризующих вращательную форму движения**.

5. В качестве **координаты состояния тепловой формы движения** (при теплопередаче) И.Коган принял приращение физической величины, названной им **температурным зарядом**. Однако за единицу температурного заряда был ошибочно принят Джоуль, в результате чего у температурного напора не оказалось своей единицы, а точнее, ею оказалась числовая единица. И это поменяло единицы у всех физических величин процесса теплопередачи. Поэтому желание И.Когана разделить в тепловой форме движения две основные величины – приращение энергии и приращение координаты состояния – оказалось в первом варианте его системы величин не реализованным.

6. И.Коган привёл методические рекомендации по применению своей 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 была сделана, по-видимому, впервые И.Коганом.

### **1.2.6. Система физических величин И.Когана**

После ознакомления с “Общей теорией“ А.Вейника (1968) опубликованная ранее **система физических величин И.Когана (1993)**, неверно названная им Таблицей Аналогий, была приведена в соответствие с **принципами энергодинамики А.Вейника** и в таком виде была опубликована в 1998 г. в ведущем российском метрологическом журнале. Главный принцип 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 <sup>-1</sup>
III	Внутренние параметры системы	6	Жесткость системы	$D$	$Q/q$	EK <sup>-2</sup>
		7	Сопrotивление системы	$R$	$Q/\dot{q}$	ETK <sup>-2</sup>
		8	Инертность системы	$I$	$Q/\ddot{q}$	ET <sup>2</sup> K <sup>-2</sup>
	(обобщенные им величины)	9	Емкость системы	$C$	$q/Q$	E <sup>-1</sup> K <sup>2</sup>
		10	Проводимость системы	$Y$	$\dot{q}/Q$	E <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup> K <sup>2</sup>
		11	Подвижность системы		$\ddot{q}/Q$	E <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> K <sup>2</sup>
IV	Параметры движения системы	12	Обобщенная скорость (Поток обобщен. зарядов)	$\dot{q}$	$dq/dt$	T <sup>-1</sup> K
		13	Плотность потока зарядов	$\Phi$	$\Phi/S$	L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup> K
		14	Коэффициент переноса	$i$	$YIS$	E <sup>-1</sup> L <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup> K <sup>2</sup>
		15	Импульс разн. потенциалов	$k$	$[Qdt]$	ETK <sup>-1</sup>
		16	Частота свободных колебаний	$\nu_0$	$\sqrt{(D/I)}/2\pi$	T <sup>-1</sup>
		17	Свободное движение	$R=0$		
		18	Заторможенное движение	$R \rightarrow \infty$		
V	Параметры поля	19	Напряженность поля	$H$	$\partial\varphi/\partial l$	EL <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
		20	Линейная плотн. зарядов	$\tau$	$\partial q/\partial l$	KL <sup>-1</sup>
		21	Поверхн. плотн. зарядов	$\sigma$	$\partial q/\partial S$	KL <sup>-2</sup>
VI	Энергетические параметры	22	Энергия положения в поле	$\Pi$	$Qq/2$	E
		23	Энергия деформации поля		$Dq^2/2; CQ^2/2$	E
		24	Энергия движения	$T$	$1\dot{q}^2/2$	E
		25	Энергия рассеяния	$W$	$R\dot{q}^2 t$	E
		26	Обобщенная мощность	$P$	$Q\dot{q}$	ET <sup>-1</sup>
		27	Принцип малых отклонений		$Q_1/Q_2 = \dot{q}_2/\dot{q}_1$	

## Описание добавлений и изменений в обновленный вариант системы физических величин

1. Обобщенное уравнение закона сохранения энергии приведено в работе И.Когана (1998) в более обобщенной записи, чем у А.Вейника:

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

где  $dW$  – приращение полной энергии системы;  $i$  – 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).

Уравнение (1) является, насколько известно И.Когану, первой формой записи закона сохранения энергии, в которую введено время  $t$  в качестве независимого аргумента.

2. Координата состояния обобщенной физической системы, названная **обобщенной координатой состояния** (приведена в 4-ой строке) стала **условной основной величиной**, символом размерности которой стала буква  $K$ . **Обобщенная координата состояния условна потому, что применяется только в Таблице обобщенных величин.** В таблице любой реальной формы движения она заменяется **координатой состояния этой формы движения**. Например, в таблице механической прямолинейной формы движения **размерность  $K$  заменяется размерностью длины  $L$** , в таблице электрической формы движения **размерность  $K$  заменяется размерностью электрического заряда  $Q$**  и т.д.

3. Для каждой обобщенной физической величины в таблице указано обобщенное определяющее уравнение. По нему составлена обобщенная размерность. В системе физических величин, как и положено, **размерностям отведена подчиненная роль по сравнению с определяющими уравнениями.**

4. Физические величины располагаются в таблицах отдельных форм

движения не случайно, а в соответствии с **принципом последовательности**, характерным для **системного подхода**. Он заключается в том, что **каждая физическая величина определяется только теми физическими величинами, которые расположены в таблице выше ее**. Насколько известно И.Когану, такая последовательность расположения физических величин наблюдается впервые.

5. В комплекс базовых уравнений системы физических величин (закона сохранения энергии и уравнения динамики) **добавлено уравнение переноса**. В результате этого в Таблице обобщенных величин появилась **группа IV**.

6. Таблица обобщенных величин дополнена также **группой V "Параметры поля"**. В эту группу на данном этапе систематизации введены всего три обобщенные физические величины: **напряженность поля и две плотности зарядов**.

7. В **группу VI** Таблицы обобщенных величин помещены **четыре вида энергии**, поскольку потенциальная энергия состоит из двух видов с разными определяющими уравнениями (**потенциальная энергия положения и потенциальная энергия деформации**).

8. В таблице тепловой формы движения теплота стала эквивалентом обобщенной работы, а эквивалентом обобщенного заряда стал предложенный А.Вейником (1968) термический заряд. При этом у целого ряда производных величин в тепловой форме движения оказались новые единицы, отличающиеся от тех, что имеются в **СИ**, тем, что единица термического заряда находится в составе этих единиц не в первой, а во второй степени.

Приведено подтверждение необходимости пересмотра закона теплопроводности Фурье, указанной А.Вейником (1968), и изменения важных терминов в тепловой форме движения. Показано, что отождествление теплоты с обобщенным зарядом, широко применяемое до сих пор при практических расчетах, приводит к тому, что в тепловой форме движения исчезает физическая величина, соответствующая обобщенной работе.

9. После анализа магнитной формы движения сделан вывод о необходимости уточнения двух терминов в этой форме движения. В частности, показано, что **магнитное сопротивление и магнитная**



**проводимость магнитной цепи на самом деле следует называть магнитной жесткостью и магнитной ёмкостью магнитной цепи.**

Все таблицы новой системы физических величин 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). А всего в состав системы физических величин И.Когана были включены таблицы 9 различных форм движения.

### **1.2.7. Автономная система единиц 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 единиц, в которую входят таблицы физических, экономических, социальных и информационных единиц**. Полное ее название – **Автономная система единиц экономических величин**. Но мы проанализируем лишь то, что касается физики. Судя по тому, что в таблицах Д.Конторова вместо единиц стоят размерности величин, а единицы измерений почти вообще не рассматриваются, **система названа ее автором неверно**. Это самая настоящая система величин, а вовсе не система единиц. И хотя в заголовке, например, таблицы, относящейся к физике, написано "физические единицы", в самой таблице перечисляются только физические величины и их размерности, правда, без соблюдения принципа последовательности. Приведем сначала перечень основных величин, положенных в основу этой системы, так, как это сделано в оригинале.

<b>Величина</b>	<b>Размерность</b>	<b>Единица</b>
Длина	L	м (метр)
Время	T	с (секунда)
Энергия	E	Дж (Джоуль)
Деньги	D	\$ (доллар)
Труд	Tr	10 <sup>6</sup> 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 Бартини (1966). Да и в своей таблице физических величин Д.Конторов приводит сначала столбец размерностей из системы Р. ди Бартини, 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*".

Размерность энергии  $E$  имеют в таблице Д.Конторова сила света и теплота. В отношении такой величины, как сила света, это справедливо. 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  $N$ , имеющейся в **СИ**, а только с указанием единицы моль. (Все остальные 22 физические величины в таблице приведены со своими размерностями.) Получается, что у Д.Конторова единица количества вещества стала внесистемной единицей, а родственная ей единица информации бит – единицей основной величины (информации).

Расположение физических величин в таблице Д.Конторова не подчинено какой-либо закономерности, в отличие от рассмотренных в предыдущих разделах таблиц систем физических величин Р. ди Бартини (1978), Н.Плотникова (1978) и И.Когана (1998). У Д.Конторова физические величины просто перечислены. Наиболее существенным 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.

### **1.2.8. 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 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:**

$$dE \equiv \sum_i (\partial E / \partial \mathbf{Z}_i) d\mathbf{Z}_i, \quad (1)$$

где  $dE$  – элементарное приращение энергии системы  $E = E(\mathbf{Z}_i)$ , а **векторная физическая величина**

$$\mathbf{Z}_i = \theta_i \mathbf{R}_i \quad (2)$$

является **экстенсивным** параметром  $i$ -ой формы движения. Величина  $\theta_i$  названа В.Эткиным **термостатическим параметром**, понимаемым как количественная мера энергоносителя  $i$ -ой формы движения (материального носителя энергии, присущей  $i$ -ой форме движения). Под  $\mathbf{R}_i$  понимается радиус-вектор центра величины  $\theta_i$ . Поэтому векторная величина  $\mathbf{Z}_i$  названа **“моментом распределения”** параметра  $\theta_i$  в неоднородной системе.

Заметим, что величина  $(\partial E / \partial \mathbf{Z}_i)$  в уравнении (1) должна быть векторной, ибо скаляр  $dE$  из уравнения (1) является скалярным произведением двух векторных величин. Но векторная алгебра не допускает операции деления на вектор, которым является величина  $\partial E / \partial \mathbf{Z}_i$ . Поэтому в уравнении (1) вместо выражения  $(\partial E / \partial \mathbf{Z}_i)$  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  $\delta E$ . 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 раскрывается в виде

$$dE \equiv \sum_i \Psi_i d\theta_i - \sum_i \mathbf{F}_i d\mathbf{R}_i, \quad (3)$$

где  $\Psi_i = (\partial E / \partial \theta_i)$  – обобщенный потенциал  $i$ -ой формы движения;  
 $d\mathbf{R}_i$  – приращение радиус-вектора  $\mathbf{R}_i$  в процессе перераспределения  
 параметра  $\theta_i$  внутри системы;

$$\mathbf{F}_i = (\partial E / \partial \mathbf{R}_i), \quad (4)$$

где  $\mathbf{F}_i$  – сила, действующая на систему при перераспределении  
 параметра  $\theta_i$ . К выражению  $(\partial E / \partial \mathbf{R}_i)$  из уравнения (4) относится то же  
 самое замечание, которое было сделано выше по отношению к  
 выражению  $(\partial E / \partial \mathbf{Z}_i)$  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

$$\mathbf{J}_j = \sum_i L_{ji} \mathbf{X}_i, \quad (5)$$

где  $\mathbf{X}_i = \mathbf{F}_i / \theta_i$  – удельные движущие силы;  
 $L_{ji}$  – коэффициенты пропорциональности;  
 $\mathbf{J}_j = \theta_j \mathbf{v}_j$  – потоки  $j$ -го энергоносителя;  
 $\mathbf{v}_j = d\mathbf{R}_j / dt$  – 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  $\theta$  в **шестимерном пространстве**, имеющим **три линейных и три вращательных измерения**. При этом уравнение (3) приобретает вид

$$dE \equiv \sum_i \Psi_i d\theta_i - \sum_i \mathbf{F}_i d\mathbf{R}_i - \sum_i \mathbf{M}_i d\varphi_i, \quad (6)$$

где  $d\varphi_i$  – угловое перемещение радиус-вектора  $\mathbf{R}_i$  в процессе переориентации параметра  $\theta_i$  внутри системы;  $\mathbf{M}_i = (\partial E / \partial \varphi_i)$  – вращающий момент, переориентирующий систему.

Таким образом, В.Эткин оставляет за силой  $\mathbf{F}_i$  роль воздействия, побуждающего только к линейному перераспределению, а для воздействия, побуждающего к вращательной переориентации, вводит вращающий момент  $\mathbf{M}_i$ . 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:

$$dE/dt \equiv \sum_i \Psi_i (d\theta_i/dt) - \sum_i \mathbf{F}_i d\mathbf{v}_i - \sum_i \mathbf{M}_i d\boldsymbol{\omega}_i. \quad (7)$$

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.**

### 1.2.9. “Обобщенные законы физики“ Д.Ермолаева

“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.

Д.Ермолаев систематизирует **физические величины** и поэтому, как и ряд его прешествеников, вводит обобщенные физические величины. Но, к сожалению, для важных обобщенных величин приводит по 3-4 разных названия, 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 энергочаряда и энерготок. Другой пример: одним и тем же символом  $\phi$  обозначается то **напряжение**, то **потенциал**, то **работа**. Количество энергии имеет одновременно два

обозначения:  $E$  и  $\Delta E$ , хотя содержание при этом различно. Электрический ток, ёмкость и индуктивность оказались в 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, и это 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 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 энергодинамики** (А.Вейник, 1968). Как выяснилось, Д.Ермолаев на период написания своих статей 2003 и 2004 г.г. не был знаком с работами его предшественников.

Особо следует отметить, что Д.Ермолаев (2003), как ранее А.Вейник (1968) и И.Коган (1998), ввёл в тепловую форму движения понятие “теплозаряд”, аналогичное “термическому 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/К<sup>2</sup> и теплового сопротивления с единицей К<sup>2</sup>/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 сторонников энергодинамики 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.

В 2008 г. появляется статья Д.Ермолаева, в которой он уже ссылается на работы своих прешественников, соглашаясь с ними. 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 и ранее А.Вейник, считает, что **термодинамическую энтропию надо заменить тепловым зарядом.**

Если не обращать внимание на оригинальную и непривычную терминологию и символику 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 над одной и той же проблемой назависимо друг от друга, можно расценивать как важный аргумент в пользу справедливости выводов энергодинамики.**

### **1.2.10. Энергодинамическая система физических величин и понятий 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). Ей же посвящен и сайт, созданный в 2008 г., содержание которого существенно расширено и

усовершенствовано по сравнению с монографией 2006 г. Основные новшества системы величин ЭСВП опубликованы в ведущих российских метрологических журналах в 2011 г.

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 применен предложенный А.Вейником термин “энергодинамика”. Основные сведения о системе величин ЭСВП были ранее изложены в работе (2004a) и могут быть прочитаны на странице, посвященной основной идее ЭСВП.

### **Новые идеи, реализованные в рамках энергодинамической системы величин**

1. Параллельно с систематизацией физических величин проведен анализ понятий и символики в физике и предпринята попытка систематизации символики.
2. Впервые на основании системного подхода в работе предложена иерархия уровней обобщения и систематизации физических величин.
3. Теоретически обосновано предложение о необходимости ввода в качестве основных физических величин угла поворота и числа структурных элементов, что позволило упорядочить метрологию и терминологию физических величин в периодических процессах, в молекулярной физике и квантовой физике.
4. Развита идея А.Вейника о необходимости рассмотрения упорядоченной тепловой формы движения, на базе которой пересмотрены физические величины в процессах теплопередачи.
5. Введена новая классификация физических систем, подразделяющая их на проточные, непроточные и комплексные системы, что существенно упростило составление таблиц физических величин в разных формах движения.
6. В таблицах конкретных форм движения единицы, принятые в СИ,

сравниваются с единицами, вытекающими из размерностей, принятых в ЭСВП, что позволило в отдельных случаях указать на необходимость коррекции единиц СИ.

7. Логика системного подхода привела к разделению понятий “Формы энергии” и “виды энергии”, “формы энергообмена” и “виды энергообмена”.

8. И.Коган совершенствует изложенную им ранее методику использования систематизации физических величин в средней и высшей школах, представляя вниманию читателей разработанные им учебно-наглядные методические пособия.

9. Число строк в таблицах величин возросло, что увеличило возможности систематизации физических величин и позволило сделать ряд важных выводов в области механики, электродинамики и гравитации.

10. В таблицах физических величин появилась новая группа физических величин – “Физические величины силового поля”. Систематизированы физические полевые величины и составлены Таблицы величин физического поля в системах ЭСВП и СИ.

11. Процесс систематизации физических величин выявил, что существует ряд условий, соблюдение которых позволяет успешно осуществлять процесс систематизации, эти условия опубликованы в монографии (2006) и на сайте.

12. Проведена систематизация явлений переноса и составлена обобщенная таблица физических величин явлений переноса.

13. Системный подход позволил выявить большое число нарушений принципа причинности в современной физике (особенно в электромагнетизме), вызванное, прежде всего, процессом математизации физики, при котором не всегда учитывается принцип причинности.

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

### 1.2.11. 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 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 **LWTQ** является четырехразмерной, имея в виду то, что она имеет четыре основные физические величины: длину, энергию, время и электрический заряд.

Основополагающая идея работы Г.Трунова подобна идее работ А.Вейника, И.Когана и Д.Ермолаева, она заключается в том, что из комплекта основных физических величин исключается масса, а взамен ее в этот комплект 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  $W$ .

В последующей работе Г.Трунов уже не упоминает о введении энергии в качестве основной физической величины, говоря только о замене электрического тока в качестве основной величины электрическим зарядом. Эта статья посвящена только единице электрического тока.

Для определения размерности энергии Г.Трунов 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  $W = mc^2$ .

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 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 **СФ** Г.Трунова 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 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 какая-либо 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 приравняет к размерности напряженности электрического поля **E**.

Это приводит к существенному расхождению с размерностями величин магнитного поля в СИ.

На наш взгляд, 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 исправить.

В работе Г. Трунова 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 размеров коэффициентов Г. Трунов предлагает новую Теоретическую систему электромагнитных единиц **СТ**, повторяющую все главные особенности его системы **СФ**.

### **1.2.12. Всеобщие физические инварианты В.Ацюковского**

Попытка введения новых основных физических величин в систему единиц **СИ** была предпринята В.Ацюковским, автором получившим известность работам по эфиродинамике (1990). В своих работах В.Ацюковский предлагает ряд интересных и новых идей, но на данной странице будет проанализирована лишь метрологическая концепция этого автора (2005, 2006), по поводу которой имеются многочисленные замечания.

В письме к И.Когану В.Ацюковский написал, что “*физикой размерностей по-прежнему никто не интересуется*”. Это не так. Монографии Л.Брянского (2002), А.Власова и Б.Мурина (1990) и многих других метрологов убеждают, что метрология очень интересуется физикой размерностей. Однако посмотрим, что предлагает сам В.Ацюковский в работе 2006 г., имеющей подзаголовок

“Фундаментальные проблемы метрологии“.

Заметим, что сам В.Ацюковский не всегда придерживается стандартной метрологической терминологии. Например, он пишет, что “*в системе СИ радиан является безразмерной величиной*“, путая единицу “радиан” с величиной “плоский угол”. В другом месте В.Ацюковский приравнивает единицу измерений размерности.

В.Ацюковский положительно оценивает **СИ** по сравнению с предыдущими системами единиц и считает, что введение в состав основных единиц **СИ** единицы тока – случайная, но удачная догадка. Но это вовсе не догадка, и, конечно, не случайная, это, по нашему мнению, удачный способ уйти от ответа на вопрос: «Что такое электрический заряд?» на то время, пока наука не найдет на него убедительный ответ.

В системе **СГСЕ** В.Ацюковского раздражают дробные показатели размерностей и единиц, которые он считает “*лишенными какого бы то ни было физического смысла*“. Однако физический смысл отражают уравнения, определяющие физические величины, а вовсе не размерности или единицы, тем более, не показатели степени. Это подробно разъяснено в разделе, посвященном дробным показателям.

В.Ацюковский предлагает новую систему единиц, которой дает название **МКС**, а систему единиц **СИ** называет системой **МКСА**. Повидимому, В.Ацюковский не знает, что система **МКС** уже была в истории (это система Джорджи), и предлагаемой им новой системе надо было бы дать новое название. А **СИ** и **МКСА** - это не одно и то же, система **МКСА** вошла в **СИ** в качестве ее составной части.

Совершенно справедливо указывает В.Ацюковский на необходимость выбора основных физических величин на основе **всеобщих физических инвариантов**, которыми он считает “*три категории – материю, пространство и время*“. Но тут же он называет эти категории величинами. Понимает ли В.Ацюковский содержание термина “величина“?

В.Ацюковский считает, что “*совокупность этих трех категорий есть движение*“. В другой работе В.Ацюковский вводит движение, как категорию, объединяющую указанные выше три категории, и говорит о четырех “*аргументальных категориях*“. Но этот тезис спорный. Движение, как свойство материи, является **физической величиной**, а

не

категорией.

В.Ацюковский пишет: “*энергия есть мера движения материи в пространстве и времени*“. Это утверждение совпадает с той ролью, которую отводит энергии энергодинамика, то есть с тем, что энергия является основной физической величиной. Однако в предложенной В.Ацюковским новой системе единиц энергия является производной величиной, хотя и помещена в первую строку таблицы величин.

В.Ацюковский вводит новое понятие “количество материи“. Его мерой он считает массу, не указывая при этом, о какой массе, инертной или гравитационной, идет речь. Лишь из содержания его работы выясняется, что в его системе единица кг – это единица инертной массы. Поскольку В.Ацюковский категорически отвергает в своих работах теорию относительности, значит, он не признает и принцип эквивалентности масс, один из главных постулатов этой теории. Тогда какую роль он отводит гравитационной массе?

Скорее всего, В.Ацюковскому все эти замечания покажутся буквоедством. Но именно по причине несоблюдения подобного буквоедства и появилась в физике та самая **понятийная бессистемность**, о которой уже говорят многие физики.

На основании разработанной В.Ацюковским (1990) теории эфиродинамики в работе (2006) энергия единицы объема электрического поля равна

$$w_e = \varepsilon_0 E^2 / 2, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума;  $E$  – напряженность электрического поля. Энергия единицы объема электрического поля  $w_e$  сопоставляется с энергией единицы объема эфирного потока

$$w_3 = \rho_0 v_k^2 / 2, \quad (2)$$

где  $\rho_0$  – плотность эфира;  $v_k$  – скорость потока кольцевого движения эфира. В.Ацюковский утверждает, что в результате “*появляется соответствие*“ между  $\varepsilon_0$  и  $\rho_0$  и между  $E$  и  $v_k$ , которое он заменяет двумя равенствами. Но **соответствие нельзя заменять равенством**. Если  $ab^2 = cd^2$ , то из этого вовсе не следует, что  $a=c$  и  $b=d$ . И даже не это главное. Во-первых, уравнение (1) применяется в физике для расчета потенциальной энергии электрического поля, а уравнение



(2) – применено В.Ацюковским для расчета кинетической энергии кольцевого движения эфира, то есть для разных видов энергии. Во-вторых,  $\varepsilon_0$  является физической постоянной, а согласно гипотезе В.Ацюковского эфир является газом, и поэтому плотность эфира  $\rho_0$  не может быть постоянной. В-третьих, В.Ацюковский не уточняет, в какой именно точке вихря определяется скорость  $v_k$  и что он понимает под этой скоростью. Наконец, у В.Ацюковского объемная плотность эфира должна определяться плотностью массы “*структурных единиц эфира*”. Но эти структурные единицы (точнее было бы назвать их структурными элементами эфира) являются безмассовыми частицами. С учетом высказанных замечаний говорить о соответствии между  $\varepsilon_0$  и  $\rho_0$  и, тем более, об их равенстве говорить, видимо, преждевременно.

В.Ацюковский приходит к выводу о том, что размерность электрического заряда равна  $MT^{-1}$ , а единица электрического заряда – кг/с. Интересно, что к этому же выводу приходит и А.Чуев в своей ЛТ-системе величин. В соответствии с этим В.Ацюковский изменяет размерности и единицы всех величин в электромагнетизме и проводит численные расчеты многих параметров эфира.

В.Ацюковский не считает угол поворота безразмерной величиной, приводя такой довод. У него единица [рад] =  $L_\varphi / L_R$ , где  $L_\varphi$  и  $L_R$  – это масштабы, которые “*в любой системе единиц одинаковы*”, и, в то же время, это “*направляющие орты дуги и радиуса, которые перпендикулярны друг другу и, следовательно, не могут сокращаться*”. Но почему дуга стала векторной величиной? И о каком сокращении ортов может идти речь, если в векторной алгебре отсутствует операция деления на вектор? К тому же, модули ортов по определению равны 1, и их нет смысла сокращать.

Идею о том, что размерность протяженности зависит от направления, высказал еще Г.Хантли (1970), предложив “разложить” размерность длины по трем взаимно перпендикулярным направлениям  $L_x$ ,  $L_y$  и  $L_z$ , назвав вновь полученные основные величины “векторными единицами длины”. Но идея индексации размерности основной физической величины неприемлема для метрологии, ибо ставит под сомнение само понятие “основная физическая величина”. Поэтому предложение Г.Хантли используется на практике лишь при анализе размерностей.

В.Ацюковский предлагает считать температуру пропорциональной энергии с введением размерного коэффициента пропорциональности, размерность которого, впрочем, им не указывается. При этом

размерность температуры приравняется В.Ацюковским размерности энергии, на основании чего делается вывод о том, что *“градус Кельвина имеет смысл обозначить как  $[^{\circ}\text{K}] = \text{ML}^2\text{T}^{-2}$ ”*. В таблицу же единиц всех величин термодинамики В.Ацюковский включает единицу размерного коэффициента пропорциональности.

Та же история повторяется со светотехническими единицами. На основании того, что *“значению светового потока в люменах соответствует определенная мощность”*, и *“учитывая безразмерность стерадиана”*, размерность силы света приравняется В.Ацюковским размерности мощности. Но и в этом случае В.Ацюковским вводится еще один размерный коэффициент пропорциональности, единицу которого надо учитывать. Непонятно тогда, в чем В.Ацюковский видит выигрыш от своего предложения?

Заслуживающим внимания предложением В.Ацюковского следует считать предложение ввести **единицу шт (штука)** в качестве единицы **числа структурных элементов**. Идею о выделении числа структурных элементов в качестве основной физической величины высказал И.Миллс (1995), он предложил для единицы этой величины название *“heis”*. По нашему мнению, название *“штука”* более удачное.

Но и в данном предложении В.Ацюковского присутствуют неувязки с терминологией. Он пишет: *“моль есть число структурных единиц, условно принятое за единицу”*. Это определение не соответствует стандарту. **По стандарту моль – это единица физической величины, названной количеством вещества, а вовсе не число структурных единиц. Моль – это единица измерений отношения двух чисел, одно из которых является числом структурных элементов, составляющих систему, а другое – числом Авогадро. То есть моль – это единица безразмерной величины. Количество вещества в молях может выражаться не только целым, но и дробным числом. Уже поэтому единица моль не соответствует единице штука.**

В.Ацюковский предлагает для числа структурных элементов ввести новый символ размерности Ш. В работе И. Миллса (1995) предложен для этой цели символ I. Однако в метрологии уже есть символ размерности N, и его рациональнее предложить для числа структурных элементов.

По содержанию своих предложений В.Ацюковский предлагает модернизировать СИ. Но модернизацию системы единиц, какой

является **СИ**, нельзя смешивать с систематизацией физических величин, базирующейся на систематизации физических закономерностей, так как нельзя путать физические величины с единицами измерений.

Если абстрагироваться от различных нарушений установившейся в метрологии терминологии и символики, то можно прийти к выводу, что предложения В.Ацюковского близки по содержанию к предложениям И.Когана (2006), связанным с созданием им энергодинамической системы величин.

### **1.3. Системы физических величин в ЛТ-размерностях**

#### **1.3.1. 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 создана видным советским авиаконструктором и физиком 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 ЛТ**”, исключив, таким образом, из перечня единиц основных физических величин единицу массы. В целом с помощью ЛТ-системы можно формально проводить те же самые операции, что и с помощью МЛТ-системы величин. Но при применении ЛТ-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 систематизации физических закономерностей привлекает к себе внимание многочисленных исследователей. Некоторым из них (Г.Смирнову, В.Новицкому, В.Ерохину, В.Викулину, В.Васильеву, А.Чуеву) посвящены отдельные страницы в историческом обзоре данной работы. Правда, А.Чуев показал, что систематизация физических закономерностей не зависит от того, какой системой величин пользоваться: LT или MLT.

### **Суть LT-системы размерностей Р. О. ди Бартини**

Основываясь на теории множеств, Р. ди Бартини 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  $\pi$ ). 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 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**

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

На странице, посвященной размерности статического заряда поля и в статье В.Сотущенко (2010) показано, что эта идея оправдывается при систематизации физических величин. В энергодинамической системе величин **ЭСВП** размерности и единицы у электрического, и у гравитационного зарядов одинаковы, единицей является  $\text{Дж}^{1/2} \cdot \text{м}^{1/2} \cdot \text{шт}^{-1}$ . Подстановка этой единицы зарядов в законы Ньютона и Кулона, в которых заряды перемножаются, приводит к исчезновению дробных степеней в показателях единиц. Но в системе единиц **СИ** значения единиц этих зарядов разные. Из статей В.Уральцева (2009) и В.Викулина (2011) следует, что после пересчета единица гравитационного заряда в **СИ** (кг) равна  $8,617 \cdot 10^{-11}$  Кл (единицы электрического заряда в **СИ**). Имеется и другая точка зрения, согласно которой единица электрического заряда должна быть равна кг/с (А.Чуев, В.Ащюковский, В.Пакулин).

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 современной физике и гравитационная, и инертная массы обозначаются одним и тем же символом  $m$ , что по умолчанию предполагает их равенство.

В разделе, посвященном принципу эквивалентности инертной и гравитационной масс, показано, что справедливость этого принципа подвергается все чаще и все более интенсивно обоснованным сомнениям. Более того, подвергается сомнению вообще необходимость выделения такой величины, как **инертная масса**. А без инертной массы нет смысла говорить о принципе эквивалентности масс. Указывается на то, что приравнивание **силы инертного противодействия по второму закону Ньютона** силе взаимодействия двух гравитационных зарядов по его же закону всемирного тяготения применимо только при прямолинейном движении тела без деформации и без трения. Когда, наконец, физики убедятся в

нерелевантности принципа эквивалентности масс, ни о какой ЛТ-системе просто не будет 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

	$L^{-3}$	$L^{-2}$	$L^{-1}$	$L^0$	$L^1$	$L^2$	$L^3$	$L^4$	$L^5$	$L^6$
$T^{-6}$									Изменение мощности	Скорость передачи мощности
$T^{-5}$						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 объёмной плотности	Массовая плотность. Угловое ускорение	Ускорение	Разность потенциалов	Масса. Кол. магнетизма. Кол. электр.	Магнитный момент	Момент инерции	
$T^{-1}$			Объёмная плотность электрическая	Частота	Скорость	Обильность 2-мерная	Расход объёмный	Скорость смещения объёма		
$T^0$			Изменение проводимости	Безразмерные константы	Длина. Ёмкость. Самоиндукция	Поверхность	Объём пространственный			
$T^1$		Изменение магнитной проницаемости	Проводимость	Период	Длительность расстояния					
$T^2$		Магнитная проницаемость		Поверхность времени						
$T^3$				Объём 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 двумерная, 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, к слову, что факт равенства размерностей у разных по природе физических величин имеет место и в существующих системах единиц измерений. Хотя в своих работах Р.ди Бартини о единицах измерений не упоминает, 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 полностью ее физическое содержание, последнее зависит только от уравнения, определяющего величину.

Настораживает применение Р. ди Бартини термина “кинематическая” к предложенной им системе физических величин. Как будто возможно рассматривать движение без учета причин, его вызывающих, и без учета последствий движения в виде деформации и диссипации. Появление термина “кинематическая” у Р. ди Бартини можно объяснить наличием в его системе размерностей только длины и времени. Чтобы кинематическая система превратилась в динамическую, явно не хватает, по крайней мере, еще одной основной физической величины. В СГС и СИ – в качестве основной физической величины присутствует масса, а у А.Вейника и его последователей

масса заменена энергией. В работах В.Эткина (2008, 2011), как и у А.Вейника, основой всего является закон сохранения энергии, а в работе Ф.Канарева (2009) провозглашена даже **Аксиома единства материи, пространства и времени**.

По поводу выделения одних только кинематических свойств интересно выразился Д.Игнатъев (2005): *“поиск систематизации законов природы в пространственно-временных координатах производился ... без учета математического анализа поля и возможности применения одной модели для нескольких физических процессов различной природы”*. Еще более категорично выступает Д.Конторов (1999): *“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**. Подробное обоснование этого мнения представлено в разделах, на которые можно попасть, пройдясь по указанным ссылкам. Однако этот вопрос полностью обойден вниманием Р.ди Бартини, их в его таблице нет вообще, хотя в **СИ** для угла поворота единица имеется, а по поводу необходимости введения единицы шт (штука) идет оживленная дискуссия среди метрологов.

И еще одно замечание. Р.ди Бартини и П.Кузнецов (1978) считали, что *“появляющиеся в формулах размерностей дробные показатели при использовании первичных величин ЛМТ лишены всякого физического содержания и логического смысла”*. Неверность этого утверждения показана в книге А.Власова и Б.Мурина (1990, § 31) и детально аргументирована в разделе, посвященном 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. От применения дробных показателей степеней научные работы, выполненные с применением единиц систем **СГС**, не лишаются физического содержания или логического смысла.

И вообще физическое содержание относится к самой физической

величине, а вовсе не к ее размерности или единице измерений. Это базовое положение игнорируется как Р.ди Бартини, так и некоторыми 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 ЛТ-системам величин только историческое значение.

### **1.3.2. Взгляды Г.Смирнова и В.Новицкого на ЛТ-систему величин**

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). Ниже будут проанализированы статьи Г.Смирнова и В.Новицкого. Этим статьям предшествовали одноименные публикации в журнале “Техника - молодежи“ за 1981 г. (Г.Смирнова) и за 1990 г. (В.Новицкого). Обе они явились своеобразным откликом на совместную работы Р.О ди Бартини и П.Кузнецова (1974).

#### **Статья Г.Смирнова**

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, «звезды»,*

которыми математика «прикалывается» 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?”*. И затем Г.Смирнов начинает анализировать таблицу физических величин, приведенную на странице, посвященной LT-системе величин Р.О. ди Бартини.

В приведенной выше цитате скрывается главный неверный, на наш взгляд, тезис, присутствующий в рассуждениях Г.Смирнова. Он заключается в том, что *“ценные для науки результаты”* может дать анализ вторичных понятий, какими являются размерности и, тем более, единицы. На деле же эти результаты дает анализ определяющих уравнений физических величин. **Нельзя фетишизировать размерности величин, так как широко используемый в физике анализ размерностей может указать на неверность определяющих уравнений, но не может доказать их правильность. Анализ размерностей является необходимым, но недостаточным средством анализа определяющих уравнений.** Размерности, как будет показано в разделе, посвященном иерархии уровней систематизации физических величин, находятся почти на самом нижнем уровне этой иерархии.

В статье Г.Смирнова не ставится под сомнение безразмерность угла поворота, хотя в разделе данной работы, посвященном углу поворота, доказываемся, что он является **не просто размерной величиной, а естественной основной физической величиной.** Соответственно этому **изменяются размерности всех величин, в определяющее уравнение которых входит угол поворота.** Г. Смирнов безосновательно 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. И, 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  $T$  принадлежит длительности периода. Сам же период – это частный случай числа структурных элементов, как основной физической величины и измеряется в штуках. От временной длины Г.Смирнов перекидывает мостик к четырехмерному пространству-

времени Минковского, являющемуся свидетельством неоправданного вмешательства математики в Природу. Г.Смирнов точно замечает подводные камни в той, на первый взгляд, “*стройной и логической системе*“, какой является ЛТ-система величин. Во-первых, это наличие нескольких разных физических величин, имеющих в ЛТ-системе величин одну и ту же размерность. Этот недостаток ЛТ-системы будет позже доведен В.Васильевым (2004) почти до абсурда. Во-вторых, Г.Смирнова смущает отсутствие в ЛТ-системе таких “*фундаментальных физических величин, как масса, сила и энергия и др.*“. Впрочем, сам Р. ди Бартини (1965) назвал свою ЛТ-систему величин в ее первом варианте кинематической, а в кинематике **масса, сила и энергия, то есть свойства материи и ее движения**, не рассматриваются. Однако впоследствии в работе Р. ди Бартини и П.Кузнецова (1978) этот недостаток уже устранен, что и отражено в статье Г.Смирнова.

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 разделе, посвященном систематизации законов сохранения, приведена другая точка зрения на эту проблему.

### **Статья В.Новицкого**

С самого начала статьи В.Новицкий (1999) ссылается на принцип эквивалентности масс, одну из основ релятивистской концепции, хотя, как будет показано ниже, именно этот принцип является уязвимым местом ЛТ-системы. При этом он применяет знаменитое уравнение А.Эйнштейна в виде  $E = mc^2$ , хотя Л.Окунь (1989) разъяснил, что это уравнение должно записываться как  $E_0 = mc^2$ , где  $E_0$  – энергия связи, а не энергия вообще. Но дело не в этом уравнении.

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 фетишизация единиц. Даже не размерностей, 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, то есть мысли землянина.

Итак, инопланетяне в первую очередь определили бы средний радиус Земли в метрах, а затем, найдя географический полюс Земли, измерили бы ускорение свободного падения в  $\text{м}/\text{с}^2$ . По ускорению свободного падения, являющемуся напряженностью гравитационного поля Земли, они бы определили гравитационную массу Земли в  $\text{м}^3/\text{с}^2$ . И никаких других единиц, кроме метра и секунды, им бы не понадобилось.

Порывшись в земных библиотеках, инопланетяне обнаружили бы фундаментальную константу, включающую  $\text{м}^3/\text{с}^2$ , ею оказалась бы постоянная Кавендиша, равная  $6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$  (ее называют гравитационной постоянной). И тогда инопланетяне порекомендовали бы землянам использовать соотношение  $1 \text{ кг} = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$ .

Что ж, давайте проанализируем действия инопланетян с точки зрения элементарной метрологии. Ясно, что 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 квант. А 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.

Но главное заключается в том, как и чем измерили бы инопланетяне гравитационную массу Земли. Ее им пришлось бы рассчитать по ускорению свободного падения, используя равенство этого ускорения напряженности гравитационного поля Земли, что, в свою очередь, требует признания принципа эквивалентности масс. Согласны ли с этим принципом инопланетяне, мы не знаем.

Во всяком случае, в разделе, посвященном принципу эквивалентности масс, высказано немало доводов в пользу того, что инертная и гравитационная массы являются разными физическими величинами с разными размерностями. И если предположить, что эти доводы справедливы, то никак нельзя приравнять размерность инертной массы во втором законе Ньютона к размерности гравитационной массы в его же законе всемирного

**тяготения.** Появляется необходимость во введении еще одной основной физической величины, характеризующей гравитационное поле, как материальный объект, – **энергии**. Собственно говоря, сам В.Новицкий говорит об этом, только выражая размерность энергии через размерности длины и времени.

## **Вывод**

Тезисы, приводимые авторами обеих проанализированных статей, не носят характера неопровержимых доказательств справедливости ЛТ-системы Р. ди Бартини.

### **1.3.3. Взгляды В. Ерохина и В. Викулина на ЛТ-систему величин**

В работе еще одного сторонника системы размерностей **ЛТ** В.Ерохина (2008) делается вывод в пользу ЛТ-системы на основании приравнивания закона всемирного тяготения и 2-го закона Ньютона, точно так же, как и в работах почти всех сторонников ЛТ-систем величин. Только во 2-ом законе Ньютона В.Ерохин вместо ускорения **a** ставит ускорение свободного падения **g**. Но ускорение **g** не отличается в современной физике от напряженности гравитационного поля Земли **G**, а при подстановке **G** во 2-ой закон Ньютона мы приходим к тому же закону всемирного тяготения.

В.Ерохин как бы не замечает, что **во 2-ом законе Ньютона фигурирует инертная масса, а в законе всемирного тяготения – гравитационная масса.**

У В.Ерохина, как у Р.ди Бартини, совпадают единицы гравитационной массы и электрического заряда. Наконец, В.Ерохин, говоря о размерностях, приводит единицы, 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.).

### **1.3.4. “Естественная кинематическая система размерностей” А. Чуева**

#### **Особенности кинематической системы размерностей А. Чуева**

Одним из первых сторонников идеи систематизации физических величин в геометрической сетке координат  $LT$ , где  $L$  и  $T$  размерности пространства и времени, стал А.Чуев (1999). При этом А.Чуев внес существенное изменение в  $LT$ -систему величин Р.ди Бартини (1966, 1978), присвоив электрическому заряду иную размерность, нежели массе. Он предложил свой принцип построения системы физических величин называть “естественной кинематической системой размерностей“ (**ЕКСП**).

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

А.Чуев, например, пишет, что “*размерность и единица электрического заряда должны быть выбраны (подчеркнуто И.К.) так, чтобы свои размерности и определенные значения имели бы и диэлектрическая и магнитная проницаемость вакуума*”. Тем самым размерность заряда электрического поля становится зависимой от размерности размерных коэффициентов, какими являются электрическая и магнитная постоянные в системе **СИ**. Не ограничиваясь этим, А.Чуев вводит понятие “*константная физическая величина*”.

Согласно стандартному 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, чтобы не пересматривать важное определение современной метрологии.

А.Чуев пишет о том, что в **ЕКСП** 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 геометризации физических величин в схемах А.Чуева**

В своих первых работах А.Чуев (1999, 2003) представляет **ЕКСП** в виде **геометрической схемы в форме трапеции**, состоящую из ячеек (целесообразно заглянуть в работу А Чуева по этой ссылке). 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**:  
а) в результате умножения на размерность скорости размерности той физической величины, которая находится в том же ряду в соседней ячейке слева;  
б) в результате деления на размерность времени размерности той физической величины, которая находится в более высоком ряду в соседней ячейке слева;  
в) в результате деления на размерность длины размерности той физической величины, которая находится в более высоком ряду в соседней ячейке справа.

Для получившихся таким образом размерностей подобраны (подчеркнуто И.К.) соответствующие этим размерностям физические величины и константы. В результате такого подбора в некоторых ячейках появились физические величины, редко применяемые или введенные А.Чуевым заново, тогда как ряд популярных физических величин в системе отсутствует. В дальнейшем, в работе (2007), описывающей электронное пособие, созданное А.Чуевым, системой становятся охвачены многие физические величины и закономерности.

В работе А.Чуева (1999) показано, что его геометрическая схема инвариантна относительно выбранной системы размерностей, то есть

она остается точно такой же и в системах размерностей LT, ML, MT и MLT. Меняются только размерности величин в ячейках. Поскольку далее делаются важные выводы относительно соотношений физических величин, находящихся в ячейках, то из этого следует, что эти соотношения также не зависят от выбранной системы размерностей.

По мнению А.Чуева, LT-система оказалась предпочтительнее, так как обладает «наибольшей наглядностью». Видимо, поэтому в названии системы присутствует термин “кинематическая“, ведь в остальных трех системах (ML, MT и MLT) присутствует размерность массы. Тем не менее, А.Чуев (1999) использовал все три упомянутые двухразмерностные системы, чтобы, как он выразился, «как бы с трех различных сторон осветить и выявить сущность электромагнитных явлений».

### **Размерности массы и электрического заряда в системе А.Чуева**

Как и у Р. ди Бартини (1966), размерность массы в 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  $m_2$ ) следующим образом:

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

Судя по уравнению (1), А.Чуев не делает различия между инертной массой в левой части уравнения и гравитационными массами в правой части уравнения. Исключая массу  $m_1$  из уравнения (1), А.Чуев приходит к выводу о том, что размерность гравитационной массы  $m_2$  равна

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

что соответствует размерности массы в системе Р. ди Бартини (1966). В дальнейшем, правда, в работах А.Чуева (1999, 2004) говорится о неполном тождестве инертной и гравитационной масс, но правомочность уравнения (2) под сомнение не ставится.

А.Чуев (1999) измеряет **инертную массу в кг**, а **гравитационную**

массу в  $\text{м}^3/\text{с}^2$ . Но единица массы кг определяется в метрологии по международному прототипу веса путем взвешивания, следовательно, единица кг должна быть отнесена, скорее, к единице гравитационной массы.

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 (подчеркнуто И.К.) размерность

$$\text{dime}=\text{L}^3\text{T}^{-1}. \quad (3)$$

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

В более поздней работе А.Чуева (2004) замечен возврат к системе размерностей MLT, то есть, к системе, подобной гауссовой, и уже нет упоминания о ЕКСП. Но многие выводы из работы (1999), тем не менее, остаются в силе и в этой работе, 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.

### **Новшества, введенные в систему А.Чуева**

Как и все исследователи, работавшие и работающие в области обобщения и систематизации физических величин, А.Чуев убежден в том, что предложенная им система расположения физических величин предсказывает существование новых неизвестных закономерностей. К числу таких неизвестных закономерностей он относит “*внепространственные силовые взаимодействия*” (термин, введенный А.Чуевым), не поясняя, правда, каким образом силовые взаимодействия могут происходить вне пространства.

А.Чуев оперирует соотношениями размерностей физических величин, находящихся в ячейках. На основании анализа этих соотношений 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 также должна, по мнению А.Чуева, отражать закономерности природы. Эта идея развита им позднее в работе (2007), которой посвящена отдельная страница.

В свою систему **ЕКСП** А.Чуев вводит новые физические величины, в частности, квантуемую величину – **действие потенциальное**. Оно отличается от физической величины “действие”, квантом которого является постоянная Планка, последняя величина названа А.Чуевым **действием актуальным**. Размерность действия потенциального получается при умножении размерности действия актуального на размерность скорости. В **СИ** единица измерений действия потенциального равна Дж·м.

В работе А.Чуева (1999) наряду с хорошо известной в электродинамике физической величиной «**движущийся заряд**» ( $qv$ ) введена равная ей по размерности физическая величина «**токовый элемент**» ( $il$ ). В этих обозначениях  $q$  – электрический заряд тела,  $v$  – линейная скорость заряженного тела,  $i$  – поток электрических зарядов через неподвижный проводник (прямой ток),  $l$  – длина проводника. Обе эти физические величины представлены в работе (1999) в скалярном виде. **Но не указано, что эти две физические величины, имеющие одну и ту же природу (движение электрических зарядов), 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. И поэтому электромагнитные поля, образуемые ( $qv$ ) и ( $il$ ), различны.**

При систематизации физических величин применение «**токового элемента**» оказывается 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, считается не произведением двух физических величин, а самостоятельной и не делимой на сомножители физической величиной, типа количества движения ( $m\mathbf{v}$ ) в механике. Обе эти векторные физические величины объединены общим термином «**динамический заряд**».

Применение новой физической величины «токовый заряд» позволило в разделе, посвященном магнитному заряду, реабилитировать это понятие, а в разделе, посвященном диполям, провести классификацию диполей и дипольных моментов. Оно также послужило основой для составления новой методологии преподавания электромагнетизма, приведенной в данной работе.

Анализ соотношений между физическими величинами и физическими константами приводит А.Чуева (1999, 2003) к ряду выводов, позволяющих систематизировать силовые взаимодействия. Составленная им и приведенная ниже в виде таблицы классификация силовых взаимодействий послужила основой для классификации форм физического поля, приведенной ниже.

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	$q$	$I l$	$l_0^3/t_0$	Электростатическое	$F_k = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{4\pi r^2} = \frac{1}{\epsilon_0} (I l)_1 (I l)_2$
2	$q v$	$I l$	$l_0^2/t_0^2$	Электромагнитное (токовых элементов), оно же, судя по всему, сильное взаимодействие в микромире	$F_{\pm} = \mu_0 \frac{(qv)_1 (qv)_2}{4\pi r^2} = \mu_0 \frac{(I l)_1 (I l)_2}{4\pi r l}$
3	$q / l$	$I$	$l_0^3/t_0^2$	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	$dF = \frac{1}{C^2} \frac{(Iv)_1 (Iv)_2}{4\pi r^2} = \frac{1}{C^2} \frac{I_1 I_2 v_{\text{отн}}^{**}}{4\pi r^2}$
	Смешанные величины				
5	$q_1 a$ и $q$	$I_1 v$ и $I_2 l$	$l_0^4/t_0^3$ и $l_0^3/t_0$	Электромагнитное радиационное	$F = \mu_0 \frac{q_1 a q_2}{2\pi r}$ *)
6	$q_1 v$ и $q_2 / l$	$d(I l)_1$ и $I_2$	$l_0^4/t_0^2$ и $l_0^3/t_0^2$	Электромагнитное индукционное	$dF = \mu_0 \frac{d(I l)_1 I_2}{2\pi r}$ *)

\*) - 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.

### **1.3.5. Периодическая система физики В. Васильева (ПСФ)**

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 L основной физической величины (длины) ставится размерность V производной физической величины (скорости). 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. Далее нумерация ячеек идет в таблице В.Васильева по правовинтовой спирали с произвольно назначенным шагом спирали. В конце книги представлена таблица с 63 ячейками (7 по горизонтали и 9 по вертикали), в которой 10 ячеек пустует. Но таблицу, видимо, можно расширить, так как в тексте книги упоминаются после 59-ой ячейки еще 66-ая, 68-ая, 72-ая, 89-ая, 91-ая, 126-ая, 235-ая, 373-ая и даже 1247-ая ячейка с размерностью  $L^{-17}T^{11}$ , в которой оказалась постоянная Стефана-Больцмана. Единственным критерием для помещения физической величины в таблицу является алгебраическая сумма показателей при L и T, она не должна, исходя из теории Р. ди Бартини, превышать число 6.

Хотя в таблице В.Васильева, представленной в его монографии, 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 берутся порядковые номера букв в алфавите, и по сумме номеров букв, составляющих разные слова из первоначального текста Библии, делается вывод о скрытом значении этих слов.

Если в таблице Р. ди Бартини число физических величин, помещаемых в одну ячейку, не превышало 3-х, то В.Васильев, тщательно просмотрев физические величины, которых вообще-то очень много, резко увеличивает число величин, помещаемых в одну ячейку. Например, в ячейку для величины с размерностью  $L^{-1}$  помещены 24 физические величины, а в ячейку для величины с размерностью  $L^5T^{-4}$  помещена даже 31 величина. Это ячейка для энергии, в ней перечисляются все известные В.Васильеву виды энергии. И уж совсем запредельно выглядит у В.Васильева ячейка безразмерных величин (с размерностью  $L^0T^0$ ) с 70-ю величинами в ячейке, 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 физических величин для их помещения в ту или иную ячейку В.Васильев руководствуется единицами измерений этих величин, взятыми из **СИ**. При этом В.Васильева не смущает совершенно разная физическая природа величин, помещаемых в одну и ту же ячейку. Вот пример: в 11-ую ячейку с размерностью  $L^0T^{-1}$  помещены магнитная индукция, угловая скорость, удельная электрическая проводимость и активность радионуклида. Трудно привести более убедительное доказательство формализма ЛТ-систем величин.

В.Васильев называет свою систему **периодической системой физики** (сокращенно **ПСФ**), не без намека на ее схожесть с Периодической системой элементов Д.Менделеева. Однако напомним, что периодический закон Д.Менделеева – это **фундаментальный закон, устанавливающий периодическое изменение свойств химических элементов в зависимости от увеличения зарядов ядер их атомов.** Напомним также, что 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 или подчеркивающие цикличность изменения размерностей.

Анализ содержания монографии В.Васильева приводит к выводу о том, что им не внесены в ЛТ-систему величин Р. ди Бартини какие-либо новые математические или физические закономерности. Все изменения коснулись только формы графического представления этой системы и расширения количества физических величин, охватываемых этой

системой. 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”*.

Что ж, 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. В этом заключается несомненная *”новизна”* работы В.Васильева.

### **1.3.6. Электронное учебное пособие А.Чуева.**

#### **Система физических величин в электронном варианте**

В 2006-2007 г.г. в Интернете появилось электронное учебное пособие в виде расширенной системы физических величин ( А.Чуев, А.Легейда, 2007), которой А.Чуевым дается новая аббревиатура (**СФВ**). В дальнейшем эта аббревиатура изменилась на **ФВиЗ** (Система физических величин и закономерностей). Основа системы **ФВиЗ** – ЛТ-система размерностей – осталась той же, что и в предыдущих работах А.Чуева, но количество охваченных систематизацией физических величин было существенно увеличено за счет включения в систему, кроме механических и электромагнитных величин, еще величин из двух других разделов физики (теплота и квантовая механика).

Квантовая механика при систематизации физических величин появляется впервые у А.Чуева . При этом все четыре раздела физики представлены не одной, а четырьмя разными схемами с использованием нескольких системных уровней, с различной окраской ячеек, в которых расположены различные физические величины.

Система А.Чуева **ФВиЗ** представлена с помощью программиста А.Легейды в электронном варианте в 2006 г. А 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**. Принципы представления физических величин на всех четырех системных уровнях аналогичны.

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:

$$\dim\Theta=T^{-1}. \quad (1)$$

Это предложение обсуждено и проанализировано в соответствующем разделе данной работы.

Табличное представление системы дает возможность сравнить принципы построения системы А.Чуева (2007) и системы Р.ди Бартини (1966, 1978). Последовательность расположения физических величин в таблице Р.ди Бартини (1966, 1978) соответствовала последовательности увеличения степеней, в которые возводились размерности L и T. В схемах А.Чуева (2007) сохраняется иная закономерность расположения физических величин, та, которая была присуща схемам в его предыдущих работах.

В новой работе А.Чуева (2007), и это следует отметить особо, 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.Легейды (2007) характер не только обучающего пособия, но и прогнозатора при научных исследованиях.

Вот как характеризует свою систему сам А.Чуев: «Система **ФВиЗ** представляет собой многоуровневую (многослойную) размерностную конструкцию из физических величин (ФВ) – элементов системы. Каркас системы образуют упорядоченно расположенные LT-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.

### **Сложность бумажного представления ЛТ-системы величин и причина этого**

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.Легейдой (2007) электронный вариант системы **ФВиЗ**, в котором указанного им недостатка нет, хотя описание этого варианта достаточно сложное.

Заметим, что бумажное представление ЛТ-системы получило популярность после публикации известной статьи Р. ди Бартини и П.Кузнецова (1978). Именно после ее публикации появились в журнале «Техника – Молодежи» за 1981 г. и 1990 г. статьи Г.Смирнова и В.Новицкого, привлечшие внимание к этой теме.

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 МL-системе. Но, по его мнению, ЛТ-система оказалась предпочтительнее, так как обладает «наибольшей наглядностью». В одной из своих работ 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 (а их только в СИ семь), как бумажное (то есть плоское) представление системы физических величин становится попросту невозможным. Мы предполагаем, что это и есть истинная 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 размерностных коэффициента и их различные сочетания.

Сам факт создания А.Чуевым через 7 лет после первой публикации 1999 г. на эту тему электронного варианта системы **ФВиЗ** свидетельствует сам по себе 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.

## **1.4. Общий анализ проблем в области систематизации физических величин**

### **1.4.1. Уровневый подход в физике и его влияние на систематизацию физических величин.**

В 1996 г. С.Кадыров опубликовал свою версию единой теории гравитационного поля, в основу которой легли идеи уровневой физики. С работой С.Кадырова можно ознакомиться в Интернете (2001). Мы прокомментируем лишь те его идеи, которые способствуют

успешному решению проблемы систематизации физических величин.

Прежде всего, это идея о **существовании единого силового поля** и приведенные в ее пользу доказательства. С.Кадыров настаивает на том, что **Природа по своей сути едина**. Отсюда естественно следует вывод, относящийся к обсуждаемой теме: **когда скоро Природа едина, то должны быть обобщены и определяющие уравнения.** Следовательно, остается лишь найти подходящую форму систематизации физических величин, входящих в эти уравнения. Этот подход реализован при построении **энергодинамической системы величин.**

С.Кадыров доказывает, что **существует только одна единая инерциальная система отсчета.** Из чего можно сделать вывод о том, что нет необходимости классифицировать системы отсчета на инерциальные и неинерциальные. А это влечет за собой необходимость пересмотра многих положений современной физики.

Благодаря энтузиазму и настойчивости философа и журналиста О.Бондаренко (2000, 2003) был создан сайт newphysics.hl.ru под названием "Другая физика", на котором было опубликовано несколько десятков работ авторов, не знакомых между собой, но объединенных общим желанием взглянуть по-новому на физику конца XX века и осмыслить ее тоже по-новому. **Общий знаменатель новой физики, названной уровневой физикой,** О.Бондаренко подвел в своей работе 2005 г. Впрочем, следует напомнить о том, еще А.Вейник (1968) и Р.ди Бартини и П.Кузнецов (1978) говорили, что **физика должна быть наукой уровневой.**

Много внимания уделяет уровневому подходу в физике В.Пакулин (2004) в своей убедительной модели структуры материи. Он пишет: **"Законы природы не специфичны для каких-то отдельных интервалов энергии или размеров объектов. Просто отдельные свойства объектов или определенные параметры проявляются более ярко в этих интервалах."** В монографии 2011 г. В.Пакулин утверждает: **"Вся материя Вселенной предполагается распределенной по вложенным квантованным энергетическим уровням поля и вещества."**

Развитие уровневого подхода в физике показывает, насколько актуальны любые работы по систематизации в физике вообще и по систематизации физических величин, в частности. Так что

резкое увеличение в последние годы числа публикаций на эту тему не представляется случайным событием. Остается лишь пожалеть, что почти все эти публикации распространяются, прежде всего, с помощью Интернета, издаются за счет средств авторов и пока что не затронули академические журналы. Впрочем, в эпоху расцвета общения по Интернету указанное грустное обстоятельство уже практически не влияет на темпы исследований в области систематизации физических величин.

#### **1.4.2. Новые работы в области систематизации физических величин**

В последние годы стали появляться новые интересные работы в направлении решения проблемы обобщения и **систематизации физических уравнений и физических величин**. Ниже будут прокомментированы некоторые публикации по этой тематике.

**Обзор аналогий между основными физическими величинами в электродинамике, термодинамике, механике и гидравлике провел в серии статей в Интернете И.Львов (2003-2004)**. В частности, он подробно проанализировал электротепловые аналогии, приведенные в монографии А.Эйнштейна и Л.Инфельда (1965), указывая на некоторые логические неувязки в рассуждениях этих авторов. Центральное место в его работах, особенно в работе (2004), занимает понятие “заряд“, в том числе, понятие “тепловой заряд“. Это практически тот же самый “термический заряд“, который ранее был введен А.Вейником (1968) и позднее использован И.Коганом (1998) и Д.Ермолаевым (2003) при создании своих систем физических величин.

И.Львов делает справедливый вывод о том, что **“тепловой заряд“ является той физической величиной, которую сейчас называют “количеством теплоты“, и эта физическая величина должна отличаться от физической величины “тепловая энергия“**. Последнюю И.Львов назвал “энергией С.Карно“. Правда, И.Львов не дал никаких рекомендаций по поводу того, какую размерность и какую единицу измерений должна иметь физическая величина “тепловая энергия“, а без ответа на этот вопрос нельзя считать его выводы завершенными.

Весьма отрицательно отозвался И.Львов о теории Р.Клаузиуса, положившего в основу термодинамики понятие “энтропия”. Подобно А.Вейнику (1968) он считает, что **теория Р.Клаузиуса ввергла термодинамику в затяжной кризис, из которого она до сих пор не может выбраться.** В то же время И.Львов не отрицает важности применения **физической величины “энтропия” как характеристики степени упорядоченности движения в любых формах движения.**

Оригинальной по замыслу является работа А.Тереска (2006), предлагающего **систематизировать физические уравнения и физические величины с помощью матриц.** Он предложил также включить в систему физических величин экономические величины и понятия. Это перекликается с новым направлением в экономической науке, названным **физической экономикой.** Замысел А.Тереска получил развитие в разделе **“Систематизация и экономика”**, составленном им вместе с И.Коганом.

Любопытной работой является статья Г.Голицына (2008), в которой он указывает на методическую ценность замены единицы массы на единицу энергии в процессе анализа размерностей, приводя интересные примеры. К сожалению, Г.Голицын допускает в своей статье ряд терминологических неточностей, недопустимых в процессе преподавания. Например, он постоянно смешивает понятия “размерность” и “единица измерений”, предлагает для использования систему TEL, хотя в практических примерах использует последовательность ELT.

### **О работах в области систематизации физических констант**

К проблеме систематизации физических величин тесно примыкает проблема **систематизации фундаментальных физических констант.** О том, что эта проблема является одной из важных нерешенных проблем физики, высказался еще в XX веке выдающийся физик П.Дирак. Сейчас **счет количеству физических констант идет уже на сотни,** и проблемой их систематизации занимаются многие ученые. В последний период времени можно указать на интересные работы П.Арутюнова (1995), Н.Косинова (2001) и А.Чуева (2003).

Н.Косинов считает, что все фундаментальные **физические константы могут быть вычислены с помощью всего 5 “универсальных суперконстант”:** **трех физических и двух геометрических.** Две

**геометрические суперконстанты** – это число  $\pi$  и **постоянная тонкой структуры**  $\alpha$ . Три **физические суперконстанты** – это **фундаментальные кванты действия, длины и времени**, причем фундаментальный квант действия имеет ту же единицу измерений, что и постоянная Планка (Дж·с), но его значение на три порядка меньше.

То, что у Н.Косинова в тройке универсальных физических суперконстант первым оказался фундаментальный квант действия, в единице измерений которого присутствует единица энергии, сближает его трактовку систематизации физических констант с энергодинамическим подходом при систематизации физических величин.

В поиске универсальных аналогий многие авторы указывают на **аналогию гравитационного и электромагнитного полей**, базируясь на **аналогии законов Ньютона и Кулона**. Математическую аналогию между электромагнитным полем и гравитационным полем приводит, например, Д.Бартлетт (2004). Он считает, что его работа находится в рамках **теории физических аналогий**, но, по мнению И.Когана, его работа выходит за рамки этой теории.

Свой вариант объяснения этой аналогии привел и Н.Косинов (2001). Этот вариант *”основан на предположении, что и закон Кулона, и закон Ньютона являются фрагментами какого-то универсального фундаментального закона силы”*. И эта *”универсальная формула силы”* выведена Н.Косиновым с помощью использования выявленных им же 5 универсальных суперконстант.

Эта универсальная формула силы взаимодействия зарядов выглядит так:

$$F=(h_u/l_u t_u)(k_1 k_2/k_3^2), \quad (1)$$

где  $h_u$  – фундаментальный квант действия;  $l_u$  – фундаментальный квант длины;  $t_u$  – фундаментальный квант времени;  $k_1$  и  $k_2$  – отношения взаимодействующих зарядов к элементарному заряду;  $k_3$  – отношение длины к фундаментальной длине.

Несколько иная точка зрения высказана в работе И.Когана (2006). **Универсальная формула силы взаимодействия между зарядами выглядит в этой работе так:**

$$\mathbf{F}_{12}=(k_E E_1 E_2 / r^2)(\mathbf{r}_{12} / r), \quad (2)$$

где  $k_E$  – обобщенный размерный коэффициент пропорциональности;  $E_1$  и  $E_2$  – энергии двух взаимодействующих зарядов;  $\mathbf{r}_{12}$  - направляющий орт от первого заряда ко второму;  $r$  - расстояние между зарядами.

В уравнении (2) под зарядом понимается заряд любого силового поля (в том числе, гравитационного, электрического, магнитного). Под зарядом магнитного поля понимается токовый заряд.

А.Чуев (1999, 2003) также говорит об аналогии гравитационного и электромагнитного полей, базируясь на прямом соответствии взаимодействия гравитационных и электрических токовых зарядов. И Д.Ермолаев (2003) говорит об энергии магнитного поля, запасенной в гравитационном поле. С.Кадыров (2001) просто считает электромагнитное поле одной из форм гравитационного поля. Таким образом, приведенные точки зрения сходятся в одном: **все силовые поля – это разные модели единого силового поля.**

### **1.4.3. Общий анализ тенденций в области систематизации физических величин**

#### **Четыре тенденции**

В области обобщения и систематизации физических величин продолжают развиваться четыре основные тенденции, которые развиваются параллельными, не всегда соприкасающимися курсами:

- **использование энергодинамического принципа**, требующего признания **энергии основной физической величиной** (работы А.Вейника, В.Эткина, И.Когана, Д.Ермолаева),
- **использование теории физических аналогий** при построении систем физических величин (работы Г.Ольсона, П.Бридфельда, В.Костышина, К.Гольберга, П.Пирната),
- **геометризация систем физических величин** в рамках ЛТ-системы размерностей (работы Р.ди Бартини, Г.Смирнова, В.Новицкого, В.Ерохина, В.Викулина, В.Васильева, А.Тереска).
- **использование графических и электронных средств** для построения систем физических величин, с помощью которых определяются уравнения связи (работы Н.Плотникова, А.Чуева).



## **Энергодинамика и физические аналогии**

Физические аналогии базируются на обобщенном уравнении для мощности  $P=UI$ . Теория физических аналогий предполагает, что возможны **два подхода** к представлению, например, 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 релевантной физической аналогией является аналогия “**масса-индуктивность**”, вытекающая из аналогии “**сила-напряжение**”, а не аналогия “**масса-ёмкость**”, вытекающая из аналогии “**сила-ток**”. Впрочем, ни один из этих 6 аргументов не сопровождается доказательством.

Но на базе уравнения  $P=UI$  это и не удастся доказать, потому что мощность  $P= dE/dt$ , то есть первичной физической величиной является приращение энергии  $dE$ . Именно на этой базе построены теории А.Вейника (1968), В.Эткина (1992, 2008) и системы физических величин И.Когана (2006) и Д.Ермолаева (2004). Не случайно монография В.Эткина (2008) удостоена медали Лейбница Европейской академии естественных наук, что подчеркивает важность **энергодинамики, как нового научного направления, основанного А.Вейником.**

На базе признания энергии **основной физической величиной была построена система величин И.Когана (1993)**, которая затем в 1998 и 2006 г.г. переросла в **Энергодинамическую систему физических величин и понятий ЭСВП.** Теория физических аналогий близка к энергодинамике, но отличается от нее тем, что в ней присутствует скорее стремление к поиску аналогий в записи уравнений связи, описывающих разные физические явления в разных разделах физики, нежели поиск уравнений, обобщающих в широком смысле этого слова разные физические явления, поиск единства закономерностей.

## **Геометризация величин в системах размерностей в LT-координатах**

При геометризации систем физических величин систематизация осуществляется только на основании сравнения их размерностей. Эта геометризация реализуется с помощью таблиц, имеющих ячейки, в

каждую из которых помещается только та величина, размерность которой соответствует ЛТ-размерности этой ячейки. Даже если таких величин в ячейке оказывается много. По поводу геометризации систем физических величин интересно 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 наиболее тревожной тенденцией.** Не говоря уже о том, что размерности и единицы, как понятия, порой приравниваются сторонниками ЛТ-системы друг другу. И.Коган считает, что систематизация физических величин должна быть следствием систематизации физических закономерностей, а размерности и, во вторую очередь, единицы должны лишь иллюстрировать систематизацию физических величин, а не быть ее основой.

### **Графические способы представления результатов систематизации**

Интересны и перспективны работы, в которых предлагается красивая графическая форма построения систем физических величин. Графическая форма играет 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, но они не должны приноситься в жертву физическому содержанию.

Даже Р. ди Бартини, автор ЛТ-системы координат, в основе которой лежит лишь математическое обоснование, не придавал графической форме представления своей системы превалирующее значение. Н.Плотников (1978) и А.Чуев (2007, 2010), создавая свои системы физических закономерностей, хотя они назвали их системами физических величин, показали аналогию уравнений связи между различными физическими величинами в различных разделах физики, подтверждая тем самым единство Природы и существование обобщенной физической системы, отображаемой людьми по-разному в разных разделах физики. Поэтому их системы носят ярко выраженное прогностическое направление, особенно последнее электронное

Но некоторые авторы, например, В.Васильев (2004), посвящают свои работы, в основном, совершенствованию форм графического представления, доводя это совершенствование до отсутствия порою физического смысла. В той же 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.

### **Всем систематизаторам величин пора объединять свои усилия**

Продолжает существовать еще 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 практически не рассматриваются и не обсуждаются на страницах академических 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 единомышленников практически нет ссылок друг на друга. Каждый, грубо выражаясь, “варится в собственном соку“, и установление приоритетности того или другого новшества по рассматриваемой теме теряет смысл. Каждый считает себя первооткрывателем и, скорее всего, им и является. И действительно, куда плодотворнее тратить свое время на работу над новыми идеями, чем на малоэффективные поиски информации в журналах.

В конце XX века Интернет произвел революционный переворот в области взаимной осведомленности о работах единомышленников. Особенно важную роль сыграло быстрое развитие поисковых систем в Интернете. Идеи малоизвестных или практически неизвестных авторов, работавших и работающих в России (в Москве, Санкт-Петербурге, Вологде, Тольяти, Кирове, Десногорске), в Кыргызстане

(в Бишкеке), в Украине (в Киеве, Ивано-Франковске, Торезе), в Израиле (в Хайфе), в Эстонии (в Таллинне), в США (в Аризоне, Массачусетсе), в Нидерландах (в Твенте) становятся сейчас известными для тех, кто хочет с ними познакомиться. Хотя и не сразу и с помощью взаимобмена информацией. Таким образом, **свободный доступ к онлайн-информации** позволяет количеству переходить в качество. И теперь незнание работ единомышленников не всегда может быть оправдано.

### **Выводы по поводу развития основных идей в области систематизации физических величин**

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

**1. Обобщенные физические величины.** 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.Бридфельда (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.

**2. Систематизация физических величин.** Систематизация именно физических величин, а не унификация их единиц измерений в виде систем единиц, 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. Нововведения в системах физических величин.** 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 физических величин или новых названий для уже

существующих физических 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%).

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. Лишь Г.Ольсон (1943) и Н.Плотников (1978) не ввели в свои системы ни одной новой физической величины и ни одного нового названия.

**4. О производных физических величинах.** В современной физике недопустимо большой процент от общего количества производных физических величин составляют такие величины, 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 особенно не задумывается. **Чем больше становится подобных производных величин, тем дальше отдаляются друг от друга разные разделы физики и разные технические дисциплины.**

Больше всего таких не обобщающихся величин оказалось в механике (около 50%) и в электричестве и магнетизме (около 40%). Может быть, это обстоятельство и объясняет, почему так непохожи при преподавании прикладные механические и электротехнические дисциплины.

**5. Необходимость систематизации символики.** 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 индексов. 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 с ним надо бороться.**

#### **1.4.4. Вероятные причины отставания в решении проблем обобщения и систематизации физических величин.**

Отсутствие всеобъемлющей систематизации 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. Напомним, именно здоровый смысл породил 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 надежно и точно измеряемыми, они-то и ложились в основу составления 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“ (И.Савельев, 2005, кн.2), но ничего не меняют, ссылаясь на исторические причины.

Введение в термодинамику энтропии ввергло ее в состояние логической незавершенности на целых два столетия, да и само это понятие приобрело уже второй смысл, независимый от термодинамики.

Но сейчас создается впечатление, что интерес к проблеме обобщения и систематизации физических величин растет. Об этом говорит факт резкого увеличения числа публикаций по этой тематике в начале этого века. Содержание этих публикаций уже начинает выходить за рамки классической физики (А.Чуев, 2007). Впрочем, и в этих рамках имеется еще достаточно большое поле деятельности.

Анализ работ некоторых авторов систем физических величин показывает, что они время от времени исправляют свои собственные выводы, оказавшиеся, как выясняется, ошибочными. И.Когану, автору данного обзора представляется, что главной причиной совершения ошибок этими авторами является **инерция подсознания**, в которое прочно вошли заученные с молодости представления современной физики: и верные, и устаревшие. **Психологи не случайно утверждают, что самой трудной работой сознания является работа против собственного подсознания.**

#### **1.4.5. Инженерный аспект проблемы обобщения и систематизации физических величин.**

Настоящий обзор позволяет сделать вывод о том, что к проблеме обобщения и систематизации физических величин чаще обращаются в тех случаях, когда она может дать непосредственный выход на практику (примером служит развитие электромеханических аналогий). Не случайно то обстоятельство, что из авторов, занимавшихся систематизацией физических величин, примерно две трети являются инженерами по базовому образованию. Повышенный интерес инженеров к системному анализу стал проявляться давно. Сама инженерная практика убеждает в необходимости этого.

Ярким примером служит автоматизация производственных процессов и создание теории автоматического управления, которая в принципе не может развиваться вне системного подхода. **Специалисты в этой области уже давно создали блок-схему системы “управляемый объект – управляющие устройства”.** В этой схеме они абстрагировались от физического содержания процессов в управляемом объекте (управляемый объект – это аналог физической системы). Инженеры руководствуются тем, что **все процессы в любой системе строго детерминированы, а анализ изменения состояния системы производится с учетом принципа**

**малых отклонений регулируемого параметра системы, позволяющего линеаризовать изменения этого параметра.**

Теория автоматического управления возникла еще в XIX веке, но никакие новшества в физике и технике не застали и не могут застать эту теорию врасплох, ибо она **оперирует не физическими величинами, а безразмерными изменениями регулируемого параметра и внешнего воздействия на управляемую систему.** Усложнение системы может, конечно, усложнить блок-схему управления, но тогда она просто пополнится новыми техническими элементами типа дифференцирующих и интегрирующих устройств, аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей, программирующих и вычислительных устройств. А по своей сути **блок-схема не меняется, меняться могут лишь средства для реализации существующих и вводимых заново технических устройств.**

## **2. Систематизация физических величин**

### **2.1. Основные обобщающие понятия физических величин**

#### **2.1.1. Обобщения и систематизация понятий физических величин**

**Единство в многообразии** - основополагающее свойство природы. Все науки стремятся к обобщению накопленных знаний и к их систематизации. Примером обобщения знаний о языке является грамматика. 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. Главное тут, чтобы детали были проще и разнообразнее. Так же и при обобщениях в науке. Главное – это установить, что является основными (базовыми) кирпичиками



(блоками) в большом здании природы и договориться о том, как мы их будем называть.

### **Определения 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 меду ними знак равенства нельзя.

Между понятиями "обобщение" и "систематизация" имеется различие. Это различие заметно в работе С.Суровикиной, в которой даны такие определения:

**"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".

Более конкретно, на наш взгляд, определение: *"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"*.

Исходя из этого определения, любая систематизация должна проводиться по каким-то определенным признакам или принципам. **Принципы систематизации физических величин**, приведены в последующих разделах работы.

В физике есть немало примеров обобщения и систематизации: та же самая Периодическая система Д.И.Менделеева, систематизация элементарных частиц М.Гелл-Манна, единая теория поля. На фоне

этих достижений отсутствие систематизации физических величин выглядит анахронизмом. Это обычно не замечается, так как систематизацию физических величин часто путают с унификацией единиц измерений в СИ. Но эта точка зрения ошибочна. В последующих разделах будет проведено сравнение системы единиц и системы величин.

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

### **Оличительные признаки систематизации и их отличие от классификации и унификации**

По определению С.Суровикина **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”*.

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).

**Унификация** - *”приведение к единообразию, к единой форме или системе”* (БСЭ). Основной задачей унификации единиц измерений в СИ 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.

### **Базовые понятия обобщения физических величин**

Базовыми понятиями при обобщении в физике являются ”физические системы” и ”физические величины”. Содержание этих понятий следует хорошо уяснить, поэтому им будут посвящены отдельные страницы.

После этого будет разъяснено понятие "размерность физической величины" и показано, чем отличается размерность от единицы измерений. И лишь потом можно перейти к разделам, в которых, собственно, и описывается процесс обобщения и систематизации физических величин.

Сразу отметим, что без четкого понимания всех терминов, которые разъясняются в данном разделе работы, трудно будет освоить материал следующих разделов. Зато их понимание очень поможет не только при освоении проблемы обобщения и систематизации физических величин, а и вообще при построении и исследовании математических моделей.

### **К упорядочению терминологии в теории моделирования**

Выдающийся физик В.Гейзенберг писал: *“Первая предпосылка познания явлений природы — введение адекватных понятий; лишь с помощью верных (адекватных) понятий мы в состоянии по-настоящему знать, что мы наблюдаем”*. И все же проблема так называемой “*понятийной бессистемности*” остается по-прежнему актуальной. По этому поводу О.Зайцев пишет следующее: *“Возникновение этой проблемы связывается не с результатом введения каких-либо новых понятий или отказа от использования прежних, а с бессистемной ревизией их внутреннего содержания”*. 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 работа С.Суровикиной.

### **2.1.2. Понятие и свойства физической системы**

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 части целого, вот эту часть некоторые авторы и называют **системой**. Хотя греческое слово *systema* буквально означает “целое, составленное из частей”, но противоречия здесь нет. Любая система одновременно и состоит из частей, и является частью другой более крупной системы.

Основополагающей идеей систематизации физических величин

является **классификация физических систем**, разделяющая системы на непроточные и проточные. Для предварительного разъяснения разницы между ними приведем лишь такие примеры: баллон с газом и участок трубы газопровода, озеро и река, конденсатор и проводник с током. Процессы в непроточных и проточных системах происходят по-разному. **Только при раздельном рассмотрении непроточных и проточных систем оказывается возможной систематизация физических величин.**

### **Определение понятия “система“**

Определений понятия “система“ много. Например, в БСЭ *“система – это множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определённую целостность, единство“*. В теоретических основах автоматизации управления целостность системы формулируется несколько иначе: *“системой следует называть объект любой природы (либо совокупность взаимодействующих объектов), обладающий свойством, которого не имеет ни одна из частей системы при любом способе членения и не выводимым из свойств частей системы“*.

А.Бахмутский приводит такое определение: *“Целостность системы – принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств ее компонент и невыводимость из свойств компонент свойств системы.“* Он добавляет важное дополнение: *“Динамическая целостность учитывает, что воздействие среды на одну или несколько компонент системы вызывает также наблюдаемую или ненаблюдаемую реакцию других ее компонент.“*

В.Кошарский, 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 хотелось бы выделить два ключевых понятия – **“закономерность“** и **“цель“**, которых в предыдущих определениях не было.

## Определение понятия “физическая система“

Физическую систему мы не в состоянии изучить во всей совокупности ее внутренних взаимосвязей, настолько велико их количество. Но часто 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.

Определение понятия “физическая система” приведено в Интернет-энциклопедии Википедия (в англоязычном варианте): “*Физическая система – это система, которая состоит из материи и энергии. В этом контексте понятие “система” применено, чтобы означать “взаимосвязанный, взаимодействующий комплект автономно функционирующих объектов”*”. К этому определению имеется разъяснение: “*В физике слово “система” имеет техническое значение, а именно, это - часть физического мира, избранная для анализа*”.

В БСЭ присутствует понятие “**термодинамические системы**”, которые определяются, как “*совокупности физических тел, которые могут взаимодействовать энергетически между собой и с другими телами, а также обмениваться с ними веществом*”. На практике же классификация термодинамических систем касается только тепломеханических систем, учитывающих две формы движения: тепловую и механическую. То есть термодинамические системы являются частным случаем физических систем. Поэтому для физических систем необходимо более обобщенное определение.

В работе И.Когана было дано такое определение: **физическая система – это мысленно выделенная для анализа часть материального мира**. Оно практически совпадает с определением из Интернет-энциклопедии ВИКИПЕДИЯ: “*часть физического мира, избранная для анализа*”. В другой Интернет-энциклопедии (Глоссарий.ру) имеется такое определение: “*Физический объект – выделенная для анализа часть физического мира*”. То есть определение понятия “физический объект” практически полностью совпадает с принятым нами определением понятия “физическая система”.

Классификации физических систем посвящен отдельный раздел настоящей работы.

## **Свойства физической системы**

Вместо слова “свойство системы” в науке и технике применяют преимущественно термин “**параметр системы**”. В физике же предпочитают для этой цели применять термин “**физическая величина**” (или просто **величина**). Все три упомянутых термина (свойство, параметр, величина) являются, по сути дела, синонимами. Параметры, характеризующие систему, определяют и **состояние системы**. Точнее, состояние определяют численные значения этих параметров. 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 так и 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 – температуры газа. А изменение всех этих параметров в комплексе определяет изменение внутренней энергии системы. Как видим, 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.

## **Понятие обобщенной физической системы**

Естественно предположить существование такой сверхсистемы, назовем ее **обобщенной физической системой**, которая характеризуется всеми известными и даже пока еще неизвестными координатами состояния. 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 появилась в работах И.Когана и обрела законченную форму. Эта идея продолжила развитие основных идей энергодинамики (А.Вейник). Роль этой идеи при систематизации физических величин проиллюстрирована соответствующей схемой в разделе, посвященном уровням систематизации.

Примерно в тот же период времени, что и период возникновения энергодинамики, в 70-е годы XX века, Ю.Кулаков стал развивать теорию, о которой ее автор сказал так: *“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 и Ю.Кулакова родственны в своей основе. В.Эткин также признает 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 мы бы так сформулировали эту идею:

**Законы для обобщенной физической системы универсальны и применимы для любых элементарных форм движения. Элементарные формы движения, характеризуемые различными координатами состояния, – это различные модели обобщенной формы движения.**

Отсюда вытекает важнейшее следствие: *Определяющие уравнения физических величин, характеризующих элементарные формы движения, отличаются друг от друга только названиями физических величин и их обозначениями (символами).*”

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

### **2.1.3. Понятие физической модели**

Возвратимся к понятию физической системы, где говорится о том, что физическая система выделяется из окружающего нас мира мысленно. Возьмем, к примеру, водопроводную трубу, кто-то выделит мысленно только воду в трубе, а кто-то – воду вместе с трубой. Количество исследуемых параметров физической системы мы тоже выбираем, исходя из необходимости. Если необходимо два, выберем два, необходимо три, выберем три. 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 применить разную модель. Например, очень удобной моделью для изучения свойств материального объекта является физическая система. Если хотим знать свойства физической системы приблизительно, выбираем для рассмотрения малое количество ее параметров, хотим знать лучше, - выбираем 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 проходимость, 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 исследователи не могут исследовать материальный объект иначе, как представить его в виде модели, коей и является физическая система. А уж правильно ли задумана эта модель или нет, показывает практика, эксперимент.

Опираясь на модели, удобнее и легче постигать окружающий мир. Но это не означает, что окружающий мир разделен на части. Окружающий мир един, это мы делим его мысленно на части, на уровни, на формы, на виды и подвиды, чтобы было удобнее изучать, а потом стараемся объяснить изучаемое.

### **2.1.4. Взаимосвязь между физической системой и окружающей средой**

Мы определили физическую систему, как *мысленно выделенную часть материального мира*, значит, ее надо чем-то “огородить” и тоже мысленно. Для этого в физике существует такое понятие, как **контрольная поверхность** системы.

Название это не совсем удачное, так как никто эту поверхность не контролирует, она мысленная. Контрольная поверхность - понятие своеобразное, его содержание определяется теми задачами, которые мы ставим перед собой при изучении конкретной физической системы.

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 ее мысленно физической системой. Большая часть контрольной поверхности – это стенки трубы, они для воды непроницаемы. 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. Выходит, что для гидравлической формы движения часть контрольной поверхности

(стенки трубы) непроницаема, а для тепловой формы движения она проницаема.

Итак, физическая система мысленно окружена контрольной поверхностью. А как назвать то, что находится вне этой поверхности? Материальный мир, окружающий физическую систему, определяют, как **окружающую** **среду**.

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 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 ускорения 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 слой воздуха. Вопрос о том, где граница этого слоя воздуха, достаточно сложен, но он современной наукой решается. Как видим, один и тот же автомобиль может быть представлен мысленно в виде разных моделей физических систем. Смотря, кого что интересует.

В энциклопедии Википедия (в англоязычном варианте) к определению физической системы добавлено такое разъяснение: *“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".

По мнению И.Ш. Когана, к этому разъяснению следует добавить такой текст: *"Воздействие окружающей среды на физическую систему заключается в переносе энергии через контрольную поверхность физической системы от среды к системе или от системы к среде (энергообмене). Контрольная поверхность между физической системой и окружающей средой выбирается произвольно, чтобы упростить анализ состояния и поведения физической системы"*. Из этого текста видно, что контрольная поверхность – такая же модель, как и сама физическая система, и поэтому она также устанавливается произвольно.

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 кибернетикой. В ней понятию "физическая система" соответствует название **"черный ящик"**.

Заметим, что при разъяснении различных общих 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.

## 2.1.5. О понятиях материя, среда, вещество, движение

### Что такое материя?

Материя трактуется философами и физиками не одинаково. 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)“*.

БСЭ дополняет это определение такими предложениями: *“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“*.

Трудно согласиться с определением материи, приведенном в Интернет-энциклопедии Википедия: *“фундаментальное понятие, связанное с любыми объектами, существующими в природе, о которых мы можем судить благодаря нашим ощущениям“*. Последователи материализма, к числу которых причисляет себя автор, полагают, что материя существует независимо от наших ощущений.

### Что первично – материя или движение?

В классической физике принято считать, что *“движение есть способ существования материи“*. Имеется и такое определение в Словаре естественных наук (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, поскольку если бы не было материи, то нечему было бы двигаться. То есть движение – это категория, вытекающая из понятия “материя“, вторичная по отношению к материи.

Популяризатор уровневой физики О.Бондаренко так трактует понятие “движение“: *“Движение есть процесс перетекания от большего к меньшему, иначе – от пассивного, энергетически затратного состояния к активному, энергетически экономному, так как*

*энергетически выгодное состояние позволяет системе распоряжаться энергией наиболее продуктивно и проявлять максимальную отпущенную природой активность“.* В данном случае под движением понимают процесс, самым тесным образом связанный количественно и качественно с изменением значения энергии – основной характеристики движения.

### **Отличительные признаки среды и вещества**

Материя не может двигаться в пустоте, она движется в среде, занимающей пространство, и в определенном темпе, характеризуемом временем.

Понятие “окружающая среда“ мы определили как то, что окружает физическую систему, это понятие относится к классификации физических систем. Но что следует понимать под понятием “среда“ без добавки слова “окружающая“, и чем понятие “среда“ отличается от понятия “вещество“? Например, физический вакуум называют средой, в которой находится физическое поле, но характеристики поля в физическом вакууме и в веществе отличаются друг от друга. Получается, что среда и вещество – понятия разные.

Средой признавался то “эфир“, то физический вакуум, а то вообще говорилось о пустом пространстве. Согласно исторической закономерности, замеченной В.Пакулиным, начало XXI века является периодом, когда наука возвращается к тому, чтобы не считать среду пустым пространством, а физический вакуум считать средой со специфическими свойствами. Сам В.Пакулин считает физический вакуум (или эфир, если кому-то этот термин нравится больше) гравитонной средой, то есть средой, заполненной **гравитонами** (безмассовыми частицами).

То, что в термин “физический вакуум“ включено слово “вакуум“, является, по нашему мнению, историческим недоразумением. Физиков, сложившихся в XX веке, не устраивал применявшийся ранее термин “эфир“, и они заменили его термином “вакуум“. И чтобы как-то отличать его от вакуума в аэродинамике, добавили слово “физический“.

Возможно, теперь физики, которые согласны с тем, что физический вакуум является не пустотой, а средой, согласятся с примиряющим термином О.Репченко **“полевая среда“**. Правда, О.Репченко считает полевую среду “нематериальной сущностью, потому что она состоит

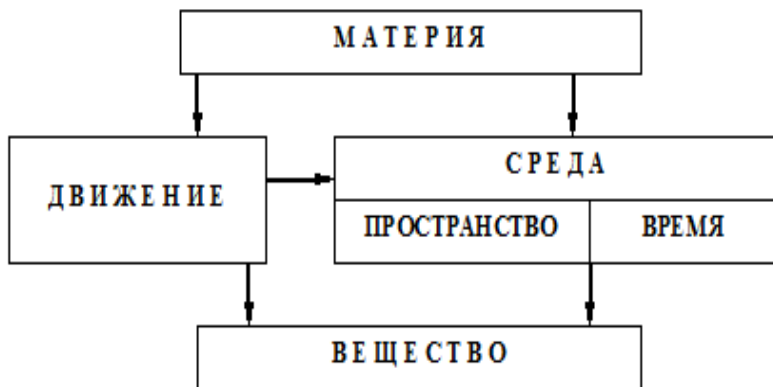
не из материи – молекул, атомов или элементарных частиц“. В данной цитате понятие “материя“ отождествлено с понятием “вещество“, что, по-видимому, неверно. Среда – такая же материальная сущность, как и вещество.

Подводя итог обсуждению различий между понятиями “среда“ и “вещество“, можно сделать вывод, что понятие “среда“ является более имеющее массу покоя, и находящиеся внутри среды.

### Причина и следствие

В соответствии с моделью строения вещества, разработанной В.Пакулиным, с которой ряд исследователей солидарны, появление вещества является следствием такого движения материи, при котором образуются устойчивые физические объекты (частицы), обладающие массой покоя. При этом часть энергии движения консервируется в этих объектах. Законсервированную в объектах часть энергии называют **энергией связи**, которая может выделиться полностью или частично при разрушении частицы. Частицы подвижны, и при своем движении они объединяются в более крупные объекты, законсервированная в них энергия связи возрастает. Частицы и их конгломераты и являются тем, что называется веществом. Таким образом, выявляется следующая причинно-следственная цепочка: материя - движение - вещество, что и показано на схеме. И все процессы образования вещества происходят в пространстве, характеризуемом протяженностью (длиной), и в определенном темпе, характеризуемом длительностью (временем).

Таким образом, пространство и время являются характеристиками среды, и поэтому они не существуют вне материи и ее движения.



Подчеркнуть это обстоятельство очень важно, так как во второй половине XX века стало развиваться научное направление, характеризующее формализм при систематизации физических величин. Представители этого направления считают, что все физические величины можно охарактеризовать только с помощью характеристик пространства и времени. На наш взгляд, такое направление оторвано от реальности. Оно может привести к неверным выводам, и об этом прекрасно сказано в монографии О.Репченко: *“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.”*

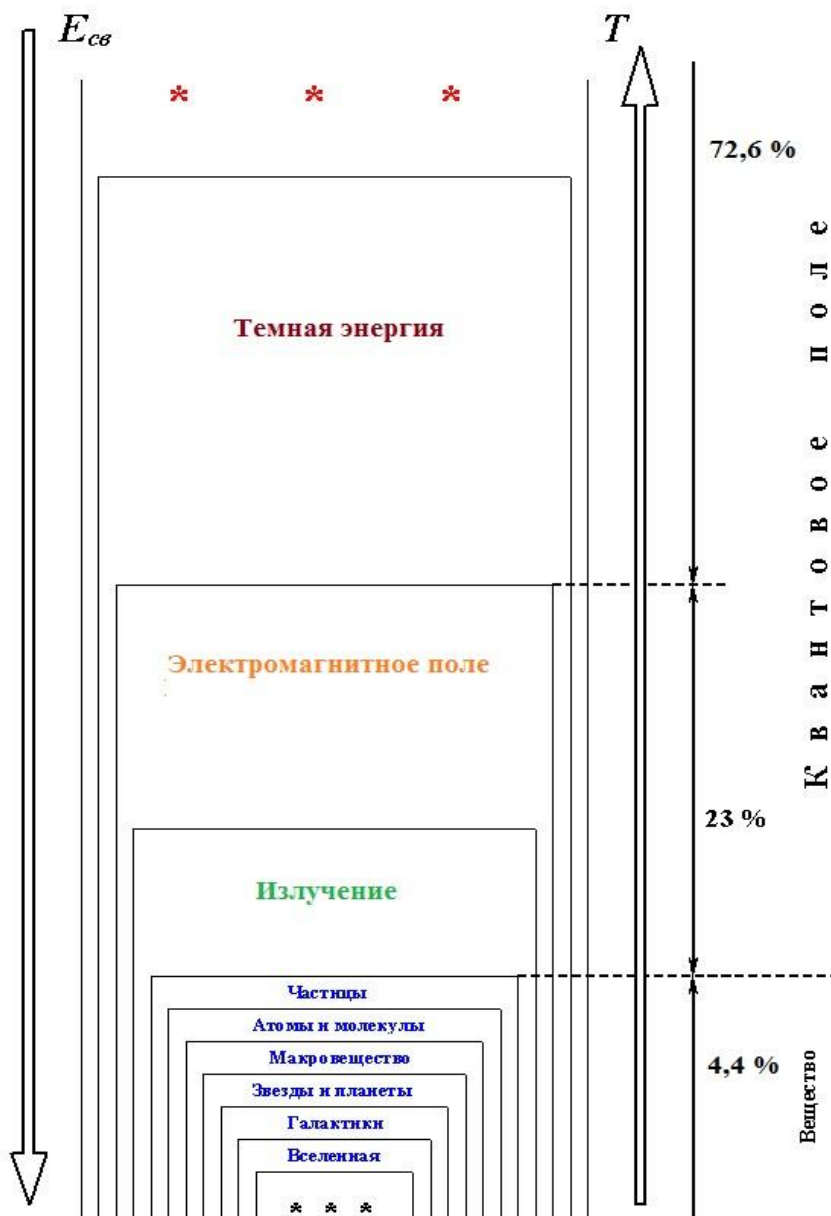
Современная физика считает основными **видами материи** поле и вещество. Правда, согласно Словарю естественных наук (Глоссарий.ру), *“считается, что материя существует либо в виде вещества, либо в виде поля”*. Но это утверждение, по-видимому, неверно, материя существует и в виде поля, и в виде вещества.

В последнее время в научный обиход введены и другие материальные объекты пока еще не ясной до конца физической природы, такие как темная материя и темная энергия. Ввиду недостаточной ясности этих терминов комментировать их не будем.

## **2.1.6. Уровневое строение материи**

### **Схема уровневого строения материи**

Уровневая физика – новое научное направление конца XX и начала XXI века. Возможно, первым, кто заговорил об уровневом строении материи, стал А.Вейник. Превратили уровневую физику в стройную систему взглядов киргизский физик С.Кадыров и ее популяризатор О.Бондаренко. Большое место занимает уровневая физика в работах В.Пакулина (2004, 2010). Именно в его работах показаны схемы иерархии уровней строения материи и приведены популярные и убедительные примеры. Посмотрим на уровневую схему строения материи, приведенную в работе В.Пакулина, в которой  $E_{св}$  – энергия связи,  $T$  – температура.





Согласно этой схеме **макровещество** (третий сверху уровень вещества), в состав которого входят газы, жидкости и твердые тела, составляет очень малую долю того, что сейчас именуют материей. Но именно это макровещество заполняет нашу Землю, именно с него начало человечество изучать материю, именно ему посвящена большая часть имеющейся научно-технической литературы.

По отношению к макровеществу экспериментально доказана справедливость принципа эквивалентности инертной и гравитационной масс. Однако на странице, посвященной принципу эквивалентности, приведены свидетельства того, что он не работает на других более высоких уровнях материи. И это является одной из причин того, что к концу XX века физика оказалась в состоянии кризиса (О.Зайцев,).

Перенос свойств, рассматриваемых на уровне "Частицы" (первый сверху уровень вещества), на явления, рассматриваемые на уровне "Излучение", привел к появлению в физике идеи корпускулярно-волнового дуализма. Сторонники уровневого подхода доказывают, что на самом деле никакого дуализма нет, просто одни и те же явления на разных уровнях могут рассматриваться и математически описываться по-разному.

При взаимодействии элементарных частиц на уровне "Частицы" явления носят корпускулярный характер, и порядок количества участвующих во взаимодействии частиц сравнительно не высок (например, при фотоэффекте). А при рассмотрении волновых процессов на уровне "Излучение" количество участвующих во взаимодействии частиц на несколько порядков выше, но размеры частиц значительно меньше, и тогда вступают в силу статистические методы анализа явлений (например, при таких волновых явлениях, как дифракция и интерференция).

### **Особенности уровневого строения материи**

Различие в закономерностях, описывающих физические явления, имеют место не только при различных уровнях, но и в пределах одного уровня. Так например, уровень "Макровещество" имеет три подуровня: газ, жидкость и твердое тело, и любой физик и инженер знают, что эти подуровни описываются разными закономерностями. В.Пакулин (2004) подробно проанализировал эти различия, хотя это очевидно и без подробностей.

В работе В.Пакулина (2010) показано численное различие между энергиями взаимодействия частиц на уровне "Атомы и молекулы". Диапазон энергий 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 уровней с близкими параметрами размеров и энергии"*.

Отношение процентов трех уровней, показанных на схеме справа, на первый взгляд, случайно. Однако автор сайта обратил внимание на то, что отношения логарифмов этих процентов близки к определенной закономерности, а именно:  $\ln(4.4):\ln(23):\ln(72.6) \cong 1:2:3$ . Такая закономерность математически отображается трансцендентным уравнением

$$a+e^{2\ln a}+e^{3\ln a}=100, \quad (1)$$

где  $a$  – процентная доля вещества. Решение этого уравнения методом последовательных приближений приводит к таким цифрам: вещество – 4.265%, поле – 18.19%, темная энергия – 77.58%.

Нет еще достоверного ответа на очень важный вопрос: какие уровни должны быть ниже и выше схемы, вместо их названий стоят звездочки. Самый нижний уровень можно, в принципе, назвать "Мега-Вселенная", а самый верхний уровень назвать "Прамаатерия", такие названия существуют в литературе. Неясно также, ограничится ли схема этими уровнями или она может продолжаться и сверху и снизу до бесконечности. Наука развивается, а вместе с ней и уровневая физика, приносящая свои плоды.

### **Вместо вывода**

И.Коган отдает себе отчет в том, что он ссылается на работы малоизвестных авторов, в связи с чем его выводы могут быть поставлены под сомнение представителями современной официальной науки. Но, как показано на графике в разделе, посвященном истории смены эпох рационализма и формализма в физике, очередная эпоха формализма, захватившая XX век, к концу XX века завершилась.

По-видимому, предстоит расцвет очередной эпохи рационализма, наступление которой легко заметить, анализируя 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). Правда, эти работы публикуются в Интернете или в виде книг за счет их авторов, они не встречают еще одобрения со стороны официальной науки, но это и следовало ожидать с учетом того, что в науке должна произойти неизбежная смена поколений.

## 2.1.7. Системный подход и методы познания в физике

### Что такое системный подход

Наиболее объективным и продуктивным подходом при изучении природы является **системный подход**. Его общепринятое определение приведено в Интернет-энциклопедии Википедия, это «*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.

Конкретно в физике объектом применения системного подхода является **физическая система**.

### Дедуктивный и индуктивный методы познания

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.

Индуктивный метод познания совершенно необходим, но до определенного возраста. Начиная с неполной средней школы и обязательно в старших классах 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 удается разглядеть при рассмотрении свойств отдельных ее частей.

### **Примеры применения системного подхода**

Применение системного подхода при исследованиях в любом разделе физики приводит к прорывам вперед в науке. Можно привести два наиболее 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 в трудах А.Вейника и В.Эткина.

Именно на базе энергодинамики и построена **энергодинамическая система величин (ЭСВ)**.

## **2.2. Физические величины, их классификация, свойства, размерности**

### **2.2.1. О понятии “физическая величина”.**

Физические величины отражают свойства физических систем. Поэтому сначала необходимо было уяснить, что понимается под физической системой и как она описывается. И лишь после этого можно перейти к описанию того, что называется физической величиной.

## **Определения физической величины**

В стандарте ГОСТ 16263-70 “ГСИ. Метрология. Термины и определения“ сказано так: **“физическая величина (величина) – свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта”**.

Разберемся подробнее в тексте этого определения. Возьмем, например, такое свойство, как длина. Она действительно применяется для характеристики многих совершенно разных объектов. В механике – это длина пути, в электричестве – длина проводника, в гидравлике – длина трубы, в теплотехнике – толщина стенки радиатора и т.д. Но 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. Так что это свойство действительно индивидуально для каждого объекта, хотя природа длины во всех перечисленных примерах одна и та же.

В словаре-справочнике М.Юдина и др. это определение звучит 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, казалось бы, таком же определении появляется изменение: физическая величина – это не свойство, а характеристика одного из свойств. Однако можно полагать, что существенной разницы между понятиями “свойство” и “характеристика” нет.

В метрологическом справочнике А.Чертова определение “физическая величина” дополняется словами о том, что этот термин применяется для материальных систем и объектов.

## **Анализ термина “величина“**

Л.Брянский, А.Дойников и Б.Крупин предлагают из определения физической величины исключить прилагательное “физическая“. Они аргументируют свое предложение двумя причинами. Во-первых,

нельзя исключать из процесса измерений химические, биологические и прочие нефизические величины. А вторая причина в том, что в результате этого российские метрологические стандарты приблизятся к международным, в которых прилагательное “физическая” перед словом “величина” отсутствует.

По нашему мнению, эти авторы не обратили достаточного внимания на то, что русское слово «величина» имеет несколько иной смысл, чем английское слово “quantity” в международном стандарте International Standart ISO 31. В Словаре Ожегова слово “величина” трактуется как “размер, объем, протяженность предмета”. Согласно русско-английскому словарю слово “величина” переводится на английский язык в физике 11-ю словами, из которых наиболее подходят по смыслу 4 слова: quantity (физическое явление, свойство; математическое понятие), value (значение), amount (количество), size (размер, габариты, объём). Согласно словарю Ожегова русскому значению слова “величина” подходит английское слово “size”. Но стандарт ISO 31 предпочел слово “quantity”, которое точнее отражает физический смысл слова “величина”, чем слово “size”. Правда, и в стандарте ISO 31, и в русской терминологии слово “величина” нуждается в уточнении с помощью прилагательного, ибо математические, физические и экономические величины имеют разное содержание.

Можно обратить внимание и на трактовку указанных терминов в интернет-энциклопедии Википедия. “Величина – одно из основных математических понятий, смысл которого с развитием математики подвергался ряду обобщений”. “Физическая величина – физическое свойство материального объекта, физического явления, процесса, которое может быть охарактеризовано количественно”.

В статье Л.Брянского, А.Дойникова и Б.Крупина сказано, что “однозначно не решаемые вопросы легко снимаются путем исключения из терминологии прилагательного «физическая»”. Однако складывается впечатление, что подобные вопросы таким путем не снимаются, а уводятся в сторону. В данной работе речь идет о системах физических величин, поэтому предложение об исключении прилагательного “физическая” рассматривать нет смысла.

Обратим также внимание на то, что в приведенных выше определениях понятие “физическая величина” не увязано напрямую с процессом измерений. Ведь имеются физические величины, которые не измеряются, а рассчитываются. Например, в работе С.Суровикиной

определение физической величины звучит так: это “*количественная характеристика свойств тел, явлений или процессов, которую можно выразить в процессе измерений или вычисления*”.

К.Гомоюнов пишет: “...*физическую величину можно рассматривать как мысленную модель свойства. Более конкретно – как количественное выражение свойства или как количественное знание о свойстве*“. При таком подходе включение в понятие “физическая величина“ упоминания о процессе измерения также не обязательно.

### **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 наличию размерности.** Физическую величину, имеющую **формулу размерности**, в которой хотя бы одна размерность имеет ненулевой показатель степени, называют **размерной величиной**. Если же все размерности имеют нулевой показатель степени, то величину в современной физике называют **безразмерной величиной**. Однако в разделе, посвященном **безразмерным величинам**, показано, что этот термин по сути неверен и что безразмерных величин в природе не существует.
- 3. По возможности суммирования.** Физическую величину называют **аддитивной величиной**, если ее значения могут быть суммированы (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, значения которой нет смысла складывать или вычитать.
- 4. По ее отношению к физической системе.** Физическую величину называют **экстенсивной величиной**, если её значение складывается из значений этой же физической величины для подсистем, из которых состоит система, например, как у объёма (на латыни *extensivus* - расширяющийся, то есть связанный с количественным увеличением), и **интенсивной величиной**, если её значение не зависит от размера системы, например, как у термодинамической температуры (по французски *intensive* - напряжённый).

Физических систем может быть сколько угодно, каждая из них является моделью. При анализе каждой физической системы может рассматриваться сколько угодно форм движения внутри этой системы. Наконец, 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.

И их действительно насчитывается очень много в метрологических справочниках. Однако мы интуитивно чувствуем, что их число может оказаться меньшим, чем имеется в справочниках. Или, по крайней мере, мы чувствуем, что многие физические величины как бы повторяют друг друга в разных разделах физики, только в новом качестве. Не ошибается ли наша интуиция? Нет, не ошибается. А причина в том, что в методологии современной физики и техники наблюдаются, по мнению И.Когана, три серьезных недостатка.

***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 одному узкому специалисту не всегда удастся понять другого узкого специалиста, хотя говорить они могут об одном и том же. Выход видится таким: **если уже поздно менять названия и символы, то, может быть, следует хотя бы четко указать, какие величины в одном разделе физики соответствуют аналогичным величинам в другом разделе.**

***Второй недостаток*** заключается в том, что одни и те же по своему физическому содержанию закономерности в разных разделах физики и техники записываются подчас по-разному, и это тоже вводит в заблуждение узких специалистов. Например, в уравнениях колебаний коэффициент пропорциональности при первом слагаемом (конструктивный параметр системы) в механике называется упругостью, а в электродинамике применяется обратная величина, называемая ёмкостью. Здесь тоже видится такой выход из положения: **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.



Нельзя сказать, что ничего в этом направлении не сделано. Больших успехов 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 показывая, какая имеется форма физических аналогий соответствует законам природы.

**Третий недостаток** заключается в том, что при взгляде на списки физических величин в различных справочниках становится непонятно, чем 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? Возможно, у авторов справочников имеются на это какие-то обоснования, но они, как правило, не поясняются. Если досконально проанализировать материал, содержащийся в справочниках, в этом можно убедиться самому.

Для устранения этих недостатков и предлагаются различные системы физических величин.

### **2.2.2. О единице измерений**

#### **Определения термина “единица”**

В русскоязычной литературе применяются оба понятия: “единица” и “единица измерений”. Разницы в физическом содержании этих понятий почти нет, но слово “единица” звучит короче. В англоязычной литературе применяют только одно понятие “unit”, что и означает “единица”.

Единицы измерений знают и понимают практически все люди. Даже домохозяйки знают, что такое килограмм, километр, час, киловатт и т.п. Унификацией единиц измерений занимается наука, называемая **метрологией**. В буквальном переводе – это наука об измерениях.

Согласно определению по А.Власову и Б.Мурину, **единица физической величины** – это “*физическая величина фиксированного*

размера, которой условно присвоено числовое значение, равное 1, и применяемая для количественного выражения однородных физических величин“. Два понятия – “единица физической величины“ и “единица измерений физической величины“ – это очень близкие по содержанию понятия. Просто когда мы опускаем слово “измерений“, подразумевается, что можно не только измерить физическую величину, но и рассчитать ее.

Единица физической величины по определению может рассматриваться и как физическая величина. Но между физической величиной и единицей физической величины существует важнейшее отличие: единица физической величины имеет фиксированный условно принятый размер. Следовательно, единицы для одной и той же физической величины могут быть разные. Действительно, расстояние может иметь такие, например, единицы: метр, сантиметр, километр, миля (морская и сухопутная), световой год. Заметить разницу между ними нетрудно .

Не менее важным словом в вышеприведенном определении единицы, на котором обычно не так акцентируется внимание, является слово “условно“. Оно вставлено в определение не случайно. Условность 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.

Понятно, что удобство и экономичность имеют не только физическое обоснование, но и историческую, экономическую и психологическую подоплеку.

### **Системы единиц**

Унификацию единиц измерений всегда старались провести 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). Но шли годы, появлялись новые открытия, вынуждавшие корректировать системы единиц. Наконец, в середине XX века разработали международную систему единиц **СИ**, которая удовлетворяет пока почти всех. Нет сомнения, что **СИ** будет развиваться и совершенствоваться. Но далеко вперед загадывать не будем, всё так быстро меняется.

Студенты и инженеры обычно озабочены тем, что единицы очень уж различны при переходе от одной формы движения к другой, от одной формы физического поля к другой, от одного раздела физики к другому. Тем более что сами единицы называются по-разному, и перебросить мостик от одной единицы к другой бывает не так-то просто, постоянно приходится заглядывать в справочники или в поисковые системы Интернета.

Одной из причин такой ситуации является желание физиков увековечивать фамилии наиболее выдающихся ученых, называя ими единицы измерений. Наибольшее количество именованных единиц в электричестве и магнетизме. Неудобством является также и то, что одни и те же по содержанию физические величины в СИ имеют одни названия единиц, а в СГС – другие. И надо знать, как переводить одни в другие.

Понять необходимость переименования единиц удастся не всегда. Чем, например, неудобна была единица измерений давления  $\text{Н/м}^2$ , взяли и назвали ее Па (Паскаль). Действительно, почему единицу  $\text{м/с}$  произносить удобно, а единицу  $\text{Н/м}^2$  – неудобно? Или еще один пример: вместо привычной всем единицы атмосферного давления  $\text{мм.рт.ст.}$  стали применять гектопаскалы, но это не приживается.

Во всех системах единиц, в том числе, и в СИ, одни единицы выражаются через другие, но это не всегда удобно. Ведь если нужно единицу какой-то физической величины выразить, например, через единицу длины, то обязательно следует уточнить, через какую именно, потому что единиц длины много.

Ученые давно поняли, что проводить какие-либо обобщения физических величин, опираясь на единицы измерений, – дело неблагодарное, и нашли более удобный выход из положения, придумав размерности физических величин, формула которых вытекает непосредственно из определяющих уравнений. Поэтому в случае необходимости опираться надо на определяющие уравнения.

### **2.2.3. О размерности физической величины**

Понятие “размерность физической величины“ играет в процессе систематизации физических величин очень важную роль. Поэтому это

понятие надо хорошо уяснить. Особенно в связи с тем, что на практике его нередко путают с понятием “единица измерений”.

И следует учитывать, что в математике имеется другое, хотя и аналогично звучащее, но имеющее другой смысл понятие, называемое “количеством измерений”. В разделе, посвященном размерности пространства, это понятие разъяснено.

**Для систематизации физических величин необходимо более объективное понятие, чем единица измерений.**

Единицы измерений всем хорошо знакомы, но вдумаясь в практику их применения. Кто-то измеряет скорость в м/сек, а кто-то – в км/час. Объем воды в водопроводе измеряют в м<sup>3</sup>, объем воды в океане – в км<sup>3</sup>, объем напитка в бутылке – в литрах, объем лекарства в пипетке – в миллилитрах, а объем продаваемой нефти – и вовсе в баррелях. Например, в справочнике А.Чертова приведены примеры 18 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.

Может быть, кому-то это покажется странным, но Природа ко всем единицам измерений не имеет никакого отношения, все они придуманы людьми на планете Земля для того, чтобы общаться 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 измерений. Останутся теми же разве что фундаментальные константы, например, отношение длины окружности к ее радиусу, хотя и они будут называться и обозначаться иначе.

В науке закономерности, то есть уравнения связи одних физических величин с другими, необходимо анализировать не с помощью единиц, которые полностью зависят от человека, а с помощью каких-то других понятий, не зависящих от человека. Поскольку и сами природные закономерности от человека не зависят.

## Размерность физической величины и ее обозначение

Выражение в форме произведения символов размерностей, некоторые из которых возведены в степень, называется **формулой размерности** или часто просто **размерностью физической величины**. Приведем ее полное стандартное определение: *“выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин в различных степенях и отражающее связь данной физической величины с физическими величинами, принятыми в данной системе величин за основные, и с коэффициентом пропорциональности, равным единице”*. Разъяснение понятия “основная физическая величина” приводится в отдельном разделе.

Допустим, что мы договорились обозначать длину (расстояние) в любых уравнениях символом  $L$  (с этой буквы начинается на английском и немецком языках слово длина), а время – символом  $T$  (с этой буквы начинается на английском языке слово время). Будем называть эти символы **размерностями** длины и времени, причем независимо от размера длины или времени. (Иногда эти символы называют логическими операторами, иногда – радикалами, но чаще всего размерностями.)

Тогда 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, например, м/час и км/с. Теперь 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 и скорости и на Земле, и на другой планете будут одинаковыми. Хотя единицы измерений объема и скорости на другой планете наверняка будут другими.

Имеется еще несколько физических величин, считающихся в системе единиц **СИ** основными, их размерности имеют свои символы, например, размерность массы имеет символ  $M$ . Поэтому размерность такой величины, как сила, будет обозначаться в **СИ** выражением  $MLT^{-2}$ , чему соответствует в **СИ** единица  $кг \cdot м/с^2$ , которая названа сокращенно Ньютоном (Н).

Следует всегда помнить, что формула размерности не является произведением размерностей, как это может показаться, судя по форме записи. Ведь символы  $M$ ,  $L$  и  $T$  сами по себе не являются обозначениями каких-либо физических величин. Это такие же операторы, как  $\text{div}$ ,  $\text{rot}$  и  $\nabla$  (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.д.

Запись типа  $MLT^{-2}$  это просто последовательная запись символов размерностей в определенном установленном стандартом порядке, а вовсе не их произведение. Поэтому, в частности, лишена какого-нибудь смысла запись  $M + L + T$ . Ведь никто не станет записывать нечто подобное  $кг+м+с$ .

Нельзя также забывать, что, как указывают А.Власов и Б.Мурин, *“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 системе величин.

### Анализ размерностей

В физике имеется одна чрезвычайно полезная математическая процедура, называемая **анализом размерностей**.

Допустим, нас интересует, правильно ли записано уравнение второго закона Ньютона  $F = ma$ . Сравним размерности левой и правой части уравнения. В нашем примере размерность силы в левой части равна  $MLT^{-2}$ , а размерность правой части состоит из размерности массы  $M$  и размерности ускорения  $LT^{-2}$ . Степени размерностей всех трех символов ( $M$ ,  $L$  и  $T$ ) в обеих частях уравнения совпали. Значит, **необходимое условие** для правильности записи второго закона Ньютона подтверждено.

Анализ размерностей широко применяется в физике для анализа уравнений, которые бывают не так просты, как  $F = ma$ , и в отношении которых присутствует сомнение, верны ли они. Если бы степени хотя

бы одной размерности не совпали, то это означало бы стопроцентную гарантию того, что уравнение неверно.

Но если степени размерностей совпадают, гарантирует ли это, что уравнение верно? К сожалению, нет, анализ размерностей предназначен для выявления возможной неверности записи уравнения, но доказать верность он не может. Равенство степеней размерностей в левой и правой частях уравнения является **необходимым условием** верности записи уравнения, но **недостаточным условием**. Потому что в уравнении могут присутствовать в качестве сомножителей такие величины, размерность которых равна 1, потому что показатели степеней в формуле размерности этой величины равны 0. При анализе размерностей эти сомножители ни на что не влияют, но они могут существенно влиять на физическое содержание уравнения.

Что же это за величины с размерностью, равной 1? Во-первых, это числовые коэффициенты пропорциональности. Число в математике размерности не имеет, его размерность приравнивается 1. Но в физических закономерностях числовые коэффициенты существенно влияют на физическое содержание закономерности.

Во-вторых, в физике очень много так называемых **безразмерных величин**, размерность которых также равна 1. Они тоже существенно влияют на физическое содержание уравнений.

Еще одно примечание: идентичность размерностей двух разных физических величин не всегда гарантирует адекватность физического содержания этих величин. Идентичность физических величин или ее отсутствие выясняются **только** при сравнении уравнений, определяющих эти величины, так и называемых **определяющими уравнениями** или **уравнениями связи**. Можно привести такой пример: в СИ энергия и вращающий момент имеют одинаковые размерности, но каждому ясно, что это две различные физические величины. Системы физических величин или системы единиц, в которых допускается подобное явление, нельзя считать физически корректными. В предложенной И.Ш.Коганом энергодинамической системе величин и понятий ЭСВ подобное не допускается.

В принципе, анализ размерностей физических величин можно заменить анализом единиц этих величин, эффект получается тот же самый. Очень многие физики, а инженеры тем более, больше привыкли проводить анализ единиц, чем анализ размерностей. В системе единиц

**СИ** у анализа единиц даже больше возможностей, чем у анализа размерностей. Дело в том, что в формуле единиц в **СИ**, согласно А.Власову и Б.Мурину, присутствуют единицы плоского и телесного углов, чего в формуле размерностей физических величин пока нет. Как будет показано разделе, посвященном углу поворота, именно угол поворота должен быть основной физической величиной.

Польза от применения размерностей не ограничивается процедурой анализа размерностей. Большую пользу приносит применение размерностей при систематизации физических величин, и в этом можно убедиться, рассмотрев Таблицы физических величин ЭСВ и схемы расположения физических величин А.Чуева.

Следует только помнить, что размерность при систематизации физических величин – это понятие вспомогательное. Оно помогает решать проблему, но решить проблему н е в о з м о ж н о только с помощью размерностей. Да и стремиться к такому подходу вряд ли стоит. Проблему систематизации физических величин решает только сравнение определяющих уравнений, а применение размерностей придает этому решению определенную наглядность.

Однако, следует отметить, что не все авторы различных систем физических величин с этим согласны.

#### **2.2.4. Об основной и производной физических величинах**

Физических величин очень много, и одни из них определяются по другим с помощью определяющих уравнений. Но в итоге должны остаться такие величины, которые ни по чему не определяются, то есть такие величины, для которых нет определяющих уравнений, которые не зависят ни от каких других величин. Следовательно, все физические величины делятся на две категории.

Независимые величины, которые не имеют определяющих уравнений, называют “**основными физическими величинами**“. (В качестве примера основных физических величин назовем такие величины, как расстояние и время.) А величины, которые определяются с помощью определяющих уравнений, называют “**производными физическими величинами**“.



## К определению выбора основных физических величин

Видный метролог Л.Брянский 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.*” И Л.Брянский прав, пока речь не идет о систематизации физических величин. А любой системный подход подразумевает иерархию элементов системы, когда одни элементы являются составной частью других. И тогда некоторые физические величины оказываются на самой вершине иерархии и становятся основными, а другие величины становятся производными, стоящими ниже их и определяемые с их помощью.

Во всех уравнениях, определяющих любую физическую величину, определяемая величина является следствием соотношения определяющих ее величин. Это соотношение как раз и является **определяющим уравнением** величины или **уравнением связи**. И если одна физическая величина определяется по другой, то эти физические величины не равноправны. Так что равноправие физических величин отсутствует, поскольку следует учитывать наличие причинно-следственной связи между величинами.

Современный метрологический стандарт определяет основную физическую величину, как “*физическую величину, входящую в систему величин и условно принятую в качестве не зависящей от других величин этой системы*” (А.Чертов). Но в этом определении имеется одна неопределенность: на практике основные величины принимаются в зависимости от того, какие приняты основные единицы величин. То есть, де факто система величин зависит от принятой системы единиц. В работах И.Когана показывается, что системы величин и системы единиц это не одно и то же, и комплекты основных величин и основных единиц не обязаны совпадать друг с другом.

Возникает также вопрос (И.Коган): почему в стандарте указано, что основную физическую величину можно принимать условно? По этому вопросу уже почти сто лет ведется дискуссия среди физиков и метрологов. Но если мы ни о чем не условимся, разве нельзя найти такие физические величины, которые не зависят от других величин ни при каких обстоятельствах? То есть такие основные величины, которые выбраны самой Природой, без всяких условностей.

Другое дело, выбор основных единиц при унификации единиц. В этом

случае важно, чтобы основными единицами физических величин были такие, которыми было бы удобно пользоваться, то есть удобно, точно и экономично измерять. Иная ситуация при систематизации физических величин, здесь необходимо, чтобы основные физические величины были такими, для которых в Природе отсутствуют уравнения связи (определяющие уравнения). И в этом случае никакие практические соображения не должны влиять на то, что следует считать основными физическими величинами. Скажем так: если речь идет о систематизации физических величин, то слово “условно” следует изъять из определения основной физической величины. Это слово важно только для систем единиц.

Итак, для систем величин предлагается такое определение: ***основная физическая величина - это величина, для определения которой отсутствует определяющее уравнение.*** Это величина, не зависящая ни от каких других физических величин.

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). Эти примеры свидетельствуют о том, что при составлении систем единиц не всегда соблюдаются правила системного подхода. В той же статье сказано: “*Выбор числа единиц, принимаемых за основные, и самих этих единиц произволен.*” То есть какая-либо закономерность при выборе основных физических величин для систем единиц отсутствует.

Международная стандартизация единиц измерений, начавшаяся исторически как унификация мер и весов, так и осталась унификацией, только поднялась на современный уровень. Наличие международных соглашений еще не говорит о том, что существует систематизация единиц измерений. 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.

### **К вопросу о делении основных величин на естественные и условные**

Соображения, приведенные выше, заставляют делить основные физические величины и основные единицы величин на две категории: естественные и условные основные величины.

Развивающаяся уровневая физика “не понимает“ равноправия физических величин. Системный подход – одна из основ уровневой физики – требует придерживаться прежде всего принципа причинности. А следствием принципа причинности является принцип последовательности: то, что находится на более низком иерархическом уровне, должно определяться тем, что находится на более высоком иерархическом уровне. И только те физические величины, которые характеризуют свойства материи, которые находятся на самом высоком иерархическом уровне, заслуживают того, чтобы именно их считали основными. А уж в каких единицах будет их измерять человек, – для Природы это совершенно безразлично.

Исходя из этого, физические величины, которые находятся на самом высоком иерархическом уровне и, следовательно, не имеют определяющих уравнений, будем называть **естественными основными величинами**.

А те производные величины, которые по практическим соображениям принято условно считать основными величинами, будем называть **условными основными величинами**.

Естественные основные физические величины существуют независимо от того, станем мы их измерять или нет, – это характеристики свойств Природы. Их **набор** (на греческом языке **базис**) наука обязана установить. Любые соображения и действия при выявлении базиса основных физических величин не могут относиться к разряду волевых событий, даже если такие события имеют форму международных конференций. Волевой подход при систематизации физических величин может привести только к бессистемности, чьи признаки мы, собственно говоря, и наблюдаем сейчас, когда анализируем списки основных единиц в системах единиц.

### **О понятиях “основные величины“ и “единицы основных величин“**

В метрологии широко применяются термины “основные единицы“ или “единицы основных величин“. Л.Брянский ограничивается термином “основные единицы“, и он характеризует их так: “*Основная роль основных единиц – образование единиц производных, определение их размеров и размерностей. А главное требование к ним – минимально возможное число и возможность воспроизведения их значений с требуемой точностью.*“ Заметим, что к естественным основным

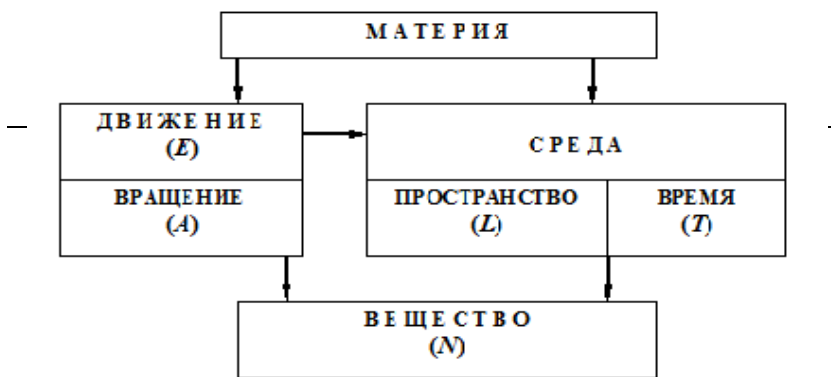
величинам эти два требования не предъявляются. Набор естественных основных величин существует объективно, конкретное число естественных основных величин определено, к нему не могут применяться слова “минимальное” или “максимальное”. Точность измерения естественных основных величин не может влиять на их набор.

Во избежание терминологической путаницы нельзя также смешивать два понятия: основные величины и единицы основных величин (основные единицы). Основные единицы при унификации единиц измерений можно выбирать условно, свобода их выбора не ограничена. Как и свобода увеличения или уменьшения числа основных единиц до тех пор, пока это будет сочтено целесообразным и экономически оправданным. А естественные основные величины существуют объективно, вне зависимости от воли человека. О том, какие физические величины предлагаются на роль естественных основных, будет рассмотрено в разделе, посвященном энергодинамической системе величин ЭСВ.

### **О количестве основных физических величин**

**Число основных физических величин**, как считает К.Широков, обычно определяется путем вычитания числа уравнений связи между физическими величинами из общего числа этих величин. Правда, он указывает и на то, что “*такой способ не всегда дает однозначный результат*”. По нашему мнению, эта неоднозначность результата – признак того, что либо число основных величин выбрано неверно, либо в число уравнений связи включены такие уравнения, которые дублируют друг друга. 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. Этот тезис подтвержден и исследованиями И.Ш. Коганом. Известен пример, когда в **СИ** одинаковую размерность имеют такие различные физические величины, как вращающий момент и энергия. Этот недостаток исчез в системе величин **ЭСВ** после того, как в число естественных основных величин был добавлен угол поворота. Другой пример: бессистемность в размерностях и единицах физических величин, применяемых при описании колебаний и волн, была устранена после того, как в число естественных основных величин **ЭСВ** было добавлено число структурных элементов, которое в разделе



“колебания и волны” выглядит в виде числа периодов колебаний или числа волн (И.Коган).

В большинстве систем единиц, а их в истории метрологии насчитывается около полутора десятка, число основных единиц равнялось трем или четырем, но в XX веке в СИ оно достигло семи за счет условных основных единиц. По моему мнению, число естественных основных величин (число естественных основных единиц) должно равняться **пяти**. Именно такое число представлено в разделе, посвященном числу естественных основных величин, оно же существует и в системе величин ЭСВ. Это же число естественных основных величин (пять) представлено К.Томилиным после анализа истории создания естественных систем единиц. Нам представляется, что это число не будет превышать пяти. Время покажет, насколько это суждение справедливо.

Заметим, что число 5 не накладывает никаких ограничений на общее число основных единиц в системах единиц, так как при создании систем единиц допускается введение условных основных единиц.

## 2.2.5. Естественные основные величины

Основные требования, предъявляемые к физической величине, для того, чтобы ее можно было считать основной, зависят от того, что систематизируется : физические величины или их единицы. Различие между системами величин и системами единиц описаны И.Коганом. Для систем единиц основные единицы выбираются условно, исходя из практических соображений. Для систем величин основная величина - это величина, для которой отсутствует определяющее уравнение. Это величина, не зависящая ни от каких других величин.

Как было показано ранее, **естественные основные величины** должны характеризовать 5 физических категорий, входящих во всеобъемлющее

понятие “материя“, то есть: движение материи, пространство, в котором движется материя, время, определяющее темп движения, угол поворота, характеризующий вращательное движение, и вещество, как конгломерат объектов, концентрирующих материю. Это отражено на приведенной ниже схеме. В круглых скобках указаны предлагаемые символы размерностей естественных основных величин.

Может возникнуть вопрос: почему на схеме движение раскрывается через вращение, а не через прямолинейное движение. В разделе, посвященном условию реальности, одному из основных условий успешной систематизации физических величин, показано, что прямолинейное движение в природе является частным случаем движения по криволинейной орбите, когда радиус кривизны траектории движения становится настолько большим числом, что траектория представляется наблюдателю прямой линией.

Но дело не только в этом. Строение всех материальных объектов обусловлено их вихревой природой, то есть связано именно с вращательным движением.

### **Выбор совокупности естественных основных величин (базиса системы величин)**

В основе выбора совокупности естественных основных величин лежит представление о движении материи, как о механическом движении материальных объектов на любом уровне их рассмотрения. Согласно **современным представлениям к материальным объектам относятся как массивные, так и безмассовые частицы, а также физические поля.**

Для замкнутых систем (см. классификацию термодинамических систем) существуют особые функции координат и скоростей, называемые **интегралами движения**. Слово “интеграл“ в переводе на русский язык означает “целое“. То есть интегралы движения характеризуют физическую систему в целом.

Среди них выделяют три особых интеграла движения, обладающие **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** (три физические величины)

называются энергией, импульсом и моментом импульса, именно они **сохраняются** неизменными.

В основе сохранения движения, количественно характеризуемого **энергией** (символ размерности  $E$ ), лежит однородность времени, характеризуемого **длительностью** процесса движения системы (символ размерности  $T$ ). В основе **сохранения импульса** лежит однородность пространства, характеризуемого **протяженностью** (символ размерности  $L$ ). В основе **сохранения момента импульса** лежит **изотропия пространства**, понимаемая в том смысле, что поворот системы, характеризуемый **углом поворота** (символ размерности  $A$ ), не отражается на свойствах системы. Вот почему эти четыре физические величины являются естественными основными при систематизации величин.

В разделе, посвященном законам сохранения, показано, что базовым является закон сохранения энергии и что закон сохранения импульса и закон сохранения момента импульса вытекают из него в качестве частных случаев. По этой причине последовательность расположения символов размерностей трех естественных основных величин в формуле размерности должна быть такова:  $E, L, A$ . Что касается символа размерности времени  $T$ , то его следует ставить в конце формулы размерности, так как временным изменениям подвержены все физические величины.

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 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. Это и будет **элементарный объект пятой естественной основной величины**. Все остальные материальные объекты данного уровня состоят из целого **числа структурных элементов** этого уровня (символ размерности  $N$ ).

При уменьшении значений характеристик элементарных материальных объектов ниже значений фундаментальных физических констант данного уровня материальные объекты переходят на другой иерархический уровень с другими значениями фундаментальных физических констант. Однородность структурных элементов лежит в основе законов сохранения элементарных частиц, например, в основе закона сохранения электрического заряда. В качестве примера применения уровневого подхода приведем переход от подуровня (в уровне “Частицы”) с легкими и высокоэнергичными объектами типа нейтрино и фотонов к подуровню с более тяжелыми и менее энергичными объектами типа электронов, протонов и нейтронов.

Символ размерности числа структурных элементов  $N$  должен располагаться в формуле размерности после символов  $E, L, A$ , так как переходы с уровня на уровень не меняют всеобщности движения, характеризующего энергией, протяженностью и поворотом.

Всё сказанное является обоснованием того, что естественной системой величин должна быть принята **ELANT-система величин**. Такая система величин названа И.Коганом **энергодинамической**, поскольку в ее основе лежат энергия и движение, то есть динамика. О том, как эта проблема рассматривалась в физике в разные периоды времени, более детально обсуждается в разделах, посвященных движению, энергии, протяженности, длительности, углу поворота и числу структурных элементов.

### **Об основных единицах в Международной системе единиц СИ**

Во всех системах единиц приняты другие совокупности основных физических величин, в которые наряду с естественными физическими величинами включены **условные основные величины**. Например, во всех системах единиц условной основной величиной является масса, так как масса является производной от энергии величиной. В разделе, посвященном рассмотрению вопроса о целесообразности **замены массы** в качестве основной величины энергией, показано, по каким причинам до сих пор эта замена еще не осуществлена.

В СИ имеются также 4 условные основные величины. **Это сила электрического тока, термодинамическая температура, сила света и количество вещества**. Причины такого выбора совокупности основных величин подробно анализируется в разделе, посвященном условным основным величинам.



В частности, термодинамическая температура и сила света являются производными величинами от энергии. Сила электрического тока введена в СИ для того, чтобы избежать дробных показателей в степенях размерностей. А введение в качестве основной величины количества вещества с единицей моль является просто ошибкой, о чем указывается в разделе, посвященном числу структурных элементов.

Напомним, что введение в любую систему единиц любой производной величины в качестве условной основной разрешается стандартом. Лишь бы было удобно и экономично измерять и создавать удобные измерительные эталоны. На этом построена вся практическая метрология. В отличие от систем единиц системы величин не допускают условности при выборе совокупности основных величин, поскольку в наличии измерительных эталонов не нуждаются.

### **2.2.6. Расширение определения понятия "Закон сохранения энергии".**

#### **Определения энергии как физической скалярной величины**

Согласно БСЭ энергия (от греч. *energeia* – действие, деятельность) – это *“общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи. Понятие энергии связывает воедино все явления природы”*. Слова *“количественная мера движения”* подчеркнуты нами.

В метрологическом справочнике А.Чертова определение энергии конкретизируется: *“Энергия – скалярная физическая величина, являющаяся общей мерой различных форм движения материи”*. В этом определении уже появился термин *“форма движения”*, краеугольное понятие *“Общей теории”* А.Вейника, но без ссылки на него. Согласно определению А.Чертова энергия является общей мерой движения. Но тогда она должна характеризовать движение материи еще и качественно.

В работе А.Вейника, основателя энергодинамики, сказано примерно то же самое: *“самой общей и вместе с тем наиболее естественной (и простой) характеристикой движения является энергия”*. Основываясь на вышеприведенных определениях, И.Коган предложил считать энергию основной физической величиной при систематизации

физических величин и подтвердил это предложение в работах.

Подобная точка зрения подтверждена сторонником уровневой физики В.Пакулиным: *“Энергия – единственная универсальная для всех уровней величина, которая сохраняется при всех взаимопревращениях”*. Обоснованность этой единственности подтверждается также В.Эткиным: *“... если в механике энергия рассматривается в качестве одного из интегралов движения, то в энергодинамике она становится основной величиной, вводимой на основании опыта”*. В работе В.Эткина говорится, что *“... энергия становится количественной мерой всех (упорядоченных и неупорядоченных, внешних и внутренних, полезных и диссипативных) работ, которые может совершить система”*.

Но у энергии как физической величины в том виде, в каком она трактуется в физике и метрологии, имеется недостаток, мешающий ей стать “общей мерой различных форм движения материи” (А.Чертов. Энергия, как физическая скалярная величина, характеризует движение только количественно. Но что тогда должно характеризовать материю качественно?)

### **Энергия как модуль физической векторной величины “движение”**

Поскольку энергия является мерой движения материи, был произведен экскурс по словарям для выяснения содержания самого термина “движение”. Оказалось, что это понятие не имеет общепринятого определения.

В Философском словаре и Большом энциклопедическом словаре термин “движение” (без всяких дополнений к нему) вообще не определяется. В интернет-энциклопедии Википедия приводится ничего не определяющее определение: *“Философская категория, отражающая любые изменения в мире”*. В Большой Советской Энциклопедии не намного лучшее определение: *“Способ существования материи, важнейший её атрибут”*. В словаре Грамота.ру туман несколько проясняется: *“Необходимое условие существования материи, её всеобщее неотъемлемое свойство; непрерывное изменение и развитие материального мира”*. И, наконец, относительно внятное определение 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

не

просто.

С точки зрения физики движение является главным свойством материи. Движение можно рассматривать относящимся к любому физическому явлению. И как свойство материи движение является физической величиной, характеризующей материю. Действительно, напомним взятое из стандарта определение физической величины: “*физическая величина (величина) – свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта*”. Движение, как свойство материи, вполне отвечает этому определению.

При этом движение характеризует материю и количественно, и качественно, то есть по направлению. Мы полагаем, что направление движения и есть качественная характеристика движения. Из этого рассуждения следует, что движение в качестве физической величины является векторной величиной.

Выше было сказано, что энергия  $W$  характеризует движение только количественно. Нет в общепринятых определениях энергии указаний по поводу направления движения, энергия считается скалярной величиной. В то же время в физике имеются векторные величины, физическое содержание которых соответствует удельной энергии, например, вектор Пойнтинга и вектор Умова. Не логично ли считать и саму энергию векторной величиной  $\mathbf{W}$ , направление вектора которой характеризует направление движения? А модулем величины  $\mathbf{W}$  является та скалярная величина  $W$ , которую сейчас принято считать энергией. Ну а символу размерности энергии меняться незачем, пусть им остается буква  $E$ .

С другой стороны, если считать движение физической векторной величиной, то именно движение и должно обозначаться символом  $\mathbf{W}$ . Тогда скалярная величина энергия  $W$  будет не чем иным, как модулем движения. Серьезным возражением против этого является довод, что у векторной величины и ее модуля названия обычно одинаковы (исключения из этого правила бывают очень редко). Однако если следовать этому правилу, то главное свойство материи (форму существования материи) надо называть энергией, а не движением. Либо, в качестве еще одного варианта, энергию переименовать в движение. Привычнее всего выглядит такая пара терминов:  $\mathbf{W}$  и энергия  $W$ .

Эти рассуждения выглядят необычно, хотя найти обоснованные возражения не просто. В разделе, посвященном разъяснению физического содержания величины “действие”, введенной Р.Фейнманом, данная точка зрения приводит к интересным результатам. Впрочем, до реального воплощения в жизнь предложений автора статьи ждать, видимо, придется еще долго.

### **Поток энергии – векторная величина**

В разделе, посвященном условию направленности, показывается, что энергетическое воздействие на физическую систему может быть векторной величиной. Покажем, что такая точка зрения не противоречит современной физике.

Например, **поток энергии** волновой формы движения в упругой среде  $\Phi$  (И.Савельев) считается скалярной величиной и определяется уравнением

$$\Phi = dW/dt. \quad (1)$$

После приведения уравнения (1) указывается формула для определения поверхностной плотности потока энергии

$$j = d\Phi/dS, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения потока. Наконец, после преобразований уравнение (2) приобретает вид

$$j = wv, \quad (3)$$

где  $w$  – объёмная плотность энергии, а  $v$  – фазовая скорость волны. Далее учитывается направленность волнового движения, и фазовую скорость на этот раз вполне обоснованно считают вектором  $\mathbf{v}$ , что на основании уравнения (3) приводит к появлению вектора плотности потока энергии  $\mathbf{j}$ . Этот вектор и называется **вектором Умова**

$$\mathbf{j} = w\mathbf{v}. \quad (4)$$

Но ведь фазовая скорость  $\mathbf{v}$  изначально была векторной величиной. Значит, и плотность потока энергии  $\mathbf{j}$  изначально являлась вектором. Выходит, что и сам поток энергии  $\Phi$  тоже должен быть вектором

изначально. И поэтому определяющее уравнение для потока энергии должно выглядеть не в виде уравнения (1), а в виде уравнения:

$$\Phi = d\mathbf{W}/dt . \quad (5)$$

Как видим, уравнение (5) подтверждает векторный характер приращения энергии  $d\mathbf{W}$ . А коль скоро приращение величины является вектором, то и сама величина тоже является вектором.

### **Закон сохранения энергии вытекает из закона сохранения движения**

Важнейший вывод из сказанного выше: закон сохранения энергии следует трактовать более расширенно, нежели сейчас. Закон сохранения энергии следует считать следствием закона сохранения движения. Из закона сохранения движения следует, что ***при движении материальной системы должно сохраняться как количество энергии, определяемое скаляром  $W$ , так и направление движения, определяемое вектором  $\mathbf{W}$*** .

В соответствии с такой трактовкой закона сохранения движения любое спонтанное изменение направления движения одной части системы должно сопровождаться аналогичным изменением направления движения другой части системы в другую сторону таким образом, чтобы суммарное количество энергии физической системы и ее направление движения остались прежними.

Естественно, что под направлением движения понимается не только направление прямолинейного движения, но и направление вращательного движения. В частности, на законе сохранения движения основано, например, одновременное возникновение двух разнонаправленно вращающихся вихрей с одинаковым количеством энергии вращательного движения.

Что касается закона сохранения импульса и закона сохранения момента импульса, как векторных величин, то они вытекают в качестве частных случаев именно из закона сохранения движения как векторной величины, а не являются независимыми законами Природы.

## 2.2.7. О физическом содержании физической величины “действие”

### Определения понятия “действие” как физической величины

Понятие “действие” было введено вначале в механику, где оно отождествляется с импульсом силы. Как самостоятельную скалярную физическую величину **действие** ввел в физику Р.Фейнман. Как указывается в Интернет-энциклопедии Википедия, “*действие в физике – одна из наиболее фундаментальных физических величин, входящая в современную формулировку большинства основных физических теорий во всех фундаментальных разделах физики*”. Скалярная величина “действие” обозначается символом  $S$ .

Приведем также определение этой величины по метрологическому справочнику А.Чертова: “*Действие – физическая величина, имеющая размерность произведения импульса на перемещение или энергии на время*”. Согласно этому определению размерность действия в СИ –  $L^2MT^{-1}$ , а единица действия равна Дж·с.

Однако обе приведенные словесные формулировки не дают представления о физическом содержании действия как физической величины.

### Физическое содержание понятия “действие” как скалярной величины

Обобщенный физический смысл действия  $S$  вытекает из его определяющего уравнения:

$$S = \int L_n(q_n, dq_n/dt, t) dt \quad (1)$$

где  $n$  – число координат состояния физической системы;  $q_n$  – координата состояния  $n$ -ой непроточной формы движения в системе;  $dq_n/dt$  – координата состояния  $n$ -ого процесса в проточной форме движения в системе;  $L_n$  – функция Лагранжа, имеющая в данном случае смысл суммы энергетических воздействий  $dW_n$  на все формы движения физической системы. То есть  $L_n$  имеет размерность энергии, а выражение в скобках безразмерно.

Уравнение (1) дает возможность сформулировать физическое содержание действия как физической величины следующим образом: **действие  $S$  – это суммарное количество энергии  $W_{\Sigma}$ , воздействующее на физическую систему в течение определенного промежутка времени  $dt$ .** Поэтому уравнение (1) можно записать и в таком виде:

$$S = \int_t ( \int_n dW_n ) dt = \int_t W_{\Sigma} dt . \quad ( 2 )$$

В классической механике вводят понятие “упрощенное действие“, которое соответствует действию при прямолинейном движении и определяется уравнением:

$$S_0 = \int_t \mathbf{p} \mathbf{v} dt , \quad ( 3 )$$

где  $\mathbf{p}$  – вектор импульса частицы (тела);  $\mathbf{v}$  – скорость прямолинейного движения частицы (тела). Упрощенное действие может соответствовать и вращательному движению, при котором оно определяется уравнением:

$$S_0 = \int_t \mathbf{L}_z \boldsymbol{\omega} dt , \quad ( 4 )$$

где  $\mathbf{L}_z$  – вектор собственного углового момента частицы (тела);  $\boldsymbol{\omega}$  – вектор собственной угловой скорости вращения частицы (тела). Наконец, в квантовой механике определяющие уравнения для действия выглядят более просто:

$$S = h\nu \quad ( 5 )$$

и

$$S = \hbar\varphi , \quad ( 6 )$$

где  $\hbar$  – постоянная Планка;  $\nu$  – частота волновой функции;  $\hbar = h/2\pi$  – редуцированная постоянная Планка;  $\varphi$  – фаза волновой функции.

**Физическое содержание понятия “действие“ как векторной величины**

В разделе, осяцающем основное свойстве материи, данное нам Природой, мы пришли к выводу, что им является “**движение**“  $\mathbf{W}$  как векторная величина, модулем которой является скалярная величина “энергия“  $W$ . А в разделе, посвященной выбору комплекта основных величин, установлено, что энергия, является естественной основной физической величиной.

Если теперь подставить в уравнение (2) вместо скалярной величины “энергия“  $W$  векторную величину “энергия“  $\mathbf{W}$ , то мы приходим к определяющему уравнению для “действия“ уже как векторной величины  $\mathbf{S}$ :

$$\mathbf{S} = \int_t \mathbf{W} dt. \quad (7)$$

Приведем известное в классической механике уравнение для определения **импульса** **силы**

$$\mathbf{S} = \int_t \mathbf{F} dt, \quad (8)$$

а также уравнение для определения приращения импульса вращающего момента при вращении:

$$\mathbf{S}_M = \int_t \mathbf{M} dt. \quad (9)$$

Простое сравнение уравнений (8) и (9) с уравнением (7) позволяет говорить о том, что вектор  $\mathbf{S}$  из уравнения (7) можно назвать **импульсом движения** или **импульсом энергии**. Действительно, если разделить обе части уравнения (7) на величину с размерностью длины, то мы придем к уравнению (8) для определения импульса силы. А если разделить на величину с размерностью угла поворота, тогда мы придем к уравнению (9). Размерность импульса движения, судя по уравнению (7), та же, что у действия как физической величины.

В разделе, посвященном условию однозначности, сказано, что одна и та же размерность и один и тот же символ должны принадлежать физическим величинам одной и той же природы и с одним и тем же обобщенным определяющим уравнением, независимо от их принадлежности к разным формам движения и к разным формам физического поля. Иными словами, **действие как физическая векторная величина – это импульс движения (импульс энергии) как физической векторной величины**. А та скалярная величина “действие“, которую ввел Р.Фейнман, является модулем этой



векторной

величины.

Поэтому приращение импульса силы  $d\mathbf{S}$  и равное ему приращение импульса  $d\mathbf{p} = m d\mathbf{v}$ , а также приращение импульса момента  $d\mathbf{S}_M$ , действующего на тело, движущееся по криволинейной траектории, и равное ему приращение момента импульса  $d\mathbf{L} = R d\mathbf{p}$  ( $R$  – радиус кривизны траектории движения частицы) являются частными случаями приращения действия  $d\mathbf{S}$  в механике при прямолинейном и вращательном движениях.

Квантом действия  $\mathbf{S}$ , как векторной величины, является векторная величина  $\mathbf{h}$ , модулем которой является фундаментальная физическая константа, которую называют постоянной Планка  $h$ . Так что постоянная Планка является такой же векторной величиной, как и действие.

### **О принципе наименьшего действия**

Дополнительный текст к определению действия из словарной статьи БСЭ гласит: *“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“*. Этот текст поясняет **принцип наименьшего действия**.

Интернет-энциклопедии Википедия дает такое определение: *“Принцип наименьшего действия Гамильтона, точнее принцип стационарности действия — способ получения уравнений движения физической системы при помощи поиска стационарного (часто — экстремального, обычно, в связи со сложившейся традицией определения знака действия, наименьшего) значения специального функционала — действия“*.

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“*.

Уравнение (7) позволяет по-новому взглянуть на физическое содержание принципа наименьшего действия. Оно заключается в том, что движение физической системы стремится не просто к движению с

наименьшим значением его модуля (энергии  $W$ ) или к наименьшему промежутку времени движения  $dt$ , а к наименьшему значению произведения  $Wdt$ , то есть к наименьшему возможному изменению действия  $dS$ , как импульса движения.

## **2.2.8. Энергия как основная физическая величина**

**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. Заметим, что все системы единиц, в которых масса является основной физической величиной, предназначены для практического использования в земных условиях, то есть имеют чисто утилитарное значение.

В разделе, посвященном унификации единиц измерений, достаточно подробно описана история этого процесса. Отметим, что для определения массы пользуются до сих пор эталоном веса, пересчитываемого в массу, но в современной физике признается принцип эквивалентности гравитационной и инертной масс, который трактуется как принцип равенства этих масс. В разделе, посвященном принципу эквивалентности масс, показано, что такая трактовка безосновательна. Высокая точность равенства измеренных значений еще не означает идентичность физического содержания. Так что уже сама двойственность понятия "масса" ставит под вопрос обоснованность того, чтобы принять единицу массу в качестве единицы основной величины при систематизации физических величин, а не систем единиц.

В физике существует общепринятое представление о том, что вечное движение материи обеспечивает закон сохранения импульса, а в уравнение этого закона в качестве сомножителя входит инертная масса. Однако, во-первых, в разделе, посвященном закону сохранения импульса, показано, что этот закон вытекает из закона сохранения энергии в качестве его частного случая. А, во-вторых, импульс имеется

и у безмассовых частиц. Так что и этой точки зрения масса не обязана являться основной физической величиной в системе величин.

### **Почему в системах величин энергия должна стать основной величиной взамен массы?**

Для такой физической величины, как энергия, являющейся количественной мерой движения, нет определяющего уравнения. Определяющие уравнения имеются лишь для отдельных форм и видов энергии, которые, в отличие от энергии, как характеристики движения в целом, являются производными величинами.

Идея включить в состав основных физических величин энергию была высказана еще 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.”*

А.Вейник, основатель энергодинамики, утверждал, что *“самой общей и вместе с тем наиболее естественной (и простой) характеристикой движения является энергия”*. В.Эткин повторяет это 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 сторонник уровневого подхода в физике В.Пакулин: *“Энергия – единственная универсальная для всех уровней величина, которая сохраняется при всех взаимопревращениях”*.

В отличие от энергии, как основной величины, разные виды энергии являются производными величинами, и они имеют свои определяющие уравнения. Например, потенциальная энергия и кинетическая энергия в метрологическом справочнике А.Чертова обозначаются даже собственными символами –  $\Pi$  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 инертную массу  $m$  можно рассматривать, как производную величину по отношению к энергии покоя, то есть  $m = E_0/c^2$ . Сама же энергия покоя является составляющей полной

энергии  $E$  движущейся массивной частицы, то есть частицы, обладающей инертной массой. Второй составляющей полной энергии движущейся массивной частицы является ее кинетическая энергия. Общеизвестный вид формулы Эйнштейна в записи  $E = mc^2$  является не более, чем историческим недоразумением, о чем весьма обстоятельно написал Л.Окунь.

Немаловажным аргументом в пользу необходимости замены массы энергией в качестве основной физической величины, является то обстоятельство, что энергия является аддитивной величиной, в отличие от массы, аддитивной величиной не являющейся.

В начале XX века М.Планк создал естественную систему единиц, интересной 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 является Дж/К, а единицей инертной массы является Дж·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Последнее говорит о том, что в любой системе единиц можно заменить единицу массы единицей энергии в качестве единицы основной величины.

В работе К.Томилина, посвященной фундаментальным физическим константам, приводится таблица, обобщающая все известные на сегодня естественные системы единиц. В них основной единицей является не просто масса, а масса электрона, измеряющаяся в атомной физике и в физике высоких энергий в единицах энергии (в электрон-вольтах). К.Томилину делает обоснованный прогноз о том, что масса электрона вскоре будет заменена одной из четырех констант, каждая из которых измеряется в единицах энергии.

### **Практические шаги по введению энергии в качестве естественной основной физической величины**

В качестве основной величины в систему физических величин энергию впервые, по-видимому, ввел И.Коган в виде работы силы, предложив в качестве символа размерности энергии букву  $E$ . Но затем он пришел к выводу, что работа силы является энергетическим воздействием на систему 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

создал энергодинамическую систему физических величин (ЭСВ). В том же ключе выдержана работа Д.Ермолаева, в которой он также считает энергию основной физической величиной. В качестве основной величины энергия появилась также в работе Д.Конторова.

По мнению И.Когана, в том виде, в каком энергия трактуется в современной физике, у нее имеется один недостаток, мешающий ей считаться основной физической величиной. Она характеризует движение только количественно. Нет в общепринятых понятиях термина “энергия“ признаков, указывающих на направление движения. В то же время в физике имеются векторные величины, физическое содержание которых соответствует удельной энергии (например, вектор Пойнтинга, вектор Умова). В разделе, посвященной движению и энергии, показано, что энергию следует трактовать, как векторную величину, а то, что сейчас понимается под термином “энергия“, следует считать модулем этой векторной величины.

### **2.2.9. Длина, время и угол поворота как естественные основные физические величины**

#### **Длина и время как естественные основные физические величины**

История создания систем единиц показывает, что в них с самого начала в качестве основных величин фигурировали длина с размерностью  $L$  и время с размерностью  $T$ . В системах единиц они остаются основными и сейчас.

Системы физических величин начали создаваться в середине XX века. Особое место среди них занимает программная статья Р.О.ди Бартини, в которой длину и время предложено было считать единственными основными величинами. Р.Бартини создал ЛТ-систему величин, интерес к которой, как и число последователей, все время возрастают. И.Коган отрицательно относится к любому варианту ЛТ-системы величин и в разделе, посвященном системе Бартини, он аргументирует свою позицию.

ЛТ-системы величин (например, В.Васильев, В.Ерохин,) базируются на принципе эквивалентности инертной и гравитационной масс. Этот принцип говорит о равенстве значений этих двух видов массы, подтвержденном в земных условиях с высокой точностью. Но этот принцип не утверждает идентичность физического содержания этих

двух видов массы и равенства их размерностей, хотя на этом базируются все ЛТ-системы величин. В разделе, посвященном принципу эквивалентности, показывается, что инертная и гравитационная массы – это две различные физические величины. А в статье Г.Трунова утверждается, что термин “инертная масса“ нужно вообще упразднить.

О недопустимости базирования физики только на размерностях длины и времени, то есть о бесплодности попыток создания ЛТ-систем величин, убедительно сказано в работе О.Репченко: “*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.*“

### **Угол поворота как естественная основная физическая величина**

В физике рассматривают обычно отдельно прямолинейное и вращательное движение. Но прямолинейного движения в Природе нет, искривляются даже траектории фотонов (лучи света). Прямолинейным является лишь кратчайшее расстояние между двумя точками. В математике тоже имеются прямолинейные отрезки, но математика - наука умозрительная, она не обязана подчиняться законам Природы.

Автор вихревой модели строения вещества В.Пакулин выражается еще более обобщенно следующим образом: “... *устойчивость мироздания основана на динамическом равновесии при вращении объектов*“, “*основополагающим свойством элементов микромира является вращение*“. В его модели строения вещества все устойчивые частицы представляют собой вращающиеся объекты. **Вещество возникает только вследствие флуктуаций неупорядоченного движения материальных образований полевой среды, приводящих к возникновению вихревого вращательного движения.**

Движение по прямой линии является частным случаем движения по дуге окружности, центр которой удален от траектории движения на достаточно большое расстояние. Так что в общем случае **энергию следует рассматривать как характеристику вращательного движения.** Именно это и отражается схематично разделе, посвященном выбору совокупности основных физических величин.

Вращение, как составляющая часть движения на любом уровне, является инвариантной категорией, и его основная характеристика на этом основании должна быть **естественной основной физической величиной**. В качестве такой характеристики и включен **угол поворота** в систему величин ЭСВ с символом размерности А.

Доказательство того, что угол поворота является основной физической величиной, освещено в отдельном разделе, в котором, в частности, показано, что для угла поворота нет в физике определяющего уравнения. А те уравнения, которые имеются и на которые ссылаются, относятся **к математике, а не к физике**, и не соответствуют определению плоского угла, в единицах которого измеряется угол поворота.

### **2.2.10. Основная физическая величина - число структурных элементов**

В систему физических величин ЭСВ введена естественная основная физическая величина – число структурных элементов – со своей размерностью и своей единицей. Это приводит к метрологической упорядоченности в молекулярной физике, в колебаниях и волнах, в квантовой механике, в информатике.

#### **Как понимать число структурных элементов**

Термин **”число структурных элементов”** не является новым словом в метрологии. Например, в системе единиц **СИ** имеется единица основной величины, называемой **”количество вещества”**, в определение которой входит понятие **”число структурных элементов”**. Число структурных элементов является основной величиной в экономике. Не новым является и символ размерности этой величины **N**.

Согласно современным физическим представлениям, вещество и поле, как составные части материи, квантованы. Квантуемость присуща всем уровням существования материи. Следовательно, материя структурирована на элементарные частицы и порции энергии, которые можно назвать структурными элементами материи. И.Коган показывает, что число структурных элементов является естественной основной физической величиной, хотя и несколько в ином качестве, чем в **СИ**. Единица этой основной величины имеет значение, равное только целому положительному числу. Ее предлагают назвать, в





### Число структурных элементов в молекулярной физике

После ознакомления с определениями, приводимыми в метрологии молекулярной физики по поводу понятия "число структурных элементов", становятся заметными явные недоразумения. В СИ условной основной физической величиной, имеющей размерность, которой присвоен символ  $N$ , является количество вещества  $n$ . Оно определяется по формуле

$$n = N/N_A, \quad (1)$$

где  $N$  – искомое число элементов однородной системы;  $N_A$  – число атомов в 0,012 кг изотопа углерода-12 (**число Авогадро**).

А теперь рассмотрим определение количества вещества в метрологии (А.Чертов): *"Количество вещества  $n$  – физическая величина, равная числу структурных элементов, составляющих систему"*. Но из уравнения (1) вовсе не следует, что  $n$  равно числу структурных элементов. Напротив, количество вещества  $n$  равно отношению двух чисел структурных элементов, оно является критерием подобия, который может принимать нецелые значения.

Количество вещества  $n$ , как критерий подобия  $n$  к числу структурных элементов имеет лишь опосредованное отношение. Фактически же размерность  $N$  в СИ присвоили безразмерной величине, а единица этой величины (моль) измеряет численное значение критерия подобия.

Далее, согласно ГОСТ 16263-70 *"Основная величина – физическая величина, входящая в систему величин и условно принятая в качестве не зависящей от других величин этой системы"*. Однако, количество вещества  $n$  имеет определяющее уравнение (1), к тому же оно зависит от массы (0,012 кг), присутствующей в числе Авогадро. Значит, количество вещества  $n$  не соответствует стандартному определению основной величины. В статье М.МакГлашана указано, что величина "количество вещества" вообще неудачно названа.

А вот настоящее число структурных элементов  $N$  из уравнения (1) ни размерностью, ни единицей в СИ не обладает. Зато другое число структурных элементов, такое же, как  $N$ , только имеющее фиксированное значение, то есть число Авогадро  $N_A$ , имеет в СИ размерность  $N^{-1}$  и единицу моль<sup>-1</sup>. Налицо полное пренебрежение логикой. И вытекает это алогичное решение из двух слов,

присутствующих в стандартном определении основной величины: "условно принятая". Как будто условно можно принимать алогичные решения.

При систематизации физических величин подобное решение противоречит еще и условию показателей степени, которое говорит о недопустимости существования величины с размерностью основной физической величины в отрицательной степени. А с числом Авогадро в **СИ** именно такое и произошло. При этом в системе величин **ЭСВ** размерность  $N$  относится именно к величине "число структурных элементов", какой являются и число  $N$ , и число Авогадро  $N_A$  из уравнения (1). И единицей основной величины "число структурных элементов" должна служить, например, шт. (штука).

Приведем два мнения химиков-практиков. Первое взято из памятки, разработанной В.Дайнеко и др.: "Естественная единица измерений числа частиц **штука** пока не узаконена. В результате эта величина оказывается ... безразмерной, а постоянная Авогадро имеет абсурдную единицу измерений моль<sup>-1</sup> (чего "на моль"?). Во втором мнении (Г.Прайс) указывается, что количество вещества в **СИ** – это излишняя величина, что ее лучше представить в виде "числа элементов", что моль в **СИ** не имеет отношения к практическим химическим измерениям и вызывает серьезную путаницу у химиков и дополнительные расходы в развитых странах.

### **Число структурных элементов в периодических процессах**

Рассмотрим квантуемый периодический процесс, под которым понимается периодический процесс, состоящий только из целого числа периодов. Разве отдельно взятый период колебаний не является структурным элементом периодического процесса? Целочисленное "число периодов" вполне можно считать частным случаем "числа структурных элементов" с размерностью  $N$ . Единице "числа периодов" можно дать свое название, например, **пер** (период), как было предложено И.Коганом. Это более адекватно, чем называть периодом физическую величину "длительность периода", которая измеряется в секундах. Кто и когда предложил измерять период в единицах времени, нам неизвестно, но путаницу это породило большую.

При создании И.Коганом системы величин **ЭСВ** принято, что частота колебаний квантуемого периодического процесса определяется, как число периодов колебаний в единицу времени, то есть имеет

единицу пер/с (можно и шт/с). Подробно об этом рассказано в разделе, посвященном метрологии периодических процессов.

Процесс распространения волнового излучения, состоящего из целого числа волн, также является квантуемым периодическим процессом. Каждая отдельно взятая волна в таком процессе является структурным элементом излучения. И поэтому ничто не препятствует считать при квантуемом процессе число волн числом структурных элементов излучения. В.Эткин, например, применяет при рассмотрении теплового излучения единицу волн/м<sup>3</sup> для измерения плотности стоячих волн в абсолютно черном теле. При рассмотрении явления фотоэффекта В.Эткин применяет единицы Дж/фотон и Дж/электрон для измерения энергии, приходящейся на один фотон или на один электрон. То есть, к числу структурных элементов он относит и число фотонов, и число электронов. Однако обилие названий для одной и той же единицы числа структурных элементов, скорее всего, нерационально, это мы проанализируем далее.

### **Число структурных элементов в информатике**

Введение числа структурных элементов в качестве основной физической величины может решить проблему, по которой ведется оживленная дискуссия среди метрологов: следует ли считать физической величиной количество информации?

Информация - очень распространенное понятие, рассматриваемое в самых разных областях науки. Подробный, хотя и априорный анализ этого понятия дан в статье И.Паращенко и трудах по теории информации А.Кононюка. Предложение включить информацию в число основных физических величин было выдвинуто Д.Конторовым. Но и И.Паращенко и Д.Конторов считают информацию не понятием, а физической величиной, путая ее с количеством информации, которое и является физической величиной. Именно количество информации должно иметь свою размерность в том ее понимании, которое принято в метрологии.

Исходя из определения этого понятия в кибернетике (В.Глушков), **информация - это мера неоднородности материи, определяемая неравенством чисел структурных элементов материи на различных участках пространства и в различные промежутки времени**. Она оценивается количеством информации в виде числа структурных элементов материи. Так что и в информатике число

структурных элементов является основной физической величиной и должно входить в набор естественных основных величин.

В компьютерной технике, согласно словарю Глоссарий.ру, количество информации - это "мера оценки информации, содержащейся в сообщении". Количество информации в информатике имеет свою единицу – бит. В БСЭ **бит трактуется, как двоичная единица измерения количества информации**. В Глоссарии.ру дается 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 считается **равным 8 битам**).

Каждый бит информации соответствует определенному энергетическому состоянию технического устройства, хранящего или передающего информацию и представляющего собой физическую систему. От того, что на выходе этой физической системы имеются лишь два значения числа структурных элементов (0 или 1), представляющих собой законченный цикл в двоичной системе исчисления, ничего, в принципе, не меняется. **Раз речь идет физических системах, то их состояние должно оцениваться физической величиной**. Единственная особенность (отличие) числа структурных элементов в информатике состоит в том, что его единица имеет числовое значение не в десятичной, а в двоичной или в восьмиричной системе исчисления.

### Число структурных элементов в квантовой механике

С введением в качестве основной физической величины числа структурных элементов с размерностью N в квантовую механику меняются размерность и единица той фундаментальной физической постоянной, которую называют **постоянной Планка** и обозначают буквой  $h$ .

Как показано в разделе, посвященном определению **энергии**, постоянная Планка является квантом физической величины "действие". Физическое содержание постоянной Планка определяется в квантовой механике уравнением

$$h = \varepsilon / \nu, \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  – энергия одного кванта электромагнитного излучения;  $\nu$  – частота излучения. Таким образом, постоянную Планка можно трактовать, как количество энергии одного кванта, приходящееся на единицу частоты излучения. А число квантов – это частный случай числа структурных элементов. Поэтому энергия одного кванта  $\varepsilon$  должна иметь размерность  $\text{ЕН}^{-1}$ , а частота излучения  $\nu$ , как любая частота периодического процесса, имеет, как показано в разделе, посвященном числу периодов, размерность  $\text{НТ}^{-1}$ .

Анализ размерностей уравнения (2) показывает, что постоянная Планка  $h$  должна иметь размерность  $\text{ЕН}^{-2}\text{Т}$  и единицу  $\text{Дж}\cdot\text{с}/\text{кв}^2$ , если в качестве единицы числа структурных элементов использовать единицу кв (квант), являющуюся частным случаем единицы шт (штука). Следует признать, что из анализа размерностей (или из анализа единиц) уравнения (2) при применении единиц **СИ** невозможно сделать вывод о том, что  $\varepsilon$  – это количество энергии одного кванта. Этот вывод вытекает только при применении размерностей и единиц в системе величин **ЭСВ**, в которой единица частоты  $\nu$  равна кв/с, а единица постоянной Планка  $h$  равна  $\text{Дж}\cdot\text{с}/\text{кв}^2$ .

Интернет-энциклопедия Википедия так определяет понятие квант: ”Квант (от лат. *quantus* — «сколько») — неделимая порция чего-либо (например, энергии), минимальная единица, на которую может измениться значение физической величины”. В системе **СИ** нет единицы для структурного элемента, называемого квантом, и потому в **СИ** постоянная Планка имеет единицу  $\text{Дж}\cdot\text{с}$ .

Постоянной Планка часто называют величину  $\hbar = h/2\pi$ , называя ее также иногда постоянной Дирака или редуцированной постоянной Планка. Мы против подобной терминологической путаницы, поскольку постоянные  $h$  и  $\hbar$  в системе величин **ЭСВ** имеют разное численное значение и разные размерности и единицы. К тому же, редуцированная постоянная  $\hbar$  имеет иное определяющее уравнение, чем постоянная Планка:

$$\hbar = \varepsilon_\omega / \omega_0, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_\omega$  – количество энергии, приходящееся на один оборот радиус-вектора на координатной плоскости при применении метода векторных диаграмм, имеющее в системе величин **ЭСВ** размерность  $\text{ЕА}^{-1}$  и единицу  $\text{Дж}/\text{об}$ , а  $\omega_0$  – угловая скорость вращения радиус-вектора,

имеющая размерность  $AT^{-1}$  и единицу об/с. Редуцированную постоянную  $\hbar$ , судя по уравнению (3), следовало бы трактовать, как количество энергии, приходящееся на единицу угловой скорости радиус-вектора  $\omega_0$ . Но такая трактовка ничего не говорит о физическом содержании постоянной  $\hbar$ , ибо  $\varepsilon_\omega$  и  $\omega_0$  – это искусственно введенные в физику математические величины.

Анализ размерностей уравнения (3) показывает, что редуцированная постоянная  $\hbar$  в системе величин ЭСВ имеет размерность  $EA^{-2}T$  и единицу Дж·с/об<sup>2</sup>. Но в квантовой механике речь идет о волновых процессах, а не об однонаправленном вращении, характеризуемом углом поворота с размерностью  $A$  и единицей оборот. Поэтому, чтобы выяснить физическое содержание редуцированной постоянной  $\hbar = h/2\pi$ , необходимо искусственно придавать размерность и единицу геометрической константе  $2\pi$ , как об этом говорится в разделе, посвященном числу  $\pi$ . То есть при применении метода векторных диаграмм следует считать размерность числа  $\pi$  равной  $AN^{-1}$ , а единицу числа  $\pi$  равной об/кв.

В СИ единица редуцированной постоянной  $\hbar$  та же, что у постоянной Планка  $h$ , то есть Дж·с, так как в СИ не признаются размерности ни у числа структурных элементов, ни у угла поворота. Возможно, поэтому постоянную  $\hbar$  и называют постоянной Планка, опуская определение "редуцированная". А это дает повод для возникновения не только терминологической, но и метрологической путаницы.

При применении системы величин ЭСВ становится ясным физическое содержание постоянной Планка из уравнения (2), соблюдается правило размерностей в этом уравнении и нет никакой математической интерпретации. А редуцированную постоянную  $\hbar$  следует считать математической интерпретацией постоянной Планка  $h$ , не имеющей физического содержания.

### **Резюме по поводу числа структурных элементов и единицы для него**

Подведем итог. Практически во всех разделах физики применяется физическая величина, имеющая совершенно ясное физическое содержание: число структурных элементов однородной системы. Эта величина независима ни от каких других физических величин. Следовательно, она по определению является **основной физической величиной**. И в качестве таковой она должна иметь свою размерность,

обозначенную И.Коганом символом N. Единица числа структурных элементов имеет числовое значение, равное только целому положительному числу.

О всеобщности этой величины неоднократно появлялись статьи в метрологических журналах. Одной из первых является статья И.Миллса. Идея о введении чисел 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 макроскопического тела, принадлежит Г.Трунову. В работах А.Митрохина 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”, что подтверждается А.Митрохиным примерами. В.Ацоковский также считает, что *«единицей числа любых структурных единиц является «штука»*”.

Как показано в данном разделе, введение числа структурных элементов в качестве основной физической величины подсказывает решение целого ряда проблем. Как видно из приведенных выше примеров, вопрос о числе структурных элементов имеет значение не только для метрологии. Например, в разделе, посвященном анализу уравнения фотоэффекта А.Эйнштейна, показано, что В.Эткин обнаружил нарушение правила размерностей в этом уравнении, и лишь введение размерности числа структурных элементов позволяет соблюсти там правило размерностей. Аналогичное нарушение заметил В.Эткин и в законе излучения М.Планка. Применение размерности числа структурных элементов привело И. Когана к обнаружению нарушения анализа размерностей в современной записи уравнения закона излучения М.Планка. Исправление записи уравнения позволило, хоть и незначительно, снизить разницу между теоретическими и экспериментальными значениями постоянной Планка.

Таким образом, следует договориться о едином названии для единицы числа структурных элементов в разных разделах физики и в различных научных направлениях. Ведь единица пер (период) привязывает единицу числа структурных элементов только к теории колебаний и к волновой механике, единица кв (квант) – к квантовой механике, а единица бит – к информатике. **Единица шт (штука) объединяет все эти названия при условии, что речь идет о целых числах.**

Слово "штука" происходит из немецкого языка. В русском языке оно имеет значение "отдельного предмета из числа однородных, считаемых предметов" (Словарь Грамота-ру). Примерно такое же лексическое значение оно имеет в переводе на основные европейские языки. **Было бы действительно целесообразно применить единицу шт (штука) для всех разделов физики.** К сожалению, как указывает А.Митрохин, "В метрологической практике идут по другому пути, развивая, параллельно СИ, теорию шкал измерений, где штуке присвоен статус безразмерной естественной единицы измерения в ряду других абсолютно безразмерных величин (Л.Брянский, А.Дойников, Б.Крупин). Сразу же напрашивается следующий вопрос - а какой окажется размерность, например, у такой единицы измерения, как «штук букашек/м<sup>2</sup>», где объединены абсолютно безразмерные величины и основная физическая величина СИ?".

И.Миллс считает, что число "единица" для "количеств однородных элементов" должно рассматриваться как единица СИ, признаваясь в том, что это приведет к ревизии СИ. Он указывает на то, что такая "единица" в квантовой механике является целым числом, а в других разделах физики – нецелым числом. В последнем случае им рассматривается возможность использования для числовой единицы приставок мега-, кило-, санти-, милли-, микро-, пико- и т.п. Сложность заключается в том, что единица под названием "единица" звучит, как тавтология. Даже если учесть, что на английском языке ситуация несколько упрощается по сравнению с русским языком, там единица измерений – это unit, а числовая единица – это one.

Чтобы избежать путаницы, И.Миллс предложил для единицы числа структурных элементов символ I и название эйс (на английском – heis, что взято из классического греческого εις и означает на этом языке единицу). Несколько позже было предложено (Т.Квинн, И.Миллс, дать этой единице название уно (на английском – uno) и символ U, используя такую единицу с приставками также для замены десятичной доли, процента и промилле.

Название для единицы числа структурных элементов – это, конечно, вопрос международного соглашения. А пока нет такой договоренности, применяются те названия единиц, которые стали привычными в разных разделах физики. Но при этом размерность у них одна и та же, а именно: **размерность естественной основной физической величины – числа структурных элементов N.**



### 2.2.11. Различие между размерностью физической величины и размерностью пространства

#### Различия в определениях

Определение **размерности физической величины** приводится в метрологическом справочнике А.Чертова: *“выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин в различных степенях и отражающее связь данной физической величины с физическими величинами, принятыми в данной системе величин за основные, и с коэффициентом пропорциональности, равным единице”*. Подробному разъяснению содержания понятия **“размерность физической величины”** посвящен отдельный раздел настоящей работы.

В математике существует другое понятие: **“размерность пространства”**. В Интернет-энциклопедии Википедия оно определяется, как *“количество независимых параметров, необходимых для описания состояния объекта, или количества степеней свободы физической системы”*. В других первоисточниках определение размерности пространства примерно такое же. Как видим, определение размерности пространства совершенно не совпадает с определением размерности физической величины.

Но это естественно. Размерность пространства – это понятие математическое, несмотря на то, что в определении Википедии оно связано с физической системой. Это понятие предусматривает возможность наличия  $n$  измерений, где  $n$  может быть любым натуральным числом. Причем под **измерением** в данном случае понимается конкретная физическая величина, а не техническая операция оценки размера физической величины, как это понимается в метрологии, когда говорят: измерить диаметр, измерить электрическое напряжение и т.п.

#### Число измерений в разных системах координат

Евклидово пространство, изучаемое в элементарной геометрии, трёхмерно, плоскости – двумерны, прямые – одномерны. Но в физике, в отличие от геометрии, все три измерения евклидова пространства, рассматриваемые в ортогональной системе координат, оцениваются одной основной физической величиной – протяженностью (длиной),  $u$

которой в метрологии имеется только одна размерность ( $L$ ) и одна единица (метр). То, что протяженность в евклидовом пространстве может иметь разные названия (длина, ширина, высота, глубина и пр.), с точки зрения метрологии положения не меняет.

Правда, Г.Хантли, а за ним В.Ацюковский приписывают трем линейным измерениям евклидова пространства три разные размерности, называя их векторными единицами длины ( $L_x$ ,  $L_y$  и  $L_z$ ), но этот прием уместен лишь при использовании анализа размерностей для прикидочного получения определяющих уравнений для физических величин, использующих векторы перемещений с различными взаимно перпендикулярными направлениями.

Пространство оценивается тремя линейными измерениями только в ортогональной системе координат. Если же пространство рассматривается в сферической или цилиндрической системах координат, то к линейным измерениям добавляется угловое измерение. И тогда пространство оценивается уже двумя независимыми друг от друга основными физическими величинами – протяженностью и углом поворота, имеющими в системе величин ЭСВ две разные размерности:  $L$  и  $A$ , и две разные единицы: **метр и оборот**. Угловое измерение включает в себя как обязательный элемент интенсивно разрабатываемая сейчас теория суперструн (Б.Грин).

В полярной системе координат, если следовать приему Г.Хантли, пришлось бы применять три, но уже другие размерности, например,  $L_r$ ,  $A_\phi$  и  $A_\theta$ . В цилиндрической системе координат к двум линейным измерениям добавляется одно угловое измерение, а в сферической системе координат к одному линейному измерению добавляются два угловых измерения. Указанные примеры свидетельствуют о том, что не следует смешивать два разные понятия: **размерность и измерение**.

Точно так же можно рассматривать и теорию о 4-мерном пространстве-времени, которую не следует называть 4-размерным пространством-временем. Это математическая теория, выводы которой подтверждаются опытными данными, но эта теория может оказаться не единственной, чьи выводы будут подтверждаться теми же самыми опытными данными. Пространство-время имеет 4 измерения, но не 4 размерности. Размерностей у него может быть либо **две** ( $L$  и  $T$ ), либо **три** ( $L$ ,  $A$  и  $T$ ).

### **Пример расчета числа измерений и количества размерностей**

Рассмотрим для примера такую физическую систему: движущийся в пространстве тороидальный вихрь в виде “бублика”, вращающийся, к тому же, вокруг оси симметрии “бублика”, и рассчитаем у этой системы количество измерений и количество размерностей. Именно такие физические системы рассматривает В.Пакулин в предложенной им модели вихревого строения мира.

Пространство, в котором движется тороид, имеет три линейных измерения и одну размерность – размерность длины  $L$ . Вращение вихря вокруг собственной круговой оси симметрии можно рассматривать в цилиндрической системе координат, что добавляет еще три измерения: два линейных и одно угловое, и еще одну размерность – размерность угла поворота  $A$ . Вращение “бублика” вокруг своей центральной оси добавляет еще три измерения: два линейных и одно угловое, не добавляя ни одной размерности.

Всё это совершается с определенными скоростями: линейной и угловой скоростью “бублика” и угловой скоростью вихря, что добавляет еще одно измерение, имеющее размерность времени  $T$ . Наконец, само движение должно быть оценено количественно, что добавляет еще одно измерение, имеющее размерность энергии  $E$ . Итого **рассмотренная физическая система имеет 11 измерений и всего 4 размерности**. Рассмотрение взаимодействия вихрей добавило бы еще какое-то число измерений, но не размерностей. Обратим внимание на совпадение числа 11 с числом измерений пространства, рассматриваемого в теории суперструн (Б.Грин).

А если бы речь пошла не об одном вихре, а о каком-то множестве однотипных вихрей, тогда пришлось бы добавить еще одно измерение, имеющее размерность числа структурных элементов системы  $N$ .

### **2.2.12. Условно принятые основные физические величины**

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, например, производной величины, как электрический ток, является то,

что многие физики и метрологи хотели и хотят избавиться от дробных степеней в показателях размерностей и единиц электромагнитных величин, присутствующих в системе единиц СГС.

Производную величину, условно принимаемую в качестве основной, будем называть **условной основной величиной**. Формула размерности такой, по сути дела, производной величины может включать в себя размерности естественных основных физических величин, возведенных в разные, в том числе, дробные степени. Но в системах единиц условной основной величине присваивают свой собственный символ размерности.

Чтобы не нарушалось существующее стандартное определение основной величины после ввода в число основных величин условной основной величины, в современный метрологический стандарт введены слова: основная величина принимается условно.

Но ведь не всякая основная величина принимается условно, для естественных основных величин характерно то обстоятельство, что для них нет определяющего уравнения, в то время, как для условной основной величины такое уравнение имеется. Учитывая это, составители стандарта (например, стандарта РМГ 29-99) должны были ввести в стандартное определение основной величины важное дополнение, согласно которому необходимо было бы указать ***допустимость введения такой основной величины со своим символом и со своей размерностью, формула которой определяется уравнением связи, в том числе, с дробными степенями показателей размерности.*** Если бы такое дополнение в стандарте существовало, то введение условной основной величины в число основных величин любой системы величин или системы единиц было бы легитимизировано, а не носило бы характер волюнтаристского решения, как это получилось при создании СИ.

### **Сила тока как условная основная физическая величина**

На роль условной основной величины в электромагнетизме логичнее всего подходит электрический заряд. Но точнее и экономичнее можно сделать измерительный эталон электрического тока, а не эталон электрического заряда. Поэтому в СИ была введена условная основная физическая величина (**сила тока**) с символом размерности I.

Размерность электрического тока в трёхразмерностных системах LMT

(СГС и СГСЭ) вытекает из закона Ампера и равна:

$$\dim I = L^{3/2} M^{1/2} T^{-2}. \quad (1)$$

После создания **СИ** электромагнитные величины стали определяться в четырехразмерной системе ЛМТІ. Размерность любой электромагнитной величины в **СИ** можно получить путем двойной операции. Сначала к размерности величины в СГСЭ добавляется размерность тока в соответствии с формулой размерности (1) и корректируются соответственно показатели степеней в формуле размерности, а затем добавляется размерность тока  $I$  в **СИ**.

Это привело к любопытной и двусмысленной ситуации. Оказалось, что электромагнитные величины первого порядка (напряженности и все производные от напряженностей величины) могут иметь в **СИ** две равнозначные размерности: одну в четырехразмерной системе ЛМТІ, а другую – в трехразмерной системе ЛТІ (см. Таблицу величин физического поля в СИ). И теперь, чтобы знать, какая из этих двух записей должна использоваться на практике, необходимо смотреть в стандарт.

Трудно понять, например, почему размерности напряженностей физического поля в вакууме стандарт предписал записывать в четырехразмерной системе ЛМТІ, а размерности напряженностей физического поля в веществе – в трехразмерной системе ЛТІ. Но эти размышления бесполезны, так как необходимо следовать стандарту. А размерности величин второго порядка, такие как энергия, сила, в электромагнетизме не нуждаются во включении в них размерности тока  $I$ , так как в размерностях этих величин и без этого нет дробных степеней.

Интересно, что при подстановке размерности  $I$  из формулы (1) присутствующую в стандарте размерность магнитной постоянной  $\mu_0$  получается размерность скорости в минус второй степени, соответствующая формуле  $\mu_0 = 1/c^2$ , а электрическая постоянная  $\varepsilon_0$  оказывается безразмерной. И это соответствует подлинным размерностям этих величин, являющихся фактически размерными коэффициентами, но зато не соответствует тем размерностям, которые получили эти размерные коэффициенты в **СИ**. Неясно, почему физики не протестуют против такого несоответствия.

### **Заряд поля как условная основная физическая величина**

В предложенную И.Коганом систему величин **ЭСВ** для устранения дробных размерностей в качестве условной основной величины в электромагнетизме и гравитинамике введен статический заряд с размерностью  $Q$ . Этим символом уже обозначалась ранее размерность электрического заряда в системе **СГСФ**, существовавшей в конце XIX века. Автором **ЭСВ** учтено, что при систематизации физических величин нет необходимости создавать измерительные эталоны.

В разделе, посвященном выводу размерности обобщенного заряда, показано, что из рассмотрения закона всемирного тяготения Ньютона и закона взаимодействия зарядов Кулона вытекает такая формула размерности обобщенного заряда:

$$\dim Q = E^{1/2} L^{1/2} N^{-1}, \quad (2)$$

где  $E$  является символом размерности энергии (естественной основной физической величины), а  $N$  является символом размерности числа структурных элементов (также естественной основной физической величины). Из размерности статического электрического заряда автоматически вытекает и размерность электрического тока в **ЭСВ** путем добавления размерности времени в минус первой степени:

$$\dim I = E^{1/2} L^{1/2} N^{-1} T^{-1}. \quad (3)$$

### **Масса как условная основная величина**

Во всех практических системах единиц, начиная с первой гауссовой системы, единица массы является единицей основной величины. При этом в метрологическом справочнике А.Чертова масса трактуется, как *"одна из основных характеристик любого материального объекта, являющаяся мерой его инертности и гравитации"*. В этом определении не уточняется, какая именно масса, инертная или гравитационная, имеется в виду, хотя измерительный эталон килограмма до его предстоящего переопределения основан на измерении силы тяготения. Кроме того, фотон тоже является материальным объектом, но в современной физике он считается безмассовой частицей.

Высокая точность совпадения значений этих двух видов масс в опытах, проведенных в земных условиях, лежит в основе так называемого

принципа эквивалентности масс, справедливость которого поставлена под сомнение в разделе, посвященном этому принципу. Принцип эквивалентности масс лежит в основе работ В.Васильева и В.Ерохина, в которых подтверждается легитимность ЛТ-системы размерностей, предложенной еще Р.О.ди Бартини, и прельщающая многих изяществом форм таблиц физических величин. На странице, посвященной ЛТ-системе Р.О.ди Бартини, и в работе К.Томила продемонстрирована метрологическая несостоятельность этой системы. В работе Г.Трунова показано, что **понятие инертной массы должно быть исключено из физики**.

В большинстве естественных систем единиц XX века в качестве единицы массы присутствует масса электрона, которую, впрочем, в атомной физике измеряют в единицах энергии (в эВ, электрон-Вольтах), а не в килограммах. В табл. 3.4.1 из работы К.Томила приводятся 4 физические величины, имеющие единицу энергии, претендующие на то, чтобы заменить единицу массы электрона в числе основных величин естественных систем единиц. В системе величин ЭСВ **масса как условная основная величина заменена энергией, как естественной основной величиной**.

### **Другие условные основные величины**

В разделе, посвященном размерности термодинамической температуры, подробно пояснено, почему размерность и единица температуры не должна совпадать с размерностью и единицей энергии, а должна зависеть от размерности и единицы теплового заряда, описанного в соответствующем разделе.

Точно так же в разделе, посвященном числу структурных элементов однородной системы, пояснено, что измерение количества вещества в молях является обыкновенной ошибкой и что моль на самом деле является единицей отношения двух разных чисел структурных элементов. Так что и температура, и количество вещества являются в СИ **условными основными величинами**.

К условным основным величинам относится и сила света. Оптическое излучение характеризуется тремя видами фотометрических величин: **энергетическими, фотонными и редуцированными** (А.Чертов). Первые из них измеряются в единицах энергии, вторые – в единицах числа фотонов, то есть в единицах числа структурных элементов. 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.

### **2.2.13. 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).

Через 200 лет после этого А.Вейник 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 пришел к выводу о том, что термин "заряд" является обобщенным понятием не для форм движения, а для форм физического поля, и вернулся в работе к термину "**обобщенная координата состояния**".

Системный подход привел И.Когана к выводу о существовании обобщенной физической системы. В дальнейшем в его работах 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 ЭСВ

В работе И.Когана было предложено присвоить размерности обобщенной координаты состояния обобщенный символ  $K$ . Для этой обобщенной производной величины получилась такая формула размерности:

$$K = E^{\alpha} L^{\beta} A^{\gamma} N^{\delta} T^{\epsilon}. \quad (5)$$

При переходе к рассмотрению каждой конкретной формы движения показатели степеней  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  и  $\epsilon$  устанавливаются индивидуально. Обобщенная координата состояния с размерностью  $K$  существует только в обобщенной физической системе, ее нет в размерностях конкретных физических величин. Просто из формулы (5) вытекают размерности конкретных физических величин при подстановке соответствующих степеней. Так что размерность  $K$  не вносит никакие дополнительные затруднения ни в практику пользования размерностями, ни в процесс анализа размерностей.

Для многих форм движения некоторые из степеней  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  и  $\epsilon$  приравниваются нулю, что свидетельствует о стремлении упростить модели форм движения путем упрощения их координат состояния. (Например, в прямолинейной форме движения  $K = L$ .) 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.)

Обобщенная форма движения в обобщенной физической системе имеет в системе величин ЭСВ (И.Коган) пятиразмерностную систему основных физических величин  $ELTKQ$ . Но после подстановки в формулы размерности физических величин конкретной формы движения конкретных значений размерностей  $K$  и  $Q$ , полученных по уравнениям (2), (3) и (5), пятиразмерностная система  $ELTKQ$  превращается в приемлемую только для данной конкретной формы движения трех-, четырех- или пятиразмерную систему размерностей, в которой уже нет размерности  $K$ . Всё это проще всего увидеть в Таблицах физических величин, просмотрев хотя бы несколько из них.

## **2.2.14. Производные физические величины и их классификация**

Любая физическая величина, для которой существует **определяющее уравнение** или **уравнение связи** с другими физическими величинами, является **производной физической величиной**. Естественно, что количество производных физических величин очень велико. Тем не менее, и они классифицируются по некоторым признакам:

1. по признаку очередности образования – производные величины первой, второй (и т.д.) очереди,
2. по признаку наличия в формуле размерности числового коэффициента – когерентные и некогерентные производные величины,
3. по признаку отношения к другой физической величине – удельные физические величины,
4. по признаку местонахождения в относительных величинах – базовые физические величины,
5. по признаку наличия дробных степеней в показателях размерности – производные величины первого и второго порядка.

### **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 отсутствует числовой коэффициент. В системе единиц **СИ** все единицы производных величин когерентны. Но этот признак отсутствовал в некоторых системах единиц, существовавших до **СИ**.

Все системы физических величин когерентны, так как размерности их основных величин согласованы друг с другом.

### **Удельные и базовые физические величины**

**Удельная физическая величина** – это отношение любой физической величины к к любой другой физической величине, условно принятой за основу (за базу) и называемой **базовой физической величиной** и находящейся в знаменателе отношения. Чаще всего базовыми величинами в удельных величинах бывают длина, площадь, объём, масса.

По причине условности выбора базовой величины удельные физические величины систематизируются также условно. 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 величинами той же размерности, что и величина, находящаяся в числителе отношения, то речь идет о **критериях подобия**.

### **Порядок производной физической величины**

История создания различных систем единиц измерений показала, что существуют **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 основные физические величины системы величин **ЭСВ** (энергия, длина, время, угол поворота, число структурных элементов), все производные от них величины (сила, мощность, инертная масса и т.д.) и все производные величины, в определяющие уравнения которых входит заряд центрального физического поля в четной степени.

Если в числе основных величин любой системы единиц или любой системы величин отсутствует величина первого порядка, то в показателях размерностей и единиц величин неминуемо будут 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 преимущественно физических величин электромагнетизма.

### **О физическом смысле дробные степени в формулах размерностей**

Дробные степени существуют в формулах размерности электромагнитных величин во многих системах единиц потому, что основной единицей в любой системе единиц является единица длины. А 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 и, как видим, объясняется очень просто.

Дробные степени в размерностях и единицах всегда раздражали и сейчас раздражают многих ученых и инженеров, считающих их противоестественными и не несущими физического смысла. Но это следствие закона притяжения Ньютона и закона Кулона, на отсутствие физического смысла в которых не пожалуешься. В действительности

же более веской и главной причиной раздражения является то, что с дробными степенями неудобно проводить анализ размерностей или анализ единиц.

Мнение о том, что дробные степени в показателях размерностей не имеют физического смысла, совершенно не обосновано. Наличие физического смысла или его отсутствие следует выяснять только при анализе определяющих уравнений, а не искать его 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 размерностей 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 в размерностях на систему единиц СИ без дробных степеней. Для этого одну из производных величин первого порядка (электрический ток) сделали в СИ условной основной величиной и постановили считать ее единицу А (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 ЭСВ нет указанных недостатков систем единиц СИ и СГС. В системе величин ЭСВ также нет дробных степеней, так как в качестве условной основной величины в ней применяется заряд, аналогично току в СИ. Но в ЭСВ напряженности центрального и вихревого полей имеют разную размерность, чем ЭСВ отличается от СГС и в чем ЭСВ похожа на систему СГСЭ.

## 2.2.15. О размерности числа $\pi$ в физике

Определение числа  $\pi$  в математике в любых первоисточниках одинаково – это **математическая константа, выражающая отношение длины окружности к длине её диаметра**. Как всякое число эта константа в математике не имеет размерности. Соответственно, в уравнениях, определяющих площадь окружности, объёмы и площади поверхностей тел вращения,  $\pi$  является просто числовым множителем. А так ли это в физике?

### Число $\pi$ во вращательной форме движения

В физике число  $\pi$  имеет отношение к любой физической величине, связанной с вращательным движением и, следовательно, с углом поворота. А **угол поворота в физике** – это не математическая величина под названием **плоский угол**, а характеристика вращения тела вокруг своей оси, **координата состояния вращательной формы движения**. Угол поворота является псевдовекторной величиной. Он характеризует перемещение любого радиуса, проведенного из центра вращения тела к произвольной точке вращающегося тела.

Модуль угла поворота  $\varphi$  обычно представляют в виде:

$$\varphi = 2\pi N + \varphi_0, \quad (1)$$

где  $N$  – число полных оборотов вращающегося тела;  $\varphi_0$  – часть полного оборота. Ее можно представить в виде

$$\varphi_0 = k_\varphi (2\pi N), \quad (2)$$

где  $k_\varphi$  – доля одного оборота. Сам полный угол поворота (при  $N = 1$ ) равен в СИ  $2\pi$  рад (**в радианной мере**). На практике полный угол поворота равен 1 об (одному обороту), а долю полного угла поворота измеряют **в градусной мере**, имеющей свою единицу измерения, равную  $1/360$  оборота и называемую **градусом** (точнее угловым градусом).

В системе единиц СИ все члены уравнения (2) безразмерны, так что анализ размерностей не требуется. Если проводить анализ по единицам, а не по размерностям, то в обеих частях уравнения

находится единица радиан. В системе величин ЭСВ размерность угла поворота  $\varphi$  равна А, а единица угла поворота равна об (оборот). И число  $\pi$  становится не безразмерным отношением длины дуги к радиусу, а обычной долей полного угла поворота. Соответственно, у него появляется размерность А и единица, равная 1/6,282 оборота (приближенно).

Если  $N = 1$ , то уравнение (2) упрощается до  $\varphi_0 = 2\pi k_\varphi$ , подстановка которого в уравнение (1) приводит к уравнению

$$\varphi = 2\pi(N + k_\varphi), \quad (3)$$

в котором величина  $(N + k_\varphi)$  является математическим числом, то есть не имеющим размерности.

При однонаправленном вращении основным параметром вращения является угловая скорость, которую, к слову, ни в коем случае нельзя приравнивать угловой частоте, так как последняя применяется при описании колебаний, а не при однонаправленном вращении.

В современной физике преобразование математического числа  $\pi$  в размерную физическую величину не подразумевается. Это является следствием нечеткого определения плоского угла и отсутствия собственной размерности у угла поворота.

### **Число $\pi$ 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**, в данном случае структурных элементов периодического процесса. В периодическом процессе один период колебаний является структурным элементом процесса колебаний, а одна волна является структурным элементом процесса распространения волн.

А разделе, посвященном числу структурных элементов, показано, что оно в системе величин ЭСВ является основной физической величиной, имеющей размерность N и единицу шт (штука). При периодическом процессе единицу штука можно называть также периодом (пер). При

этом необходимо различать единицу период от существующего термина "период", под которым понимается сейчас совсем иное, а именно  $\omega_0$  длительность периода.

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  $\omega_0$ , называемая в **СИ** угловой частотой колебаний.

Этот термин следует считать неудачным, так как слово "угловая" должно относиться к вращательному движению, а его применяют к периодическому процессу, коим однонаправленное вращение не является. При однонаправленном вращении угол поворота постоянно суммируется, повторяются лишь значения тригонометрических функций, 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  $\omega_0$  уже нельзя использовать уравнение (3), поскольку учитывается только целое число периодов  $N \neq 0$  без всяких долей, то есть при  $k_\varphi = 0$ . Для периодического процесса вместо уравнения (3) следует записать уравнение:

$$2\pi = \varphi / N \quad (4)$$

В уравнении (4) уже необходимо учитывать размерность числа периодов  $N$ , равную  $N$ . А число  $2\pi$  становится мерой угла поворота радиус-вектора на векторной диаграмме. Поэтому размерность  $2\pi$  при описании колебаний методом векторных диаграмм в системе величин ЭСВ равна  $AN^{-1}$  с единицей об/пер. Число  $2\pi$  как бы переводит один оборот радиус-вектора на векторной диаграмме в один период реальных колебаний.

**Собственная частота колебаний** системы  $f_0$  является физической характеристикой периодического процесса и имеет в ЭСВ размерность  $NT^{-1}$  и единицу пер/с (что соответствует в **СИ** единице Герц). Собственная частота  $f_0$  связана с угловой скоростью вращения радиус-вектора  $\omega_0$  уравнением:



$$f_0 = \omega_0 / 2\pi, \quad (5)$$

в котором размерность  $2\pi$ , равная  $\text{АН}^{-1}$ , приводит к тому, что уравнение (5) удовлетворяет требованиям анализа размерностей. Широкое применение уравнения (5) в физике является дополнительным свидетельством того, что в физике  $2\pi$  является размерной величиной.

Наличие у  $2\pi$  размерности и единицы – это необычный и непривычный для современной физики вывод. К тому же, он требует, чтобы в тех случаях, когда  $2\pi$  входит в качестве множителя в уравнение, определяющее какую-нибудь физическую величину, связанную с вращением или с периодическим процессом, при определении формулы размерности этой величины была учтена размерность  $2\pi$ .

### **Почему в физике число $\pi$ стало размерной величиной?**

При измерении площадей в геометрии число  $\pi$  остается просто числом. Но примерно в XVII веке физики стали переходить при измерении угла поворота от градусной к радианной мере, то есть фактически к применению числа  $\pi$  в качестве меры угла поворота, то есть в качестве физической величины. Но число  $\pi$  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  $\pi$  являются безразмерными величинами. Доказательству ошибочности такого представления И.Коган посвятил целый раздел своей работы.

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. Поэтому в формулу размерности числа  $\pi$  вошла еще одна размерность – размерность числа структурных элементов. Доводы в пользу введения числа структурных элементов в число основных физических величин появились лишь в конце XX века.

Разумеется, никто не призывает к устранению применения в физике математических методов. Но при преподавании необходимо объяснять

причины сложившейся ситуации и обязательно учитывать размерность  $\pi$  при систематизации физических величин до той, возможно, не близкой поры, когда физика и метрология придут к выводу о необходимости считать число  $\pi$  в физике размерной величиной. Предложения И.Когана по этому поводу изложены в разделах, посвященных углу поворота и колебаниям и волнам.

### **Число $2\pi$ как фундаментальная константа**

После рассмотрения уравнений (2-6) приходится сделать вывод о том, что физическое содержание имеет вовсе не само число  $\pi$ , а число  $2\pi$ . И этот вывод имеет принципиальное значение. Фундаментальной константой является именно  $2\pi$ , а не  $\pi$ , как это утверждается во всех первоисточниках.

**$2\pi$ , как физическая величина, показывает, чему равен угол поворота, содержащийся в одном полном обороте при вращении тела, или чему равен угол поворота, содержащийся в одном полном обороте радиус-вектора в методе векторных диаграмм при одном полном периоде колебаний.**

Почему же в математике и физике несколько тысяч лет применяют не константу  $2\pi$ , равную отношению длины окружности к длине ее радиуса, а константу  $\pi$ , равную отношению длины окружности к длине ее диаметра. Ответ очень прост: длина диаметра измеряется легко, а длина радиуса – нет. Как это часто бывает, практические соображения увели в сторону от истины.

### **2.2.16. О физике и метрологии тригонометрических функций**

Тригонометрические функции плоского угла определяются в виде:

1. Отношений сторон прямоугольного треугольника, что соответствует их названию на греческом языке.
2. Отношения проекций радиуса окружности, вращающегося в декартовой системе координат.

В физике применяются оба варианта.

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 сейчас в метрологии **безразмерными физическими величинами**, размерность которых равна 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**;

$\omega_0$  – 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**;

$\varphi_0$  – 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 суммарный угол поворота радиус-вектора  $(\omega_0 t + \varphi_0)$ , равный реальной **фазе колебаний**. Как показано в разделе, посвященном углу поворота, в системе величин **ЭСВ** угол поворота является основной физической величиной и имеет размерность  $A$ . Если аргумент тригонометрической функции представляет собой сумму слагаемых, то следует использовать правило размерностей с целью проверки того, все ли слагаемые аргумента имеют размерность угла поворота.

### **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 начало координат, то есть точка  $O$ .

Суммарное **смещение** проекции конца радиус-вектора обозначается обычно символом  $\zeta$  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;  
 $\alpha$  – начальная фаза колебаний.

Анализ размерностей аргумента тригонометрической функции в уравнении (2) показывает, что при размерности волнового числа  $k$ , равной  $AL^{-1}$  в системе величин **ЭСВ**, все три слагаемых аргумента имеют размерность угла поворота  $A$ .

### **2.2.17. Различие между системами физических величин и системами их единиц**

При ознакомлении с описываемой в этой работе энергодинамической системой физических величин (**ЭСВ**), возникает желание сравнить ее с Международной системой единиц **СИ**.

Согласно метрологическому справочнику М.Юдина и др. "*Система физических величин (система величин) – совокупность взаимосвязанных физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимаются за независимые, а другие являются функциями независимых величин*". Согласно тому же справочнику "*Система единиц физических величин (система единиц) – совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами для заданной системы физических величин*".

Из этих определений следует, что любая система единиц базируется на совокупности основных единиц (единиц основных физических величин), **принятых условно** на Международной конференции. Следовательно, система единиц является следствием **принятой условно** системы величин. И только в этом на сегодняшний день состоит отличие систем единиц от систем величин. На деле же при принятии набора основных физических величин господствуют соображения практической метрологии, когда выбираются единицы, удобные для измерения и создания измерительных эталонов, и по ним устанавливаются якобы независимые основные физические величины. Так что фактически системы величин оказываются следствиями систем единиц.

Но возможен **иной подход**. Он заключается в том, что вышеприведенное определение системы физических величин должно быть заменено другим определением: "*Система физических величин (система величин) – совокупность независимых физических величин, набор которых соответствует законам природы, и других физических величин, которые являются функциями независимых величин*". Слова "*соответствует законам природы*" в корне меняют ситуацию. На место волюнтаристского априорного подхода приходит строго научный подход, базирующийся на последних достижениях физики. Поэтому в дальнейшем будем понимать определение системы физических величин только с учетом добавленных трех слов.

На сегодняшний день ЭСВ является единственной из известных систем физических величин, которая разорвала противоречащую принципу причинности зависимость системы величин от априорно принятой системы единиц. Все известные другие системы величин базируются на основных величинах СИ или СГС. А у ЭСВ свой собственный набор основных физических величин (**базис системы**), обоснование которого приведено в разделе, посвященном естественным основным

физическим

величинам.

Поэтому сравнивать ЭСВ резонно только с системами физических величин других авторов, а не с существующими системами единиц. Это и сделано в разделе, посвященном истории развития проблемы систематизации физических величин.

Более развернутый ответ все на тот же сакраментальный вопрос "Зачем нужна ЭСВ, если уже есть СИ?" или на более конкретный вопрос: "Зачем сопоставлять системы единиц с системами величин?" приведен в таблице.

**Таблица сравнения систем физических величин и системы единиц**

	<b>СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН (ниже СФВ)</b>	<b>СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЙ (ниже СЕИ)</b>
<b>Зачем нужны эти системы?</b>	Для систематизации физических закономерностей, представляющих собой уравнения связи между физическими величинами.	Для унификации единиц измерений в международном масштабе.
<b>Какая польза от этих систем?</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установление обобщенных закономерностей в природе и на их основе частных закономерностей в различных научных направлениях.</li> <li>2. Устранение разобщенности разных разделов физики и различных технических</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обеспечение единства измерений.</li> <li>2. Устранение возможных препон для общения ученых и инженеров различных специальностей.</li> <li>3. Возможность</li> </ol>

	дисциплин. <b>3.</b> Облегчение процесса преподавания физики и технических дисциплин и процесса усвоения учебного материала.	легкого сравнения результатов научных экспериментов. <b>4.</b> Облегчение торговли изделиями и, как следствие, создание условий для роста экономики.
<b>Влияют ли СФВ и СЕИ друг на друга?</b>	<b>1.</b> СФВ предлагают изменение отдельных терминов, символов и индексов в СЕИ. <b>2.</b> СФВ указывают на желательность корректировки отдельных единиц в СЕИ.	<b>СЕИ</b> в принципе не должны влиять на <b>СФВ</b> , но по чисто психологическим причинам мешают их внедрению в науку и педагогику.
<b>Препятствуют ли СФВ и СЕИ друг другу?</b>	<b>СФВ</b> не препятствуют развитию <b>СЕИ</b> , у них другие цели и задачи.	<b>СЕИ</b> не должны препятствовать развитию <b>СФВ</b> , но по чисто психологическим причинам препятствуют.
<b>Наличие размерностей</b>	Обязательно, размерность – это подчас скрытая закономерность, основа анализа закономерностей.	Обязательны для основных величин, обычно применяются при анализе размерностей уравнений.
<b>Наличие единиц</b>	В <b>СФВ</b> не обязательны, разве что в качестве	Обязательны, именно для их

<b>измерений</b>	справочного материала.	унификации и создаются <b>СЕИ</b> .
<b>Основные физические величины</b>	Существуют в природе объективно, задача науки – выявить их. Комплект основных физических величин в <b>СФВ</b> не обязан совпадать с комплектом основных величин в <b>СЕИ</b> .	Комплект основных величин принимается условно и утверждается на международных конференциях, отвечает требованиям практической целесообразности и существует только на Земле.
<b>Независимость основных физических величин</b>	В <b>СФВ</b> должна быть абсолютной.	Основные единицы <b>СЕИ</b> могут определяться через другие основные единицы.
<b>Эталоны единиц измерений</b>	В <b>СФВ</b> в них нет необходимости.	Краеугольный камень в любых процессах измерения, следовательно, в любых <b>СЕИ</b> .
<b>Расположение величин в перечнях величин</b>	Строго определенное, построенное на базе принципа причинности и последовательности, вытекающей из этого принципа.	Априорное, в разных разделах физики и в разных технических дисциплинах зависит от предпочтений составителя



		перечня величин.
<b>Формула размерности</b>	Формула размерности величины определяется только по уравнению, определяющему эту величину. Словесные формулировки при определении формулы размерности недопустимы.	Формулы размерности определяются обычно по определяющим уравнениям, но сами эти уравнения не всегда подчиняются принципу причинности. В стандартах допускается определение формулы размерности согласно словесной формулировке.
<b>Возможность предсказания новых закономерностей</b>	<p>1. <b>СФВ</b> могут и даже обязаны предсказывать новые закономерности.</p> <p>2. <b>СФВ</b> могут и обязаны корректировать форму записи уравнений для существующих в науке закономерностей.</p>	Возможность предсказания новых закономерностей в <b>СЕИ</b> отсутствует.
<b>Удобство при измерениях</b>	В качестве одной из задач <b>СФВ</b> не рассматривается.	Определяет предпочтительность применения той или иной <b>СЕИ</b> .
<b>Удобство при преподавании</b>	Наличие <b>СФВ</b> , отвечающей законам природы, существенно	В качестве одной из главных задач <b>СЕИ</b> не рассматривается.

	облегчает процесс преподавания.	
<b>Удобство при научных исследованиях</b>	Наличие <b>СФВ</b> , отвечающей законам природы, способствует успешным исследованиям в любом разделе физики.	Ученые при исследованиях стремятся использовать ту из <b>СЕИ</b> , которая наилучшим образом соответствует конкретному разделу физики.

### Разъяснения к таблице

Исторически в связи с развитием учения об электричестве (электродинамики) физики вводили последовательно 9 (девять!) систем единиц измерений, а всего в работе Л.Брянского их перечислено 16 (шестнадцать!), не считая естественных и неметрических систем единиц. Всё это следствие того, что **наука до сих пор не знает достоверно, что такое электрический и гравитационный заряды и какова их размерность по отношению к размерностям длины, времени и массы**. Чтобы увязать одно с другим, используют законы Кулона и Ньютона, вводя в них размерные коэффициенты и называя их фундаментальными константами. Вводят их по-разному, отсюда 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 система **СИ** тоже многих и во многом не устраивает. Автор популярного учебника по физике Д.Сивухин указывает на то, что **СИ** навязана физиками метрологам, что **СИ** неоправданно усложняет и научные исследования, и преподавание физики. В связи со сказанным посмотрим, чем же отличается конкретно система **ЭСВ** от **СИ**.

**1. Процесс измерений не является задачей систематизации физических величин**. Правда, в таблицы **ЭСВ** единицы измерений включены, но исключительно для расширения функций работы, как возможного

справочного пособия. А также для того, чтобы людям, привыкшим к единицам **СИ**, было легче понять замысел, который привел к созданию **ЭСВ**. Напоминаем, что в **СИ** нет никаких признаков систематизации физических величин.

**2.** В **ЭСВ** и в **СИ** различен комплект основных физических величин. С пятью основными физическими величинами **ЭСВ** можно познакомиться в разделе, посвященном этому комплекту основных величин. В **СИ** имеется семь основных единиц физических величин, но все основные величины **СИ** легко сводятся к пяти основным величинам **ЭСВ**. Обратите внимание: в **ЭСВ** имеются основные величины, а в **СИ** имеются основные единицы. Это не одно и то же!

**3.** В **СИ** в качестве основных единиц приняты единицы производных физических величин некоторых форм движения. Они приняты только на планете Земля (например, единицы электрического тока, термодинамической температуры, количества вещества, силы света). При систематизации физических величин подобная априорность недопустима.

**4.** Комплект основных величин **ЭСВ**, со своей стороны, неприемлем для унификации единиц измерений. Он для этого непрактичен хотя бы потому, что пришлось бы создавать чрезвычайно сложный измерительный эталон энергии. Но при решении проблемы систематизации физических величин проблема создания измерительных эталонов не возникает. Эталоны нужны лишь для единиц.

**5.** В таблицах **ЭСВ** все физические величины расположены в строгом соответствии с принципом последовательности. Этот принцип требует, чтобы в перечнях физических величин производные величины следовали после тех физических величин, которые их определяют. А во всех системах единиц, включая **СИ**, этот принцип не учитывается. В расположении физических величин в перечнях величин **СИ** не заметна какая-либо закономерность, всё зависит от порядка предпочтения составителя перечня. Это свидетельствует о том, что **СИ** не соответствует тому понятию “система“, чье определение приведено в разделе, посвященном определению физической системы.

**6.** Размерности физических величин в **ЭСВ** устанавливаются только по определяющим уравнениям, а не по словесным формулировкам, изложенным в учебных и справочных пособиях. Как остроумно

заметил Р.Фейнман, “...из одного определения никогда ничего никто не выводил...“. Определяющие уравнения в ЭСВ иногда не совпадают со словесными формулировками или определяющими уравнениями, принятыми в современной физике и, соответственно, в СИ. Но вопрос о том, что вернее, это вопрос для научной дискуссии.

**7.** В ЭСВ для каждой физической величины может существовать только одно определяющее уравнение. Соответственно, размерность одной физической величины может соответствовать размерности другой физической величины той же самой природы, поскольку у них аналогичны определяющие уравнения. В СИ этот принцип соблюдается не всегда (например, размерности энергии и момента силы оказались одинаковыми). В таблицах ЭСВ устранены, по возможности, те нарушения принципа причинности при составлении определяющих уравнений, которые имеют место в СИ.

**8.** По поводу того, как и в каком порядке следует составлять определяющие уравнения, пока нет установившегося мнения. Первоначальным шагом к построению системы единиц является выбор уравнений связи между физическими величинами. А при построении систем физических величин первоначальным шагом является, по нашему мнению, выявление комплекта основных физических величин. Системный подход, положенный в основу построения ЭСВ, может указать на то, чья точка зрения в каждом конкретном спорном случае базируется на обобщенных законах природы, а потому более корректна. При построении систем единиц, по мнению Н.Студенцова, необходимо “*руководствоваться одним единственным принципом – практической целесообразностью*“. Но при построении систем физических величин практическая целесообразность особого значения не имеет.

**9.** В ЭСВ наличие единиц измерений не обязательно. Но если их записывать, то выглядят они подчас не так, как в СИ, поскольку перечни основных физических величин различны. И не только по этой причине. В СИ очень много именованных единиц измерения. Конечно, можно приветствовать благородное желание физиков увековечить имена великих предшественников, но это желание приводит к мучениям студентов и инженеров, когда необходимо переходить от одних единиц измерений к другим.

**9.** Системы физических величин, в том числе ЭСВ, указывают на упущения, допущенные при составлении СИ, и на необходимость

корректировки некоторых единиц измерений **СИ**. Впрочем, и это очень важно, решение проблемы обобщения и систематизации физических величин ни теоретически, ни практически не мешает применению единиц **СИ** в том виде, в каком они есть, и дальнейшему развитию самой **СИ**. На практике применяются и еще долго будут применяться единицы **СИ**. Никто на них не посягает, но прислушаться к доводам систематизаторов тоже не мешает.

### **Резюме И.Когана – автора описанного выше труда**

35-летний педагогический стаж И.Когана, в течение которого он внимательно наблюдал за тем, что именно наиболее тяжело усваивается студентами, показывал порой несовершенство терминологии, стандартов и, главное, принятой методологии преподавания. И это входило в противоречие с практическим инженерным опытом И.Когана. Обращает на себя внимание любопытный момент: подавляющее 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 **СИ** равна Дж/м<sup>3</sup>, и такая единица выглядит понятно и естественно. А размерность той же объёмной плотности энергии в **СИ** равна МЛ<sup>-1</sup>Т<sup>-2</sup>, что в переводе на единицы означает кг/(м·с<sup>2</sup>). Хотя это то же самое, что Дж/м<sup>3</sup>. Такое раздвоение у практиков кроме раздражения ничего вызвать не может. В **ЭСВ** подобных ситуаций быть не может.

Создавая систему **ЭСВ**, И.Коган постоянно боролся со своими привитыми употреблением **СИ** привычками, и конца этой борьбе пока не видно. Так что И.Коган хорошо понимает чувства тех читателей, которым предлагается расстаться с иллюзией того, что **СИ** – наилучшая и чуть ли не единственно возможная система единиц. Она действительно хороша, но лишь для того, для чего создана. И не более того.

### **2.2.18. Реальные и абстрактные физические величины**

Рассмотрим дополнительную классификацию физических величин, делящую их на реальные и абстрактные величины. Признаком, по которому осуществляется данная классификация, является наличие или

отсутствие размерности энергии в формуле размерности величины. Как было показано в разделе, посвященном комплекту основных физических величин, в число естественных основных величин входит энергия. А в разделе, посвященном такому фундаментальному понятию, как движение, показано, что движение следует рассматривать как векторную естественную основную величину, модулем которой является энергия, как скалярная величина.

Единица энергии входит и сейчас в основные единицы естественных систем единиц, созданных в связи с развитием атомной физики и квантовой механики. Единица энергии входит в состав единицы действия и единицы массы электрона. Да и сама масса элементарных частиц измеряется в единицах энергии (в электрон-Вольтах).

Поскольку в естественных системах единиц выбор основных единиц определяется явлениями Природы, то и предложенную И. Коганом энергодинамическую систему величин ЭСВ следует рассматривать, как естественную систему физических величин. Только в системе ЭСВ энергия является уже непосредственно основной физической величиной. Поэтому присутствие размерности энергии в размерности рассматриваемой физической величины является критерием ее реальности.

### **Деление физических величин на реальные и абстрактные величины**

Движение материи происходит в пространстве и во времени. Если мысленно предположить, что движения нет, то нет и необходимости в пространстве и во времени. **В Природе реально существует только движение материи, а пространство и время являются абстрактными атрибутами, с помощью которых описывается движение.**

Например, такая величина, как скорость движения тела, абстрактна, так как ее формула размерности не содержит ни размерности энергии, ни размерности массы (в размерность массы входит размерность энергии, поэтому масса является реальной величиной). Если скорость движения умножить на массу, то полученное произведение (количество движения или импульс) становится реальной величиной.

Таким образом, **реальными физическими величинами** назовем такие величины, в формулу размерности которых входит размерность

энергии (или, что то же самое, размерность движения). Все физические величины, в формулу размерности которых размерность энергии не входит, будем называть **абстрактными физическими величинами**.

Существует иная классификация по другому принципу. В ней величины делятся на реальные и идеальные. Причем идеальные величины, названные математическими величинами, *"являются обобщением реальных понятий и вычисляются тем или иным способом"*. Этот признак классификации не конкретен. Например, импульс – вполне реальное понятие, хотя и является результатом вычисления.

Реальные величины в данной классификации подразделяются на физические и нефизические (относящиеся к общественным наукам), измеряемые и оцениваемые. Однако, например, в экономике широко используется такая физическая величина, как вес. Наконец, оцениваемые величины часто получаются в результате расчета по измеряемым величинам. Так что при применении данной классификации следует учесть приведенные замечания.

Приведем примеры реальных и абстрактных физических величин.

### **Примеры реальных физических величин**

Реальными являются все физические величины, в размерность которых входят размерности заряда поля (не важно, какого поля: электромагнитного или гравитационного), так как в размерность заряда всегда входит размерность энергии. Подобные реальные физические величины составляют большинство в электромагнетизме и гравитационной динамике.

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.

### **Примеры абстрактных физических величин**

Физические величины становятся абстрактными после того, как в определяющих уравнениях появляется операция деления одних реальных величин на другие, и когда в результате этого деления из

размерности физической величины исчезает размерность **энергии**.

Поэтому можно констатировать, что **почти весь раздел механики, называемый кинематикой, пользуется абстрактными физическими величинами: расстоянием, углом поворота, временем, скоростью линейной и угловой, ускорением линейным и угловым**. Переход к реальным величинам осуществляется тогда, когда сомножителем этих физических величин становится **масса**. В этом случае мы переходим уже к другому разделу механики – к **динамике**.

Приведем еще один 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 **объем является геометрической, то есть математической величиной, он не имеет физического содержания. Он приобретает физическое содержание только тогда, когда объем вещества, объем физической системы умножают на плотность**.

Еще дальше в область абстрагирования мы уходим, когда делим 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 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.

К слову, **фазовая скорость света в 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).

## **2.3. Физическое содержание некоторых понятий векторного анализа**

### **2.3.1. Отличительные признаки векторной величины в физике**

#### **О неполноте определения векторной величины в физике**

Векторная физическая величина в том виде, в котором ее рассматривают в физике, – это математическая абстракция. проанализируем это утверждение.

Согласно БСЭ вектор – это “*направленный отрезок, то есть отрезок, у которого указаны начало (называемое также точкой приложения вектора) и конец*”.

Интернет-энциклопедия Кругосвет дает другое определение вектора: “*вектор – это величина, которая характеризуется своим численным значением и направлением*”.

Налицо несогласованность определений. Причина этого состоит вот в чем: БСЭ дает определение вектора как **математической величины**, а энциклопедия Кругосвет – как **физической величины**, но в обоих случаях эти особенности не подчеркиваются.

Следовательно, к определению вектора в БСЭ следует добавить, что речь идет об условно принятом математическом понятии. А в определении вектора в энциклопедии Кругосвет не хватает слов “физическая векторная величина”.

### Природа векторной величины в механике

Рассмотрим самую популярную векторную величину – силу **F**. Но реально в **природе не существует сил, приложенных в точке**. Воздействие на тело, как на физическую систему всегда распределено по какой-то части поверхности тела площадью  $S$ , какой бы малой она не была. В природе нет приложенных к точке векторных величин, в этом 

суть	математической	абстракции.
------	----------------	-------------

В природе имеются **поля векторных величин**, а физическое содержание имеют поверхностные интегралы векторных величин по площади участка поверхности (И.Бронштейн и К.Семендяев). Следовательно, на тело направленно воздействует векторная физическая величина, равная  $\int_S \mathbf{F} dS$ .

А.Чуев ввел в рассмотрение такую векторную физическую величину

$$\mathbf{П} = \mathbf{F}S, \quad (1)$$

назвав ее **действием потенциальным**. Аналог этой величины рассматривается также в учебнике физики И.Савельева в теории потенциального физического поля, и называется он там **константой потенциального поля**.

Действительно, если применить уравнение (1) к потенциальному (центральному) полю, то добавка слова “потенциальное” к слову “действие” себя оправдывает. Но если поле вихревое, то слово “потенциальное” выглядит неуместным. А без всякого дополнения к слову “действие” может возникнуть путаница с термином “действие”, введенным Р.Фейнманом для названия физической величины другого содержания. Поэтому мы полагаем, что поверхностный интеграл векторной величины, распределенной по какой-то поверхности площадью  $S$ , лучше назвать **воздействием**.

**Понятие “векторный поток векторного поля” следует изъять из физики**

Для того, чтобы избегать по возможности математических абстракций, следует отказаться от часто применяемого в математике представления о векторе элементарной площадки  $d\mathbf{S}$ , заменив его выражением  $\mathbf{n}dS$ , где  $\mathbf{n}$  – орт нормали к площадке  $dS$ . Обозначив вектор воздействия векторной величины  $\mathbf{a}$  на физическую систему символом  $\Phi_a$ , приходим к уравнению:

$$\Phi_a = \int_S \mathbf{a}(\mathbf{e}_a \mathbf{n}) dS, \quad (2)$$

где  $\mathbf{e}_a$  – орт вектора  $\mathbf{a}$ . Скалярное произведение двух ортов  $(\mathbf{e}_a \mathbf{n}) = \cos(\mathbf{e}_a \mathbf{n})$ . Так что уравнение (2) можно записать в виде:

$$\Phi_a = \int_S a dS \cos(\mathbf{e}_a \mathbf{n}). \quad (3)$$

Уравнение (3) показывает, что в векторном анализе можно обойтись без искусственного введения вектора элементарной площадки  $d\mathbf{S}$  и понятие “**векторный поток векторного поля**” определять не только векторным произведением, как это принято сейчас, а обычным произведением вектора на скаляр.

**Векторная величина является удельной величиной**

Проделав обратное преобразование с уравнением (3), можно прийти к такому выводу: то, что мы сейчас называем в физике векторной величиной  $\mathbf{a}$ , можно назвать **поверхностной плотностью воздействия**:

$$\mathbf{a} = d\Phi_a / [dS \cos(\mathbf{e}_a \mathbf{n})]. \quad (4)$$

Отсюда вытекает очень важный вывод о том, что **векторная величина в физике – это удельная производная величина**, базисом которой является площадь поверхности. По сути дела вектор в физике является **локальной векторной величиной**. А вектор воздействия  $\Phi_a$  – это **полная векторная величина**.

Если следовать принципу причинности, то, судя по уравнению (4), вектор воздействия  $\Phi_a$  является причиной, а локальный вектор  $\mathbf{a}$  – его следствием. С этой точки зрения запись уравнения (3) в виде функции

$\Phi_a = f(\mathbf{a})$  противоречит принципу причинности. Это один из примеров того, как непродуманное до конца применение математики в физике нарушает принцип причинности.

### **Природа векторной величины в физике поля**

В векторном анализе, широко применяемом в теории поля, для поверхностного интеграла обобщенной векторной величины  $\mathbf{a}$ , распределенной по какой-то поверхности площадью  $S$ , принято пользоваться математическим понятием **“скалярный поток векторного поля”**, а в качестве обозначения этого понятия применять символ  $\Phi_a$ . Название этого понятия обычно сокращают до словосочетания “поток вектора”. Причину применения неуместного в данном случае слова “поток” мы рассмотрим в другом разделе.

В теории физического поля локальный вектор  $\mathbf{a}$  можно рассматривать как локальную напряженность физического поля на поверхности уровня поля, образованного полеобразующим зарядом. **В теории поля напряженность поля  $\mathbf{E}$  является важнейшей векторной характеристикой поля.** Но ее применение отличается от применения вектора в механике.

В механике и в гидродинамике вектор воздействия сил  $\Phi_F$  определяется по интегральной сумме локальных векторов сил  $\mathbf{F}$ , направленных, как правило, в одну сторону и воздействующих на часть поверхности тела. Поэтому вектор воздействия сил  $\Phi_F$  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 ограниченном радиусом физическом поле, как о непроточной системе, контрольная поверхность которой замкнута, отчего интегральная сумма локальных векторов напряженности поля по всей эквипотенциальной поверхности равна нулю. По этой причине вектор воздействия напряженностей  $\Phi_E$  по всей эквипотенциальной поверхности тоже равен нулю.

Применять вектор воздействия напряженностей  $\Phi_E$  в теории поля, когда поверхность  $S$  больше половины площади всей эквипотенциальной поверхности, неудобно, так как часть локальных векторов направлена навстречу друг другу. Его удобнее заменить скаляром  $\Phi_E$ , называемым поток вектора напряженности, по

аналогии с применяющимся в гидродинамике потоком вектора скорости. В гидродинамике поток вектора скорости обычно применяется в тех случаях, когда поверхность  $S$  существенно меньше половины всей экипотенциальной поверхности.

Указанные соображения показывают, что удобство пользования и непродуманная аналогия терминов привели к тому, что перестало просматриваться **реальное физическое содержание**.

### **2.3.2. О бессодержательности понятия “поток вектора” в физике**

#### **Формула потока вектора противоречит принципу причинности**

В современной физике **потоком вектора**  $\mathbf{a}$  называют скалярную физическую величину

$$\Phi_a = \int_S \mathbf{a} d\mathbf{S} = \int_S (\mathbf{a}\mathbf{n}) dS, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь произвольно расположенной поверхности;  $\mathbf{a}$  – произвольная векторная величина, начало которой лежит на поверхности  $S$ ;

$d\mathbf{S} = \mathbf{n} dS$  – псевдовектор, поставленный в соответствие ориентированной элементарной площадке (И.Бронштейн и К.Семендяев);

$\mathbf{n}$  – орт нормали к элементарной площадке  $dS$ .

Чаще всего приводится первая запись уравнения (1), но это не меняет того, что физическая величина  $\Phi_a$  в уравнении (1) является скаляром. Псевдовектор элементарной площадки  $d\mathbf{S}$ , является чистой математической абстракцией. Согласно уравнению (1)  $\Phi_a = f(\mathbf{a})$ . В разделе, посвященном физическому содержанию векторной величины, показано, что согласно принципу причинности произвольную векторную величину  $\mathbf{a}$  следует рассматривать как локализацию полного вектора, распределенного по площади, в точке с заданными координатами.

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 проявлением индуктивного метода – от частного к

общему. А дедуктивный метод 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 величинам и должен быть заменен другим термином. Прочитав справочник И.Бронштейна и К.Семендяева: "*Каждой ориентированной плоской площадке  $\Sigma$  можно поставить в соответствие вектор  $\mathbf{S}$ , имеющий направление  $\mathbf{n}$  и модуль, равный ее площади  $S$* ".

На основании такого представления действительно может показаться, что такая векторная величина, как перемещение объема  $\Delta V$ , является скаляром, так как определяется скалярным произведением  $\Delta V = \mathbf{x}d\mathbf{S}$ . Но представление о том, что поток вектора скорости является скалярной величиной, приводимое в учебниках по физике, противоречит принципу причинности. Например, перемещение  $d\mathbf{x}$  центра перемещаемого объема  $dV$  является следствием перемещения этого объема, а не его причиной. При соблюдении принципа причинности следует записать выражение  $d\mathbf{x} = dV/dS$ . 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, не имеющей физического содержания.

Почему же в теории физического поля применяются скалярные потоки вектора? Дело в том, что при анализе физического поля не применяются понятия о проточных системах и перемещаемых координатах состояния, и применение скалярных потоков вектора себя оправдывает теоретически, так как в этом случае оно не противоречит принципу причинности. Но и тут следует заметить, что вместо записи  $d\mathbf{S}$ , как это принято в векторном анализе, предпочтительнее указывать запись

$$ndS.$$

В частности, поток вектора магнитной индукции  $\mathbf{B}$  (магнитный поток)  $\Phi_m = \int_S \mathbf{B}ndS$  является величиной скалярной, ведь в магнитных цепях никакая координата состояния не перемещается. 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".

**Словосочетание "поток вектора" лишено физического и практического смысла**

К сожалению, словосочетание “поток вектора” лишено физического и практического смысла. Прежде всего, словосочетание “**поток вектора**”, безотносительно к его применению, противоречит самому понятию “вектор”. К слову, в векторном анализе (И.Бронштейн и К.Семендяев) 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 Интернет-энциклопедии Википедия) физики сочли возможным применять более короткое понятие “**поток вектора скорости**”, которое лишилось смысла, ибо сам вектор течь не может. Ведь вектор – это понятие, а не среда, которая может течь. То, что сейчас понимается под вектором, – это локализация векторной величины в точке с определенными координатами. В формуле размерности  $\Phi_a$  по уравнению (1) нет вообще размерности времени, 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 несколькими словами. Во всех разделах физики, кроме гидродинамики, применяется слово “flux“ на английском, “Fluss“ - на немецком, “flusso“- на итальянском. А в аэрогидродинамике применяется слово “flow“ и “stream“ на английском, “Strom“- на немецком.

### **Поток вектора напряженности или полная напряженность?**

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.** Поэтому то, что мы называем сейчас напряженностью физического поля, следует называть его **локальной напряженностью**. А термин “поток вектора напряженности“ должен быть заменен термином “**полная напряженность**“ поля, имея в виду поверхностный интеграл локальной напряженности по площади участка equipотенциальной поверхности.

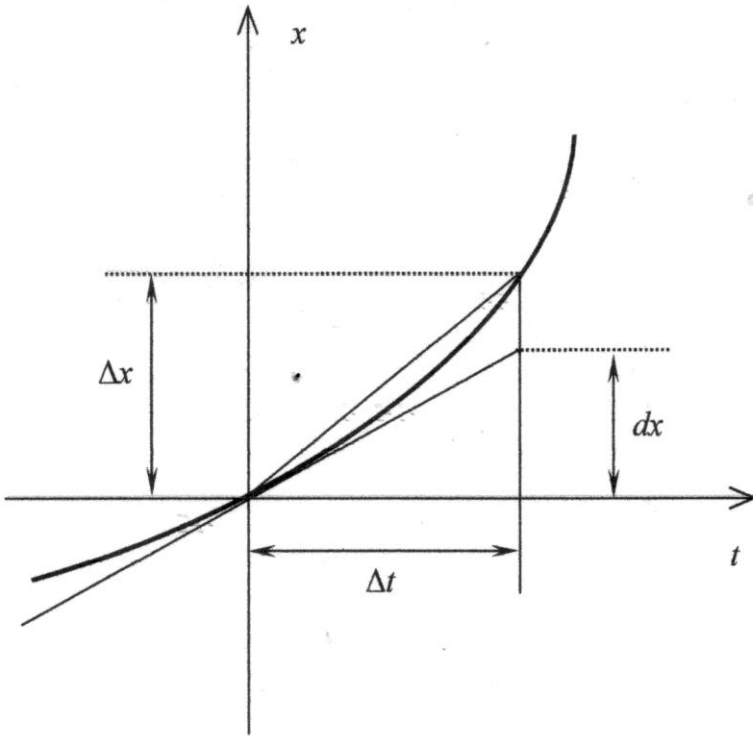
В частности, “**магнитный поток**“ (поток вектора напряженности вихревого поля – магнитной индукции) лучше называть **полной магнитной индукцией**. И тогда термин “магнитный поток“ не будет наводить неопытных студентов на неверную мысль о том, что в магнитной цепи движется что-то подобное электрическому току.

Далее, “**поток электрической индукции**“ равен сумме зарядов, находящихся внутри исследуемой системы, которая при этом может быть неподвижной, так что и здесь слово “поток“ явно лишнее. А термин “**электрический поток**“, когда его применяют в качестве синонима термина “**поток электрического смещения**“, похож по звучанию на термин “электрический ток“, имеющий совершенно другое физическое содержание. **Вот электрический ток как раз и является близким родственником термину “гидравлический поток“.**



### **2.3.3. Приращения, дифференциалы и производные векторной величины**

Одним из основных принципов систематизации физических величин является принцип направленности, суть которого в том, что приращения любых (в том числе, скалярных) физических величин являются векторными величинами. Поэтому необходимо выяснить, как следует записывать приращения, дифференциалы и производные векторных величин, как их обозначать. Чаще всего мы будем иметь дело с производными по времени. 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  $\mathbf{x}$  или единичный вектор, указывающий направление вектора  $\mathbf{x}$ . На рассматриваемом рисунке приведен график функции  $x(t)$ .



Оси координат проведены так, чтобы они были общими как для функции  $x(t)$ , так и для функций  $\Delta x(t)$  и  $dx(t)$ , где  $\Delta x$  – модуль конечного приращения вектора  $\Delta \mathbf{x}$ , а  $dx$  – модуль бесконечно малого приращения (дифференциала) вектора  $d\mathbf{x}$ .

Понятно, что приращения  $\Delta \mathbf{x}$  и  $d\mathbf{x}$ , являются векторными величинами, чем и вызвана приведенная здесь форма их записи. Понятно также, что  $\Delta \mathbf{x} \neq d\mathbf{x}$  и что  $d(\Delta \mathbf{x})/dt \neq d\mathbf{x}/dt$ .

Однако при  $\Delta t \rightarrow 0$  значение модуля приращения  $\Delta x$  и значение модуля дифференциала  $dx$  становятся примерно равными, и поэтому можно записать приближенное равенство  $d(\Delta \mathbf{x})/dt = d\mathbf{x}/dt$ .

Следовательно, первую и вторую производные от приращения векторной величины  $\Delta \mathbf{x}$  можно записывать по-разному: как в виде

$d(\Delta\mathbf{x})/dt$  и  $d^2(\Delta\mathbf{x})/dt^2$ , так и в виде  $d\mathbf{x}/dt$  и  $d^2\mathbf{x}/dt^2$ . Это замечание важно, так как записи  $d\mathbf{x}/dt$  и  $d^2\mathbf{x}/dt^2$  как бы скрывают тот факт, что речь идет об изменениях приращений векторной величины, а не об изменениях самой векторной величины.

Особенно важно это будет иметь в виду при изучении переходного процесса и уравнения динамики.

### 2.3.4. Производные вектора по модулю и направлению – разные величины

В современной механике не акцентируется внимание на том, что производная вектора по направлению принципиально отличается от производной вектора по модулю. Оставим для производной вектора по модулю принятый в физике термин "**приращение вектора**", а производную вектора по направлению будем называть **поворотом вектора**.

#### Различия между производными вектора по модулю и по направлению

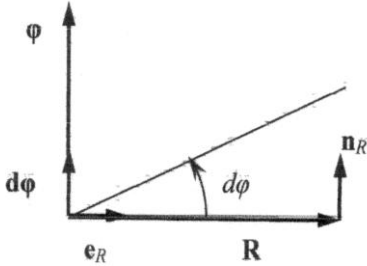
Рассмотрим различия между приращением и поворотом вектора на примере изменений радиус-вектора  $\mathbf{R}$ , проведенного из центра кривизны криволинейной траектории (орбиты) к центру масс тела, движущегося по этой траектории.

Между приращением и поворотом радиус-вектора имеются *три важных отличия*:

1. Приращение модуля радиус-вектора имеет место при неравномерном движении, а поворот радиус-вектора может иметь место и при равномерном движении тела по орбите.
2. У орта вектора (единичного вектора) производной по модулю не может быть (по определению орта), а производная по направлению или поворот орта (единичного вектора) существует, как самостоятельная векторная величина.
3. Третье отличие можно выяснить, рассмотрев на рисунке

производную по времени от орта  $\mathbf{e}_R$  радиус-вектора  $\mathbf{R}$ , для которой имеется уравнение (И.Савельев.):

$$d\mathbf{e}_R/dt = (d\varphi/dt)\mathbf{n}_R, \quad (1)$$



где  $d\varphi$  – элементарный угол поворота радиус-вектора  $\mathbf{R}$  и, следовательно, угол поворота его орта  $\mathbf{e}_R$ ;  $\mathbf{n}_R$  – орт вектора, перпендикулярного радиус-вектору  $\mathbf{R}$  и, следовательно, перпендикулярного орту  $\mathbf{e}_R$ .

Умножив уравнение (1) на  $dt$ , получаем выражение для элементарного поворота орта  $d\mathbf{e}_R$ , коллинеарного  $\mathbf{n}_R$ , но не равного ему:

$$d\mathbf{e}_R = d\varphi\mathbf{n}_R. \quad (2)$$

В разделе, посвященном углу поворота  $\varphi$ , доказано, что угол поворота в системе физических величин имеет свою размерность, обозначаемую в системе ЭСВ символом А. Поскольку орт  $\mathbf{n}_R$ , как и любой орт, размерности не имеет по определению, а размерность  $d\varphi$  равна А, то анализ размерностей уравнения (2) приводит к тому, что у поворота орта  $d\mathbf{e}_R$  имеется также размерность А. При конечном приращении угла поворота  $\Delta\varphi$  вектор поворота  $\Delta\mathbf{e}_R$  отклоняется от перпендикулярности вектору  $\mathbf{R}$ , но его пропорциональность приращению  $\Delta\varphi$  сохраняется, следовательно, сохраняется и размерность А.

Как видим, в размерность поворота любого вектора должна войти дополнительно размерность угла поворота. В отличие от этого, размерность приращения вектора по модулю всегда совпадает с размерностью самой векторной величины.

В итоге, третье отличие между приращением и поворотом вектора состоит в том, что у приращения вектора и у поворота вектора различные размерности. Следовательно, вектор нельзя суммировать с вектором его поворота.

**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.**

В учебнике И.Савельева при выводе формулы для вычисления производной  $de_R/dt$  сказано: ”При малом  $\Delta\varphi$  модуль вектора  $\Delta e$  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  $\Delta e_R$ ) 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  $180^\circ$ .

### **Производные вектора по модулю и по направлению – разные величины**

Итак, приращения вектора по модулю и по направлению имеют разные направления и разные размерности. Следовательно, эти два вида приращения **не аддитивны**, то есть они не могут суммироваться. Это важное положение должно касаться не только физических величин, но и физической терминологии. Оба приращения вектора должны быть охарактеризованы двумя разными понятиями и, естественно, по-разному называться.

Термином “приращение” следует называть только **изменение значения векторной физической величины по модулю.** Поэтому понятие “приращение векторной физической величины” И.Коган предлагает сформулировать, как ***разность между значением модуля физической величины в текущий момент времени и значением модуля этой же величины в начальный момент времени.***

Что касается изменения векторной физической величины по направлению (независимо от того, изменяется ли она 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. Коган предлагает 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**”.

Можно привести следующий нетривиальный пример применения разделения приращений вектора. В разделе, посвященном производным по времени от тангенциальной скорости при орбитальной форме движения, приводится доказательство того, что при равномерном орбитальном движении центростремительного ускорения не существует.

### **2.3.5. Об источниках силового 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 использоваться и для этого. Но в полях скоростей жидкостей зарядов не было, и не продуманная до конца аналогия учения об электричестве с гидродинамикой привела к тому, что **заряд электрического поля стали называть источником электрического поля.**

Когда рассматривают электростатическое поле, то говорят, что положительные электрические заряды являются источниками силовых

линий, а отрицательные заряды – стоками силовых линий. К слову, **силовые линии** **правильнее называть линиями напряженности**. Ибо эти линии в каждой точке касательны векторам напряженности поля.

Расхождение линий напряженности векторного поля стали называть **дивергенцией** (от латинского *divergentia* – расхождение) и стали трактовать, как мощность источника поля, отнесенную к единице объема. Понятие “мощность источника“ в гидродинамике ассоциировалось с полем скоростей жидкости, но в **электрическом поле стало неясно, с чем можно ассоциировать мощность источника поля.**

В модели электрического поля, предложенной М.Фарадеем, силовые линии электрического поля соответствовали осям вихревых трубок эфира, исходящим из положительного заряда и сходящимся в отрицательном заряде. **Но когда выяснилось, что силовые линии магнитного поля замкнуты, так как магнитное поле является вихревым полем, то стало ясно, что вихревое поле не имеет источника силовых линий.**

**Заряд как источник 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.

**Источником существования физического поля во всех случаях является заряд физического поля**, и лишь в частном случае (в центральном поле) он является также и источником его линий напряженности.

Статический заряд не является источником вихревого (магнитного) поля. Но что тогда является этим источником? В дальнейшем будет показано, что такой источник имеется, и ему дано название **ТОКОВЫЙ заряд**, которому посвящено несколько разделов настоящей работы. На них будет показано, для каких видов токового заряда справедлива теорема Остроградского-Гаусса, а для каких видов – нет.

### **2.3.6. Уравнение непрерывности**

Основным свойством среды по мнению многих физиков является ее **непрерывность**. Сторонники уровневой физики считают, что среда на любом уровне принципиально дискретна, но на уровне, более низком по сравнению с рассматриваемым, дискретность аппроксимируется непрерывностью. **На уровне "Вещество" среда заведомо непрерывна.**

Количественно непрерывность определяется **объемной плотностью среды**

$$\rho = dQ/dV, \quad (1)$$

под которой понимается отношение физической величины  $Q$  к занимаемому ею объёму  $V$ . Неопределенность уравнения (1) заключается в том, что пока не определено, что следует понимать под величиной  $Q$ . Попробуем выяснить это.

#### **Обобщенное уравнение непрерывности**

Классический вид **уравнения непрерывности** выглядит так:

$$\partial\rho/\partial t + \operatorname{div}(\rho\mathbf{v}) = 0 \quad (2)$$

или

$$\operatorname{div}(\rho\mathbf{v}) = -\partial\rho/\partial t. \quad (3)$$

где  $\rho = dQ/dV$  – объемная плотность жидкости (текучей среды);  $\mathbf{v}$  – скорость потока среды в данной точке.

**Анализ размерностей** уравнения (3) показывает, что в обеих частях уравнения размерность объемной плотности  $\rho$  одинакова, ибо



применение дивергенции равносильно внесению размерности длины в минус первой степени в формулу размерности. Поэтому установить размерность  $\rho$  по уравнению (2) нет возможности. Следовательно, в общем случае невозможно понять, что скрывается под величиной  $Q$  в обобщенном уравнении (1) для объемной плотности среды.

О.Репченко, например, называет величину  $Q$  термином "количество субстанции", что по-русски означает "количество вещества". Но О.Репченко имеет в виду полевую среду, которая может и **не быть веществом**. В гидродинамике под  $Q$  понимается количество частиц текучей среды (молекул, атомов, ионов и пр.).

### Уравнение непрерывности в электрической непроточной системе

Для уединенного проводника, как электрической непроточной системы, уравнение непрерывности записывается в виде уравнения:

$$\operatorname{div} \mathbf{j} = -\partial \rho / \partial t, \quad (4)$$

где вектор плотности тока зарядки уединенного проводника  $\mathbf{j}$  должен в соответствии с векторным анализом определяться уравнением

$$\mathbf{j} = d\mathbf{i} / dS, \quad (5)$$

в котором векторная величина  $\mathbf{i}$  является электрическим током или потоком электрических зарядов через элементарную площадку  $dS$  контрольной поверхности уединенного проводника. Электрический ток  $\mathbf{i}$ , в свою очередь, определяется уравнением:

$$\mathbf{i} = (dq\mathbf{n}) / dt, \quad (6)$$

в котором  $q$  – количество электрических зарядов, а  $\mathbf{n}$  – орт направления упорядоченного движения электрических зарядов, перпендикулярный контрольной поверхности.

Однако в современной физике, как показывается в разделе, посвященном электрическому току, применяют другое определяющее уравнение

$$i = (dq/dt), \quad (7)$$

в котором скалярная величина  $(dq/dt)$  называется силой тока или

количеством электрических зарядов, проходящих через элементарную площадку  $dS$ . Но физическая величина ( $dq/dt$ ) имеет иное физическое содержание, она является скоростью изменения количества зарядов в уединенном проводнике, и не отражает направленное движение потока электронов.

В современной физике **вместо того, чтобы признать электрический ток  $i$  реальной векторной величиной**, в определяющие уравнения вводят абстрактный псевдовектор площадки  $d\mathbf{S} = (dS \mathbf{n})$  и приходят к такому определяющему уравнению для силы тока:

$$i = \int_S \mathbf{j} d\mathbf{S}. \quad (8)$$

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.

Анализ размерностей уравнения (4) приводит к тому, что размерность  $(\text{div } \mathbf{j})$  соответствует размерности объёмной плотности электрического тока, а размерность  $\rho$  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 гравитинамике под  $Q$  следует подразумевать количество **гравитационных зарядов (гравитационную массу)**.

### **Уравнение непрерывности в электрической проточной системе**

Для электрического тока, текущего через проводник, то есть через проточную систему, уравнение непрерывности записывается в виде:

$$\text{div } \mathbf{j} = 0, \quad (8)$$

где  $\mathbf{j}$  – плотность электрического тока проводимости.

Судя по уравнению (4), это означает, что объёмная плотность среды  $\rho = \text{const}$ , что соответствует действительности, а также означает, что плотность тока  $\mathbf{j} = \text{const}$ . 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 электрического заряда.

Что касается полевой среды, состоящей из безмассовых частиц, то пока можно лишь анализировать ее модели. Например, В.Пакулин считает эти безмассовые частицы вихревыми образованиями, состоящими из гравитонов. В любом случае уравнение (3) можно считать обобщенным уравнением непрерывности, приемлемым для любой среды.

## **2.4. Характеристики физической системы**

### **2.4.1. О формах движения и координатах состояния**

#### **История возникновения понятия “форма движения”**

Затруднительно найти четкое определение словосочетания “форма движения”, хотя оно применяется очень давно и очень часто в самых разных областях человеческой культуры и науки. Оба слова (“форма” и “движение”) определяются порознь.

Пожалуй, впервые это словосочетание, как конкретное понятие, стало применяться в 60-е годы XX века в трудах А.Вейника. В своей монографии 1968 г. А.Вейник ввел тезис о **существовании независимых друг от друга элементарных форм движения. То есть таких форм движения, которые нельзя свести одну к другой или подменить одну другой, каждая из которых качественно отлична от всех остальных форм движения**. Это понятие, в свою очередь, было введено в основной постулат, положенный им в основу нового научного направления, названного им же “энергодинамикой”. Каждая форма движения у А.Вейника характеризовалась зарядом этой формы движения и имела свою форму записи закона сохранения энергии.

На базе этой идеи И.Коган создает новую систему физических величин, названную им энергодинамической системой физических величин (ЭСВ).

В разделе, посвященном состоянию системы, указано, что вместо термина “заряд формы движения”, который использовался А.Вейником, следует применять термин **“координата состояния”**

формы

движения.

**Каждая координата состояния характеризует определенную форму движения.** Например, линейное перемещение характеризует механическую прямолинейную форму движения, угол поворота характеризует механическую вращательную форму движения, изменение электрического заряда характеризует электрическую форму движения и т.д.

Энергодинамика получила дальнейшее развитие в монографиях В.Эткина. Правда, В.Эткин предпочитает говорить о различных **процессах**, а не о **различных формах движения**, но содержание его монографии указывает на то, что он говорит о переходных процессах, происходящих в формах движения. Соответственно, постулат А.Вейника о **существовании различных форм движения** получает у В.Эткина название **аксиомы различимости процессов**.

**Что первично – форма движения или ее координата состояния?**

Из этих двух понятий А.Вейник на первое место поставил форму движения. Но, по мнению И.Когана, это является методологической ошибкой. **Ведь сначала устанавливают, какая должна рассматриваться координата состояния физической системы, а уж потом выбранная координата состояния определяет и форму движения, и все физические величины, характеризующие эту форму движения.**

И.Коган в качестве одного из основных условий систематизации физических величин предложил считать **условие приращений**: “*при систематизации физических величин рассматриваются изменения (или приращения) физических величин, а не их абсолютные значения*”. Подробно это рассматривается в разделе, посвященном этому условию. При этом И.Коган ссылается на теорию автоматического управления, в которой именно **отклонение регулируемого параметра** (читай – приращение координаты состояния) зависит от **внешнего воздействия на систему**. Именно физическое содержание регулируемого параметра определяет и вид уравнения переходного процесса.

В.Эткин 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 приращение координаты состояния. В.Эткин также пишет: “*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.*”

Правда, при одной и той же координате состояния разные авторы могут давать разные названия определяемой ею форме движения. Но название – это, в определенной мере, дело вкуса. Поэтому гораздо **важнее смотреть не на придуманное название формы движения, а на физическое содержание ее координаты состояния.** Большинство же критиков энергодинамики А.Вейника обрушило свой гнев на предложенные им, подчас неудачно, названия форм движения вместо того, чтобы, как советовал Козьма Прутков, смотреть в корень, то есть в содержание определяющих уравнений. Применение понятий “форма движения” и “координата состояния” оказалось весьма продуктивным для решения проблемы систематизации физических величин.

### **Взаимосвязь форм движения и координат состояния**

**Форм движения столько, сколько разных координат состояния.** А координатой состояния может стать почти любая физическая величина.

Однако 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 же 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. И тогда **число рассматриваемых координат состояния становится равным числу рассматриваемых форм движения.**

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.

#### **2.4.2. Состояние физической системы и ее координата состояния**

**Состояние физической системы определяют координаты состояния**

В технике состояние физической системы определяется **численными значениями её параметров**. Слово “параметр” в переводе с греческого языка означает “отмеривающий”. То есть подразумевается, что **свойства физической системы, называемые параметрами, следует измерять**. Поэтому термин “параметр” и применяется чаще по отношению к техническим устройствам.

При теоретическом исследовании изменения состояния физической системы, можно, в принципе, обойтись и **без измерений, заменив их расчетами параметров** по определяющим уравнениям. Поэтому физики для оценки состояния системы **вместо термина “параметр”** предпочитают применять термин **координата состояния**. **Это более обобщающее понятие, чем параметр.**

Сам термин “координата состояния” ввел в механику два века тому назад Ж.Лагранж. Введя в механику термин “координата состояния”, Ж.Лагранж обосновал **принцип виртуальной работы** и выразил этот принцип в виде уравнения, явившегося первой обобщенной записью закона сохранения энергии в механике. Но теперь термин “координата состояния” применяется не только в механике.

Если система характеризуется несколькими координатами состояния, **то изучается столько состояний системы, сколько рассматривается координат состояния.**

### **Какие еще названия имеет координата состояния?**

В физике наряду с термином “**координата состояния**” применяется также термин “**степень свободы** физической системы”. Под термином “**степень свободы**” понимают **независимую переменную координату состояния, определяющую состояние какой-либо формы движения физической системы. Число степеней свободы равно минимальному количеству таких переменных, необходимому для полного описания состояния системы.**

Например, любое тело может двигаться в трёх взаимно перпендикулярных направлениях и вращаться вокруг трех взаимно перпендикулярных осей вращения. Поскольку тело тоже является физической системой, то можно говорить о том, что оно обладает шестью степенями свободы.

По нашему мнению, информативность термина “степень свободы” несколько ниже, чем информативность термина “координата состояния”.

Ряд ученых, занимающихся систематизацией физических величин, предпочитают наряду с термином “координата состояния системы” применять термин “**заряд системы**”. Но эти два термина, по мнению И.Когана, не всегда адекватны. Это мнение объясняется и аргументируется в разделе, посвященном взаимодействию зарядов в физическом поле.

### **Какие бывают состояния физической системы?**

Если какая-либо координата состояния системы все время постоянна (в физике имеют в виду, что она постоянна во времени), то состояние системы, связанное именно с этой координатой состояния называют **равновесным (устойчивым, А.Кононюк)**. В равновесном состоянии находится вся система, если все ее координаты состояния постоянны во времени во всех частях 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. Этот процесс называется **переходным процессом**.

Имеется особый случай, когда координата состояния в каждой точке системы постоянна во времени, но вещество через эту точку может перемещаться. Приведем в пример водопроводную трубу, в которой координатой состояния движущейся воды будем считать какой-нибудь перемещающийся объем воды. Если входной кран перекрыт, то вода в трубе неподвижна, и в этом случае говорят о **статическом равновесии** системы (в переводе с греческого языка “статический” означает “стоящий”, от слова стоять). Если же кран откроют, то вода будет перемещаться по трубе, хотя объем воды в трубе будет оставаться прежним независимо от скорости перемещающейся воды. В этом случае говорят о **динамическом равновесии** системы (в переводе с греческого языка “динамический” означает “движущийся”). **Так что равновесие системы - понятие сложное и неоднозначное.**

Существует состояние **устойчивого равновесия**, когда система, будучи выведенной из равновесного состояния одноразовым воздействием, самостоятельно возвращается в исходное состояние. И существует состояние **неустойчивого равновесия**, когда малейшее, даже случайное воздействие приводит систему к выходу из равновесного состояния, к которому система уже не может вернуться самостоятельно.

### **2.4.3. Графическая характеристика и уравнение состояния физической системы**

#### **Энергетическое воздействие на систему**

Допустим, что мы рассматриваем характеристики физической системы, обладающей только одной формой движения (не важно, какой именно). Чтобы **координата состояния** этой формы движения **изменилась**, в систему необходимо либо **ввести какое-то количество энергии**, дополнительное к тому, которым она располагает, либо **изъять из системы какое-то количество энергии**. Это изменение количества энергии и является **энергетическим воздействием** на систему.

**Энергия является физической величиной**, обозначаемой символом *W*. Энергия может добавляться к системе или выводиться из нее, но энергетическое воздействие на систему всегда является



**внешним фактором по отношению к системе. Изменяется только знак воздействия.** Энергетическое воздействие на систему будем обозначать символом  $dW$ , с точки зрения теории автоматического управления оно является **входным параметром** системы.

При энергетическом воздействии на систему изменяется **координата состояния** рассматриваемой формы движения системы. Обобщенным символом для координаты состояния является символ  $q$ . Приращение координаты состояния  $dq$  с точки зрения теории автоматического управления является **выходным параметром** системы.

Поскольку термины "входной" и "выходной" пришли из теории автоматического управления, их не следует понимать буквально. Под этим понимается только то, что энергетическое воздействие на систему является причиной, а изменение координаты состояния – следствием. Так как и на бытовом уровне выход всегда следует после входа.

### **О характеристике физической системы**

Пусть контрольная поверхность системы проницаема и через нее на систему со стороны окружающей среды оказывается элементарное энергетическое воздействие  $dW$ . Через какой-то участок контрольной поверхности энергия может входить в систему (обозначим ее  $dW_{in}$ ), а через другой участок выходить из нее (обозначим ее  $dW_{out}$ ). Оба эти процесса будем называть **энергообменом**. Участков для входа и выхода энергии может быть сколько угодно. Для системы важно лишь значение суммарного дисбаланса энергообмена системы с окружающей средой, то есть ситуация при  $\Sigma dW_{in} \neq \Sigma dW_{out}$ .

Установление взаимосвязи между энергетическим воздействием на систему и приращением координаты состояния системы является одной из главных задач физики и техники. Эту взаимосвязь можно представить графически в системе координат двух величин ( $W, q$ ). График функции  $q = f(W)$  называют **характеристикой системы**.

### **О видах характеристик физической системы**

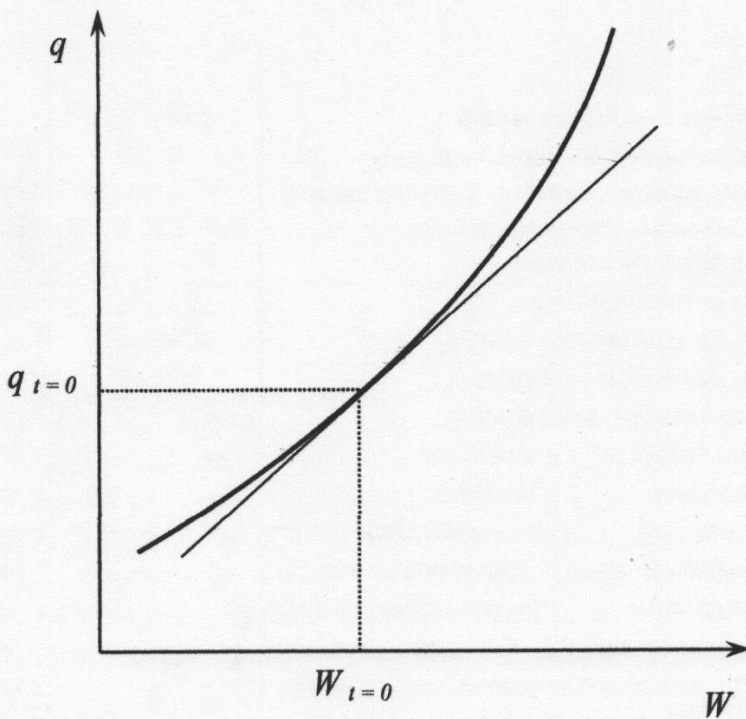
Если характеристика системы является уравнением прямой линии типа  $y=kx+c$ , то график называют **линейной характеристикой**. Правильно было бы сказать – прямолинейной характеристикой. Обычно молчаливо подразумевается, что линейная – это то же самое, что

прямолинейная, но это не так: кривые линии – тоже линии.

Если характеристику системы нельзя свести на интересующем нас участке к уравнению прямой линии, то ее называют **нелинейной характеристикой**. Этот термин тоже неточен по указанной в предыдущем абзаце причине. Уточнять сейчас указанные термины уже практически невозможно, но упоминать об их некорректности необходимо.

Строго говоря, характеристики всех реальных систем нелинейны (не прямолинейны). Но при элементарных воздействиях на систему нелинейность становится практически незаметной, и характеристику условно можно считать линейной. Конечно, при этом допускается определенная погрешность. Главное, чтобы эта погрешность не превосходила допустимых пределов. Если считать воздействие на систему и приращение координаты состояния бесконечно малыми, то и погрешность тоже будет бесконечно малой.

В системе координат  $(W, q)$ , изображенной на рисунке и связывающей координату состояния  $q$  с энергией системы  $W$ , график характеристики системы является кривой линией.



Обязательность наличия кривизны доказана в разделе, посвященном закону сохранения энергии.

### Уравнение состояния физической системы

Систематизация физических величин базируется на рассмотрении не всей характеристики системы. Выбирается какой-то момент времени  $t=0$ , который называют начальным моментом времени, и исследуется, как меняется состояние системы в течение элементарного промежутка времени  $dt$ , прошедшего после начального момента. В физике это называется исследованием поведения системы в динамике. Именно поэтому предлагаемая в данной работе система физических величин называется динамической.

Главной особенностью исследования динамической системы является то, что в ней рассматриваются не абсолютные значения физических величин, а их приращения относительно значений в начальный момент времени. В этом заключается суть условия приращений, лежащего в основе систематизации физических величин.

Поскольку на бесконечно малом участке характеристики ее график можно с бесконечно малой погрешностью считать прямой линией, его можно описать линейным уравнением для  $i$ -ой формы движения

$$dq_i = k_i dW, \quad (1)$$

где  $k_i$  – коэффициент наклона касательной к характеристике системы в точке  $(W_{i=0}, q_{i=0})$ . Энергетическое воздействие  $dW$  в этом уравнении можно не индексировать, так как оно оказывается (сказывается) на столько форм движения, сколько их рассматривается в системе. Уравнение (1) записано для скалярных величин. Если приращение энергии  $dW$  и приращение координаты состояния  $dq$  являются векторными величинами, а это обосновывается в разделе, посвященном энергии как векторной величине, то уравнение (1) может быть записано в виде:

$$dq_i = k_i dW, \quad (2)$$

Если рассматривать конечные приращения, начинающиеся с нулевых значений, то уравнение (2) можно записать в упрощенном виде:

$$q_i = k_i W, \quad (3)$$

Уравнения (1-3) являются **уравнениями состояния**  $i$ -ой формы движения физической системы. В приведенных записях уравнения состояния принцип причинности соблюден, так как приращение координаты состояния  $dq$  (следствие) зависит от энергетического воздействия  $dW$  (причины). Как будет показано в разделе, посвященном детальному анализу уравнения состояния, в ряде других часто применяемых в современной физике вариантах записи уравнения состояния принцип причинности не соблюдается.

Термин "уравнение состояния" в современной физике применяется большей частью в термодинамике и теплотехнике. Однако, поскольку в данной работе речь идет об обобщении физических величин, мы будем применять этот термин для описания состояния любых форм движения в любом разделе физики.

## 2.4.4. Уравнение состояния отдельной формы движения

Частные уравнения состояния (уравнение Клапейрона)

Под уравнением состояния во всех энциклопедиях понимается уравнение, связывающее между собой термодинамические (макроскопические) параметры системы. Независимо от того, в каком виде представлено это уравнение, речь идет о **тепловой (термической) форме движения**, то есть о частном случае. Чаще всего его применяют в виде **уравнения состояния идеального газа** (уравнения Клапейрона). В дифференциальной форме оно записывается так:

$$pdV=RdT, \quad (1)$$

где  $p$  – давление;  $dV$  – изменение объёма;  $R$  – газовая постоянная;  $dT$  – изменение температуры.

Теперь рассмотрим аналогичное уравнение из теории упругости, связывающую деформацию растяжения-сжатия  $\Delta l$  и деформирующую силу  $F$  с накопленной потенциальной энергией  $W_p$  :

$$F\Delta l/2=W_p. \quad (2)$$

И, наконец, приведем уравнение для определения работы  $dA$  силы  $F$  по прямолинейному перемещению тела на расстояние  $ds$ :

$$Fds=dA. \quad (3)$$

Уравнения (2) и (3) совершенно аналогичны по структуре и по физическому содержанию уравнению (1). Различие только в форме (дифференциальная или нет) и в направленности (произведения скалярных или векторных величин в левой части уравнений). Все три уравнения являются частными случаями одного и того же **обобщенного уравнения состояния**, приемлемого для любой формы движения. К определению формы записи обобщенного уравнения состояния системы мы и перейдем.

### Обобщенное уравнение состояния системы

Главной причиной изменения состояния любой физической системы с любой формой движения является энергетическое воздействие на систему  $dW$ . В разделе, посвященном энергии, разъясняется, что  $dW$  является модулем изменения энергии  $dW$ , как векторной величины.

Для упрощения выкладок будем считать, что энергетическое воздействие влияет только на одну  $i$ -ую форму движения. Реально оно, конечно, влияет на все формы движения в системе, но этот более сложный вариант будет рассмотрен в разделе, посвященном закону сохранения энергии.

Как уже было сказано в разделе, посвященном характеристике системы, уравнение, связывающее энергетическое воздействие  $dW$  с приращением координаты состояния  $dq_i$ , называется уравнением состояния  $i$ -ой формы движения физической системы, и оно записывается в виде:

$$dq_i = k_i dW, \quad (4)$$

где  $k_i$  – коэффициент пропорциональности.

### Динамическое воздействие на систему как скалярная величина

В современной физике при записи уравнения состояния предпочитают применять другой коэффициент пропорциональности  $U_i = 1/k_i$  и записывать уравнение (4) в виде:

$$U_i dq_i = dW. \quad (5)$$

Именно из формы записи (5) и вытекает уравнение состояния Клапейрона (1), в котором  $p$  соответствует  $U_i$ ,  $dV$  соответствует  $dq$ , а  $RdT$  соответствует  $dW$ . Газовая постоянная  $R$  выступает в роли размерного коэффициента, учитывающего размерности температуры  $dT$  и энергетического воздействия  $dW$ . Отсюда же вытекает после интегрирования и уравнение (2).

Из уравнения (5) следует, что коэффициент пропорциональности  $U_i = \partial W / \partial q_i$ . Физическое содержание коэффициента  $U_i$  заключается в том, что он является удельной производной величиной

(энергетическим воздействием  $dW$ , приходящимся на единицу приращения координаты состояния  $dq_i$ ).

Удельная величина  $U_i$  также является характеристикой воздействия на систему, она также определяет характер перехода системы из одного состояния в другое, то есть характер переходного процесса. Поэтому она названа **динамическим воздействием** на систему (в данном случае – на ее  $i$ -ую форму движения).

### Динамическое воздействие на систему как векторная величина

Уравнение (3) показывает, что динамическое воздействие и приращение координаты состояния вполне могут быть векторными величинами. Это, например, сила  $\mathbf{F}$  в механической прямолинейной форме движения и вращающий момент  $\mathbf{M}$  в механической вращательной форме движения. Определяющее уравнение для динамического воздействия, как векторной величины, записывается, в отличие от уравнения (5), в виде:

$$\mathbf{U}_i = \partial \mathbf{W} / \partial q_i = (\partial W / \partial q_i) \mathbf{e}_U, \quad (6)$$

где  $\mathbf{e}_U$  – орт вектора динамического воздействия. Если динамическое воздействие  $\mathbf{U}_i$  и приращение координаты состояния  $dq_i$  являются векторными величинами, то энергетическое воздействие  $dW$  является результатом их скалярного произведения. И вместо уравнения (5) следует записывать уравнение состояния в виде:

$$\mathbf{U}_i dq_i = dW \quad (7)$$

или

$$[\mathbf{U}_i dq_i] = dW. \quad (8)$$

В современной физике уравнения состояния (7) и (8) записывают в виде:

$$dW = \mathbf{U}_i dq_i \quad (9)$$

или

$$dW=[U_i dq_i]. \quad (10)$$

Однако запись уравнения состояния в виде (9) и (10) нарушает принцип причинности. В разделе, посвященном характеристике физической системы, показано, что приращение координаты состояния  $dq_i$  является следствием энергетического воздействия  $dW$  на систему. Ранее было показано, что динамическое воздействие  $U_i$  является лишь коэффициентом пропорциональности.

И.Коган осознает, что после школьного курса физики сложно привыкнуть к тому, что в прямолинейной форме движения работа силы  $dA$  является энергетическим воздействием на тело, как на физическую систему, то есть причиной его прямолинейного движения. А сила  $F=(dA/ds)e_F$  является следствием совершаемой работы. Но это именно так. Силу мы ощущаем и можем измерить, поэтому-то она в нашем воображении выступает как причина совершенной работы, а не как ее следствие.

Имеется и еще один повод, оправдывающий применение уравнения состояния в форме записи (9) и (10). Например, при воздействии на систему со стороны физического поля именно сила взаимодействия зарядов поля становится причиной совершения работы поля над системой. В приведенном в качестве примера уравнении  $dA=Fds$  силой  $F$  оказывается сила тяготения либо кулоновская сила. И тогда при записи уравнения состояния в форме (6) отсутствует нарушение принципа причинности.

### Главное определяющее уравнение

Все уравнения (5-10) являются разными формами записи того, что мы назвали **главным определяющим уравнением**. В общем случае принципу причинности соответствует запись главного определяющего уравнения в форме (5), или (7), или (8), а при воздействии на систему физического поля справедлива запись главного определяющего уравнения в форме (9) или (10).

В теории автоматического управления причиной изменения состояния системы считают динамическое воздействие  $U_i$ , а не энергетическое воздействие  $dW$ , хотя это *не всегда обосновано*. Причина такой расстановки акцентов в теории автоматического управления разъяснена в разделе, посвященном переходному процессу в системе.



### **Об отличии разности динамических воздействий от разности потенциалов**

В тех случаях, когда на  $i$ -ую форму движения системы на нескольких разных участках контрольной поверхности системы оказывают влияние несколько энергетических воздействий  $dW$ , следует их сложить и записать уравнение (6) в виде:

$$\mathbf{U}_\Sigma = \sum_i (\partial W_\Sigma / \partial q_i)_0 \mathbf{e}_{U_\Sigma}, \quad (11)$$

где **равнодействующая динамических воздействий**  $\mathbf{U}_\Sigma$  является векторной суммой динамических воздействий на разные участки контрольной поверхности, а нижний индекс 0 указывает на то, что при суммировании каждое слагаемое относится только к какой-нибудь одной  $i$ -ой форме движения. Но  $\mathbf{U}_\Sigma$  можно называть и **разностью динамических воздействий**.

В современной физике  $U_i$  или  $\mathbf{U}_\Sigma$  часто называют разностью потенциалов, но это не совсем точно. **Разность потенциалов** – это **физическая величина, характеризующая физическое поле**, и она подробно рассматривается в разделе, посвященном потенциалу поля. **Разность потенциалов является частным случаем разности динамических воздействий**.

В качестве примеров векторной разности динамических воздействий приведем перепад давлений на противоположных концах трубы  $\Delta p$ , обуславливающий течение в ней жидкости, перепад давлений по обе стороны поверхности ёмкости, содержащей газ, электрическое напряжение на зажимах проводника  $\Delta U$ , обуславливающее электрический ток в проводнике (более подробно об этом в разделе, посвященном условию направленности).

Между динамическим воздействием  $U_i$  и разностью динамических воздействий  $\mathbf{U}_\Sigma$  имеется небольшое различие. Оно заключается в характере взаимодействия системы с окружающей ее средой и с другими системами. Это разъясняется в разделе, посвященном классификации физических систем.

### 2.4.5. Закон сохранения энергии в виде обобщенного уравнения состояния

#### Основная современная форма записи закона сохранения энергии

В разделе, посвященном уравнению состояния физической системы, мы рассмотрели систему, обладающую только одной формой движения. **Но форм движения внутри системы может быть много.** И тогда уравнение состояния системы со многими формами движения в современной физике записывают, например, так (В.Сычев):

$$dW = \left( \frac{\partial W}{\partial q_1} \right)_0 dq_1 + \left( \frac{\partial W}{\partial q_2} \right)_0 dq_2 + \dots = \sum_{i=1}^n dW_i. \quad (1)$$

В скобках записаны частные производные от полного энергетического воздействия на систему  $dW$  по приращению координаты состояния  $dq_i$  в каждой  $i$ -ой форме движения, рассматриваемой в системе. Нижний индекс "0" после каждой скобки означает, что при дифференцировании энергетического воздействия на  $i$ -ую форму движения не учитываются приращения координат состояния в других формах движения системы. Это подчеркивает важность точного выбора координаты состояния при исследовании  $i$ -ой формы движения.

*Выбрав в уравнении (1) координату состояния  $q_i$ , мы тем самым выбираем ту форму движения, которую будем рассматривать.* Таким образом полное энергетическое воздействие на систему  $dW$  можно представить в виде суммы энергетических воздействий на отдельные формы движения системы, то есть в виде  $\sum_i dW_i$ .

Если предположить, что энергообмен между системой и средой отсутствует во всех формах движения (или, если и присутствует, то баланс этого энергообмена равен нулю), то можно положить в уравнении (1)  $\sum_i dW_i = 0$ . И тогда это будет означать, что суммарная энергия рассматриваемой системы постоянна и что сумма изменений энергий разных форм движения внутри системы тоже является постоянной величиной. При этих условиях уравнение состояния (1) является математической записью закона сохранения энергии системы.

### **Как следует записывать закон сохранения энергии в соответствии с принципом причинности**

Принцип причинности требует, чтобы при записи любых определяющих уравнений в физике причина (аргумент) находилась в правой части уравнения, а следствие (функция) находилось в левой части уравнения. Следовательно, при записи закона сохранения энергии в уравнении (1), казалось бы, следует поменять местами левую и правую части.

Форма записи (1) дает возможность понять, почему в ней не удастся соблюсти принцип причинности. Ведь *энергетическое воздействие теоретически изменяет координаты состояния во всех формах движения системы*. Необходимость математической констатации этого утверждения вынуждает ради удобства обозрения ставить энергетическое воздействие в левую часть уравнения (1) вместо правой, где оно должно было бы стоять в соответствии с принципом причинности. Это один из примеров отхода от физического содержания ради удобства математической записи, один из примеров влияния математизации физики без должного внимания к физическому содержанию.

Но указанное обстоятельство не оправдывает тот факт, что о нарушении принципа причинности при записи закона сохранения энергии в виде (1) не упоминается ни в учебниках, ни в процессе преподавания.

### **Другие формы записи обобщенного уравнения состояния**

Если сравнить уравнение состояния  $i$ -ой формы движения  $U_i dq_i = dW$  и уравнение (1), то становится ясно, что суммарное энергетическое воздействие  $\sum_i dW_i$  является суммой энергетических воздействий на каждую из форм движения в системе. И каждая частная производная в уравнении (1) является динамическим воздействием  $U_i$  в  $i$ -ой форме движения. Это подтверждает: *выбрав координату состояния, мы выбираем также и физическое содержание динамического воздействия*.

Приведем примеры. Если в механической прямолинейной форме движения координатой состояния выбрано перемещение, то в роли динамического воздействия оказывается сила (а вовсе не по причине

того, что сила вызывает перемещение). Если в электрической форме движения координатой состояния является изменение электрического заряда, то в роли динамического воздействия оказывается разность электрических потенциалов. Если в гидравлической форме движения (при течении жидкости в трубе) координатой состояния выбрано изменение объёма втекающей (или вытекающей) жидкости, то в роли динамического воздействия оказывается перепад давлений.

Что же касается энергетического воздействия, то **энергия** – это **основная физическая величина**, этим она принципиально отличается и от координаты состояния, и от динамического воздействия. **Энергия в любых формах движения имеет одну и ту же размерность, оценивается в одних и тех же единицах.**

Вместо уравнения (1) обобщенное уравнение состояния можно записать в более легко читаемом виде:

$$\sum_i U_i dq_i = dW, \quad (2)$$

или в виде произведения векторных величин:

$$\sum_i \mathbf{U}_i d\mathbf{q}_i = dW. \quad (3)$$

Именно в таком виде, только поменяв местами левую и правую части и нарушив при этом принцип причинности, записал обобщенное уравнение состояния основатель энергодинамики А.Вейник. В конце XX века В.Эткин расширил запись обобщенного уравнения состояния и, в отличие от уравнения (1), записал его для неравновесной и неоднородной физической системы в виде суммы трёх сумм (все термины и символы приведены в редакции В.Эткина):

$$dW \equiv \sum_i (\Psi_i d\theta_i) + \sum_i (\mathbf{F}_i d\mathbf{r}_i) + \sum_i (\mathbf{M}_i d\phi_i), \quad (4)$$

где  $\Psi_i$  – обобщенный потенциал  $i$ -ой формы движения системы;  $d\theta_i$  – приращение координаты состояния  $i$ -ой термостатической формы движения системы;  $\mathbf{F}_i$  – сила, действующая на центр системы при перераспределении параметра  $\theta_i$ ;  $d\mathbf{r}_i$  – перемещение радиуса центра системы в процессе перераспределения параметра  $\theta_i$  внутри системы;  $\mathbf{M}_i$  – крутящий момент, переориентирующий систему;  $d\phi_i$  – угловое перемещение радиуса центра системы в процессе

переориентации параметра  $\theta_i$  внутри системы.

В уравнении (4) первое слагаемое суммирует произведения скалярных величин, а вторые два слагаемые суммируют скалярные произведения векторных величин.

Уравнения (2) и (4) при  $dW_i = 0$  представляют собой записи закона сохранения энергии как для равновесных, так и для неравновесных физических систем. В частности, они позволили создать единую структуру таблиц энергодинамической системы физических величин ЭСВ, приведенную ранее в работах И.Когана и в данной работе, применяя в этих таблицах как скалярные, так и векторные приращения величин.

## 2.5. Динамика физической системы

### 2.5.1. 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 слово “динамика” словом “сила”. Вторая послужила основой формулировки в Интернет-словаре Грамота.ру, где приведен другой перевод – словом “действующий”. Соответственно, и лексический смысл этого слова имеет два разных толкования. Интернет-энциклопедия Википедия несколько обобщает первую формулировку, вместо понятия “сила” говорится о “*причинах возникновения механического движения*”.

Из приведенных формулировок видно, что вторая 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.**

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. Но справедливости ради надо сказать, что именно механика лежит в основе всей физики. Введение Ф.Канаревым 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 направлений, использующих слово “динамика”, причем содержание этого слова варьируется в достаточно широких пределах. Появились новые словосочетания: энергодинамика (А.Вейник, В.Эткин), эфиродинамика (В.Ацюковский), ритмодинамика (Ю.Иванов), механодинамика (Ф.Канарев) и проч.

### **Какие физические величины определяют динамику?**

В разделе, посвященном взаимосвязи материи и движения, показано, что движение – это основное свойство материи. А характеристикой любого свойства физического объекта по метрологическому определению является физическая величина.

И поскольку движение всегда направлено, то характеристика движения является векторной величиной и должно иметь свой модуль, характеризующий движение количественно. В современной физике рассматривают только этот модуль: скалярную величину, называемую “энергией”. Но в разделе, посвященном энергии, показано, что энергия, как характеристика движения, является векторной величиной.

Энергия, как и движение, ни от чего не зависит, то есть является величиной инвариантной, естественной основной физической величиной. Это описано в разделе, посвященном выбору комплекта естественных основных физических величин.

И.Коган понимает спорность выдвинутого им предложения. **Но ведь современная физика считает и время формой существования материи.** Тем не менее, никто не возражает против того, чтобы считать время основной физической величиной. Длина тоже считается основной физической величиной. Если время и длину можно считать основными физическими величинами, то еще с большим основанием можно считать основной физической величиной энергию.

В работах И.Когана, посвященных созданию обобщенной системы физических величин ЭСВ (энергодинамическая система физических величин), включая данную работу, как раз и предлагается такой комплект естественных основных физических величин, в котором первой по списку идет “энергия”. А масса в ЭСВ является всего лишь производной величиной.

### **Об уравнении, определяющем динамику**

Возвратимся к слову “динамика». Его формулировку следует расширить и углубить дополнением: потоки энергии в пространстве и во времени являются причинами развития любых процессов в любой форме движения.

Противоположным динамике по значению словом является слово “статика”, предполагающее отсутствие движения, отсутствие развития. Состояние физической системы в статике определяется уравнением состояния, в котором **отсутствует такая физическая величина, как время, поскольку в уравнении состояния не учитывается переходный процесс, а приводятся лишь последствия этого процесса.**

Для учета состояния физической системы в динамике необходимо ввести в уравнение состояния уравнение, описывающее переходный процесс, в котором основную роль должно играть **время**. Такое уравнение называется **уравнением динамики** переходного процесса, и его описание приводится в отдельном разделе работы.

### **Как важнейшие термины отошли от своего изначального значения**

Слово энергия (energeia) в переводе с греческого языка означает действие, деятельность. Но энергия – это еще и мера 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 с учетом того, что кинематика изучается раньше динамики, то получается, что следствие изучается раньше причины. Такая вот метаморфоза.

Еще один любопытный пример развития терминологии. “Раздел теоретической механики, объединяющий динамику и статику”, называется **кинетикой**. Этот термин произошел от греческого слова kinetikos - двигательный, приводящий в движение. Но тогда при чем тут статика?

Ссылаться на первоначальные значения слов сейчас, по-видимому, уже нет резона. Но понимать это не мешает.

### 2.5.2. Обобщенное уравнение динамики системы

В разделе, где обсуждалось изменение состояния системы, ничего не было сказано о том промежутке времени, который необходим для того, чтобы система перешла из одного состояния в другое, в котором у нее будет уже новое значение координаты состояния, и о характере этого перехода. Процесс перехода физической системы в новое состояние называется **переходным процессом**.

Уравнение, описывающее зависимость приращения координаты состояния системы от значения динамического воздействия на систему в функции от времени называется **обобщенным уравнением динамики системы** или **уравнением движения системы**.

#### Существующие формы записи уравнения динамики

В современной физике уравнением динамики часто называют второй закон Ньютона  $ma = F$ . Как будет показано ниже, **этот закон является лишь частным случаем обобщенного уравнения динамики**.

Форма современной записи **уравнения динамики системы** совпадает с уравнением вынужденных колебаний, записанным в виде:

$$a_0q + a_1(dq/dt) + a_2(d^2q/dt^2) = U, \quad (1)$$



где  $q$  – координата состояния формы движения системы (например, электрический заряд или перемещение);  $a_0$ ,  $a_1$  и  $a_2$  – коэффициенты пропорциональности при производных от координаты состояния по времени  $t$ ;  $U = U_m \cos \omega t$  – динамическое воздействие на систему, где  $U_m$  – максимальное значение динамического воздействия на систему;  $\omega$  – частота колебаний.

Уравнение (1) для системы с  $i$  формами движения И.Коган предлагает записать и так :

$$\sum_{k=0}^m a_{ki} \frac{d^k q_i}{dt^k} = U_i, \quad (2)$$

где  $k$  – порядок производной по времени;  $m$  – наибольший порядок производной, ограничиваемый в современной физике числом 2.

### Скалярное обобщенное уравнение динамики системы

Имеется два важных нюанса при рассмотрении уравнения динамики системы. Первый нюанс заключается в том, что в уравнениях (1) и (2) присутствует абсолютное значение динамического воздействия  $U$ , а в первом слагаемом левой части записано абсолютное значение координаты состояния  $q$ . Это противоречит условию приращений, согласно которому **систематизация физических величин возможна лишь при рассмотрении приращений физических величин, а не их абсолютных значений**. Приращения динамического воздействия  $U$  и координаты состояния  $q$  являются разностями между текущими значениями приращений и их значениями в момент времени начала переходного процесса и поэтому их следует выделить нижним индексом, например, индексом "cv" (от английских слов current value – текущее значение), то есть записывать в виде  $\Delta U_{cv}$  и  $\Delta q_{cv}$ .

Производная по времени может быть записана как в виде  $d(\Delta q)/dt$ , так и в виде  $dq/dt$ , так как функции  $q(t)$  и  $\Delta q(t)$  имеют одинаковый характер

и отличаются только расположением начала координат на оси ординат, что более подробно пояснено в разделе, посвященном приращению координаты состояния. В скалярном уравнении динамики проще выглядит запись  $dq/dt$ .

Второй нюанс вытекает из того, что в Природе не существуют причин, по которым можно ограничить значение порядка производной  $m$  в уравнении (2) числом 2. В левой части уравнения динамики могут быть слагаемые с производными по времени третьего и последующих порядков. На практике эти слагаемые учитывают, но редко. Поэтому наиболее полная форма записи обобщенного уравнения динамики системы выглядит так:

$$a_0\Delta q_{cv} + a_1 dq_{cv}/dt + a_2 d^2 q_{cv}/dt^2 + \dots = \Delta U_{cv}. \quad (3)$$

Отметим также, что производные  $d(\Delta q)/dt = dq/dt$  и  $d^2(\Delta q)/dt^2 = d^2 q/dt^2$  имеют ненулевые значения только в течение переходного процесса. В начале и по завершении переходного процесса (при переходе системы в новое состояние) они равны нулю, что позволяет определить конечное приращение координаты состояния  $\Delta q$  за конечный интервал времени  $\Delta t$ . По завершению переходного процесса уравнение динамики упрощается до уравнения:

$$a_0\Delta q = \Delta U, \quad (4)$$

где  $\Delta U$  – разность начального и конечного значений динамического воздействия за весь период переходного процесса.

Уравнение динамики системы удобно использовать для анализа такой модели движения, в которой энергетическое воздействие (а, следовательно, и динамическое воздействие) возникает скачкообразно. Непрерывный процесс изменения координаты состояния в этом случае заменяется дискретной последовательностью квазистатических равновесных процессов, длящихся в течение бесконечно малых интервалов времени  $dt$ .

В реальных процессах энергетическое воздействие  $dW$  изменяется не скачками, а непрерывно, и промежуточные состояния системы не рассматриваются. Реальная система всегда находится в движении, равновесных состояний у нее практически не бывает. Неравновесные процессы подробно анализируются в монографии В.Эткина.

Однако 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. Зато допущение дискретизации позволяет соблюсти **принцип линеаризации** малых приращений, согласно которому значения коэффициентов  $a_0$ ,  $a_1$  и  $a_2$  в уравнениях динамики (1,3) можно считать постоянными.

### **Векторное обобщенное уравнение динамики системы**

Если векторными величинами являются как приращение динамического воздействия  $\Delta U$ , так и приращение координаты состояния  $\Delta q$ , то векторными величинами являются и обе производные по времени от приращения координаты состояния:  $d(\Delta q)/dt$  и  $d^2(\Delta q)/dt^2$ . Поэтому, учтя это и все предыдущие замечания, уравнение динамики системы (3) следует записать в векторном виде для текущих значений динамического воздействия и координаты состояния  $\Delta U_{cv}$  и  $\Delta q_{cv}$  так:

$$a_0 \Delta q_{cv} + a_1 d\Delta q_{cv}/dt + a_2 d^2 \Delta q_{cv}/dt^2 + \dots = -\Delta U_{cv}, \quad (5)$$

Знак “—” в правой части уравнения (5) появился потому, что вектор разности динамических воздействий  $\Delta U$  противоположен по направлению вектору приращения координаты состояния  $\Delta q$ .

**Именно из уравнения (5) вытекает в качестве частного случая второй закон Ньютона  $ma = F$ , где  $m$  – инертная масса. Этот закон часто называют в физике уравнением динамики. Однако второй закон Ньютона является уравнением динамики лишь в механической прямолинейной форме движения, при условии, что в уравнении (5)  $a_0 = a_1 = 0$ ,  $a_2 = m$ ,  $\Delta q = \Delta x$ , а  $\Delta U = -\Delta F$ . Таким образом, второй закон Ньютона можно назвать уравнением динамики системы лишь при пренебрежении влиянием трения и сжимаемостью тела.**

Обращаем особое внимание на то, что приращение динамического воздействия  $\Delta U$  за промежуток времени  $\Delta t$  отличается от разности динамических воздействий  $U_{\Sigma}$  принципиально. Приращение динамического воздействия  $\Delta U$  является разностью значений  $U$  в начальный и конечный моменты времени переходного процесса и применяется в уравнении динамики системы. А разность динамических

воздействий  $U_{\Sigma}$  является разностью значений  $U$  на разных участках контрольной поверхности системы в один и тот же момент времени и применяется в уравнении состояния системы.

### 2.5.3. Параметры системы при переходном процессе

Сразу отметим, что обобщенное уравнение переходного процесса в системе соответствует третьему закону Ньютона в обобщенном виде, и этот закон может быть сформулирован так: **сумма противодействий системы равна динамическому воздействию на систему**. А параметры системы (жесткость, сопротивление и инертность) являются коэффициентами при слагаемых обобщенного уравнения динамики.

#### Параметры системы в каждой форме движения

Повторим подробно описанные в разделе, посвященном обобщенному уравнению динамики, скалярное и векторное уравнения динамики, описывающие поведение системы в течение переходного процесса:

$$a_0 \Delta q_{cv} + a_1 dq/dt + a_2 d^2q/dt^2 + \dots = -\Delta U_{cv}$$

или

$$a_0 \Delta \mathbf{q}_{cv} + a_1 d\mathbf{q}/dt + a_2 d^2\mathbf{q}/dt^2 + \dots = -\Delta U_{cv}, \quad (1)$$

где  $\Delta U_{cv}$  и  $\Delta q_{cv}$  (или  $\Delta U_{cv}$  и  $\Delta \mathbf{q}_{cv}$ ) – это разности между текущим значением приращений динамического воздействия и координаты состояния и их значением в момент времени начала переходного процесса.

Коэффициенты  $a_0$ ,  $a_1$  и  $a_2$  в обобщенном уравнении динамики системы являются конструктивными характеристиками системы для каждой конкретной формы движения. Поэтому их обычно называют **параметрами системы**. Для каждой формы движения имеет свой набор таких параметров системы. Поэтому выбор физического содержания координаты состояния  $q$  определяет и физическое содержание параметров системы в конкретной форме движения. **Сколько в системе конкретных форм движения, столько и комплектов параметров.**

В научной литературе устоялись определенные названия параметров

системы и их обозначения. Вот они:  $a_0$  – **жесткость** системы (символ  $D$ ),  $a_1$  – **сопротивление** системы (символ  $R$ ),  $a_2$  – **инертность** системы (символ  $I$ ). Наравне с ними применяются и величины, обратные этим параметрам:  $1/a_0$  – **ёмкость, податливость, упругость** системы (символ  $C$ ),  $1/a_1$  – **проводимость** системы (символ  $Y$ ). Величина  $1/a_2$ , называемая **подвижностью** системы (символ  $M$ ), применяется редко.

С учетом этой устоявшейся символики уравнения (1) перепишем в виде:

$$D \Delta q_{cv} + R dq/dt + I d^2q/dt^2 + \dots = - \Delta U_{cv}$$

или

$$D \Delta \mathbf{q}_{cv} + R d\mathbf{q}/dt + I d^2\mathbf{q}/dt^2 + \dots = - \Delta \mathbf{U}_{cv}, \quad (2)$$

**Параметры системы определяют противодействия системы внешнему воздействию на нее**

Обобщенное уравнение динамики системы (1) свидетельствует о том, что динамическое воздействие на систему в любой форме движения вызывает одновременно несколько противодействий, которые суммируются друг с другом. Количество этих противодействий равно сумме слагаемых в левой части уравнения (1). Поэтому **обобщенное уравнение динамики системы соответствует третьему закону Ньютона в расширенном виде.**

А поскольку второй закон Ньютона, как показано в разделе, посвященной обобщенному уравнению динамики, является частным случаем уравнения динамики, то из этого следует, что **второй закон Ньютона входит в третий закон Ньютона тоже в качестве частного случая.**

Текущее значение внешнего динамического воздействия на систему  $\Delta U_{cv}$  за время протекания переходного процесса равно сумме текущих значений трех противодействий системы, взятой с обратным знаком.

Обозначим слагаемые этой суммы **противодействий системы** так:

$$U_D = D\Delta q_{cv} = \Delta q_{cv}/C \quad (3)$$

– **противодействие жёсткости  $D$**  (или противодействие ёмкости  $C$ ),

$$U_R = R dq/dt \quad (4)$$

– **противодействие сопротивления  $R$**  (или диссипативное противодействие),

$$U_I = I d^2q/dt^2 \quad (5)$$

– **противодействие инертности  $I$** .

Таким образом обобщенное уравнение динамики системы в записи (2) с учетом вновь введенных обозначений противодействий (3-5) и без учета многоточия в левой части можно записать в таком виде:

$$U_D + U_R + U_I = -\Delta U_{cv}$$

или

$$U_D + U_R + U_I = -\Delta U_{cv}. \quad (6)$$

Заметим попутно, что крылатая фраза “*Действие равно противодействию*” не соответствует принципу причинности. На самом деле всё наоборот, **противодействие равно действию**, так как **воздействие предшествует противодействию**, а **противодействие следует после воздействия**.

Добавим, что состояние системы может измениться не только вследствие внешнего воздействия, но и вследствие изменения значений параметров системы  $D$ ,  $R$  и  $I$ , поскольку это влечет за собой нарушение баланса между динамическим воздействием и суммой противодействий согласно уравнениям (2) и (6). 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, приращения координаты

состояния и его производных по времени, по формулам:

$$D=U_D/\Delta q_{cv}, \quad (7)$$

$$R=U_R/(dq/dt), \quad (8)$$

$$I=U_I/(d^2q/dt^2). \quad (9)$$

Важно подчеркнуть, что параметры системы являются конструктивными свойствами системы и присутствуют в системе независимо от того, в каком состоянии находится система: в равновесном или неравновесном. Но определить экспериментально значения этих параметров можно, лишь используя внешнее воздействие на систему, то есть при неравновесном состоянии.

### **Изменение противодействий системы в течение переходного процесса**

Все **противодействия** являются **функциями времени**. В разделе "Классификация физических систем" подробно рассмотрен характер зависимостей противодействий системы от времени, где показано, что соотношение между значениями противодействий в течение переходного процесса меняется. В начале переходного процесса в сумме противодействий превалирует противодействие инертности  $U_I$ , но его доля быстро уменьшается, а вместе с этим возрастает доля диссипативного противодействия  $U_R$ .

По ходу переходного процесса все большую роль начинает играть противодействие жёсткости  $U_D$ . По мере приближения к концу переходного процесса противодействия инертности  $U_I$  и сопротивления  $U_R$  устремляются к нулю, а значение разности динамических воздействий  $\Delta U_{cv}$  устремляется к конечному значению противодействия жёсткости  $U_D$ . По завершению переходного процесса противодействие жёсткости становится равным  $U_D=D\Delta q$  (или  $U_D=\Delta q/C$ ).

Длительность переходного процесса существенно зависит от инертности системы. Для одних форм движения эта длительность весьма значительна (например, для тепловых форм движения), для других – может быть практически незаметной (например, в **электрических формах движения**). Но в любом случае знание значений параметров системы ( $D$ ,  $R$  и  $I$ ) необходимо.

Подстановка динамического воздействия  $U$  из обобщенного уравнения динамики системы (1) в уравнение состояния, позволяет записать уравнение состояния для любой формы движения с использованием теории функций комплексного переменного в таком виде:

$$dq = \pm [2dW / (a_0 + a_1s + a_2s^2)]^{1/2}, \quad (10)$$

где  $s = d/dt$  – дифференциальный оператор. Уравнение состояния в форме записи (10) полностью соответствует принципу причинности, но его применение требует предварительного ознакомления с **теорией функций комплексного переменного**. Такую форму представления уравнения состояния обычно в физике не применяют. Теория функций комплексного переменного широко применяется при анализе динамики протекания переходных процессов в теории автоматического регулирования, где она существенно облегчает процесс расчета систем управления. В физике она применяется реже.

### Уравнение переходного процесса

С точки зрения систематизации физических величин уравнение динамики системы в любой предыдущей форме записи не учитывает одно важное обстоятельство. **На поведение любой системы может влиять изменение физического поля, в котором находится заряженная система.** При переходном процессе система может изменить свое положение в этом физическом поле, и тогда **напряженность физического поля** в том месте, в которое переместится система, **будет уже иной**. Система может изменить ориентацию по отношению к силовым линиям физического поля. Наконец, может измениться напряженность поля. Либо может произойти и то, и другое, и третье вместе.

Следовательно, в левую часть уравнения (6) следует добавить еще одно противодействие – **противодействие физического поля**  $U_f$ . Это отражается изменением записи уравнения (6), которое должно выглядеть так:

$$U_f + U_D + U_R + U_I = -\Delta U_{cv}$$

или



$$U_f + U_D + U_R + U_F = -\Delta U_{cv}. \quad (11)$$

Уравнение (11) будем называть **уравнением переходного процесса**.

Что касается варианта с изменением напряженности поля, то этот процесс рассматривается в разделе, посвященном взаимодействию физического поля и физической системы.

#### **2.5.4. О терминологической некорректности в понятиях некоторых параметров системы**

Параметры системы в любой форме движения – это коэффициенты  $a_0$ ,  $a_1$  и  $a_2$  из скалярного или векторного уравнения динамики системы

$$a_0 \Delta q + a_1 dq/dt + a_2 d^2q/dt^2 + \dots = -U, \quad (1)$$

представленного в разделе, посвященном переходному процессу.

Повторим общепринятые названия коэффициентов из уравнения (1) и их символы:  $a_0$  – **жесткость** (символ  $D$ ),  $a_1$  – **сопротивление** (символ  $R$ ),  $a_2$  – **инертность** (символ  $I$ ),  $1/a_0$  – **ёмкость, податливость, упругость** (символ  $C$ ),  $1/a_1$  – **проводимость** (символ  $Y$ ) и  $1/a_2$  – **подвижность** (символ  $M$ ).

К сожалению, в научной и учебной литературе нередко встречаются не обоснованные и даже ошибочные применения указанных терминов. Приведем наиболее существенные примеры.

#### **Надо ли все параметры системы называть сопротивлениями?**

Иногда высказываются предложения называть все коэффициенты уравнения динамики системы сопротивлениями. Но можно ли, например, жесткость именовать сопротивлением, как это иногда делается? В.Эткин считает, что, в принципе, можно. Он предложил называть все коэффициенты уравнения динамики сопротивлениями. **На взгляд И.Когана, 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 динамическому воздействию  $U$** . Все **три противодействия имеют различное физическое содержание и характер их изменения во время переходного процесса совершенно различен** (см. графики рисунка г в разделе, посвященном динамике переходного процесса). Поэтому распространять термин “сопротивление” на все три вида противодействия, по-видимому, не следует. Не говоря уже о том, что термин “сопротивление” закрепился в метрологии и в учебных пособиях за коэффициентом  $R$  из уравнения динамики, то есть за **диссипативным сопротивлением**.

Наконец, если все параметры системы назвать сопротивлениями, все равно придется расшифровывать термин “сопротивление” каким-нибудь поясняющим дополнительным словом, так что выигрыша не будет, а усложнение будет налицо.

### **Стоит ли заменять жёсткость упругостью или ёмкостью?**

Логичнее применять сами 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**. Следует разьяснять при обучении, что **ёмкость в электродинамике и упругость в механике характеризуют способность системы накапливать потенциальную энергию соответствующей формы движения**. Соответственно этому, жесткость характеризует уменьшение способности системы накапливать потенциальную энергию.

Замена жесткости  $D$  в уравнении динамики для механической системы ёмкостью  $C$  в уравнении динамики для электрической системы приводит к тому, что форма записи аналогичных по физическому содержанию уравнений динамики в механике и в электродинамике становится различной. К этому все привыкли, но хорошего в этом мало. Это относится как к самому уравнению динамики, так и к уравнению, описывающему колебания системы, и к формулам для расчета собственной частоты колебаний.

## **К чему приводит путаница между сопротивлением и жёсткостью в механике и в магнетизме**

Бывают такие системы, в которых единственным учитываемым параметром является жесткость. И тогда, имея в виду именно жесткость, неверно говорят о сопротивлении. Наглядным примером этого является тот случай, когда говорят о сопротивлении пружины сжатия, имея в виду вовсе не диссипативное сопротивление материала пружины, а жесткость пружины, измеряемую в Н/м. 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.

В этой связи обратим внимание на важный пример, когда нечеткость в терминологии становится элементарной ошибкой. 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 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 **жёсткостью 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 не точен 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 возможности исправить.

В приведенном случае с параметрами магнитной цепи следует **обязательно внести соответствующие исправления в метрологические стандарты и в учебники по физике**. На эту терминологическую ошибку было указано еще в работе И.Когана, опубликованной в ведущем российском метрологическом журнале, но никакой реакции метрологов пока не последовало.

### **Сопротивляются ли жидкости и газы сдвигу?**

В современной механике укоренилось мнение, что жидкие и газообразные среды не обладают сопротивлением сдвигу. Но сразу же 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.

И в данном случае имеет место терминологическая путаница. **Жидкости и газы в действительности 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 поверхностными.

## **2.6. Виды энергии и законы сохранения**

### **2.6.1. Об отличительных признаках форм энергии и видов энергии**

Показано, что в определениях форм и видов энергии наблюдается большое разнообразие, если не сказать путаница. Поэтому

определениям “формы энергии” и “виды энергии” приданы четкость и физическое содержание. Приведена схема форм и видов энергообмена

### **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. Но и в самой физике в вопросе систематизации этих дополнений и определений тоже нет четкости. И прежде всего этого касается понятий “формы энергии” и “виды энергии”.

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*”. (Здесь и далее подчеркивания в цитатах И.К.). 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. Но можно привести и примеры путаницы.

В метрологическом справочнике А.Чертова 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 справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа приведено такое словосочетание: “*различные виды (формы) энергии*”. Здесь формы и виды энергии приравнены друг другу. В учебнике по физике И.Савельева энергия 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.

О.Бондаренко и С.Кадыров 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 вводит понятия упорядоченных и неупорядоченных форм 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).

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, и это сделано в работах И.Когана.

### **Что следует назвать формами энергии и видами энергии?**

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, форма является более общим, а вид – менее общим понятием. Следовательно, вид должен входить в форму как ее составная часть. Применим этот вывод к понятию “энергия”.

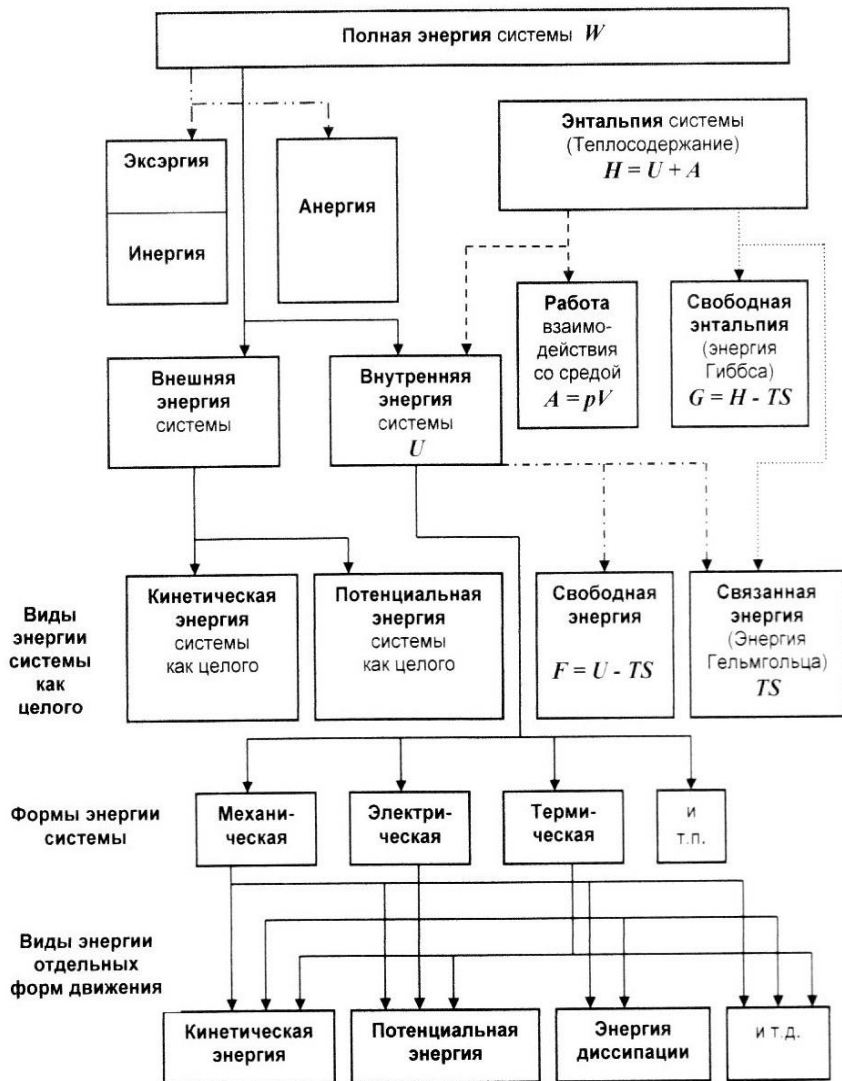
В БСЭ в словарной статье “энергия” указывается: “*В соответствии с различными формами движения материи рассматривают различные формы энергии*”. Это напрямую вытекает из закона сохранения энергии, приведенного в разделе, посвященном **уравнению состояния**, в котором **приращение энергии системы равно сумме приращений энергии во всех формах движения системы**. В соответствии с различными формами движения материи, следует рассматривать и различные **формы энергии: механическую, гидравлическую, тепловую, электромагнитную, ядерную и т. д.** (И.Коган).

Для выяснения того, что тогда можно понимать под видами энергии, повторим **обобщенное уравнение состояния** (И.Коган) в виде:

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

где  $dW$  – приращение полной энергии системы;  
 $i$  – номер элементарной формы движения;  
 $n$  – количество элементарных форм движения в системе;  
 $k$  – порядок производной по времени;  
 $m$  – наивысший порядок производной по времени;  
 $q$  – обобщенная координата состояния системы.

Это уравнение включает в себя в виде выражения в скобках уравнение динамики, подробно рассмотренное в разделе, посвященном **переходным процессам**. В уравнении динамики в современной физике речь идет о трех разных видах противодействий системы, соответствующих  $m = 3$ . 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 является функцией одной из трех составляющих энергии  $i$ -ой формы движения: **потенциальной энергии, энергии диссипации и кинетической энергии**. Вот эти три составляющие и следует называть **видами энергии**. Всё это проиллюстрировано схемой, все термины которой подробно разъяснены на странице, посвященной **классификации понятий, связанных с энергией**, в термодинамике.



**Кинетическая и потенциальная энергии принадлежат каждой форме энергии**

*Совершенно неверно приписывать кинетическую и потенциальную энергию только одной механической форме движения, как это сделано, например, в справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа. Все виды энергии должны трактоваться только в обобщенном*



смысле, ибо они относятся к любой форме движения и к любой форме энергии. Например, имеется кинетическая электрическая энергия, и это не то же самое, что кинетическая механическая энергия. Точно так же потенциальная электрическая энергия это не то же самое, что потенциальная механическая энергия. Не говоря уже о том, что существуют два разных вида потенциальной энергии и в механике, и в электромагнетизме.

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, а слово “механическая” при этом опускают. В плане сказанного выше это неконкретно.

В результате смещения понятий “формы энергии” и “виды энергии” возникают неверные физические аналогии. Странники теории физических аналогий иногда считают, что кинетическая механическая энергия может быть аналогична потенциальной электрической энергии, но 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, при этом 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. При этом не исключается перенос любого вида энергии данной формы движения в любой вид энергии другой формы движения.

В разных разделах современной физики иногда меняется математическая запись одного и того же вида энергии при переходе от одной формы энергии к другой, а иногда меняется и название. 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 значение определяются только конструктивными параметрами

рассматриваемой формы движения, потому что именно эти параметры входят в определяющие уравнения для видов энергии.

### **Сколько может быть всего видов энергии?**

Поскольку в уравнении динамики современная физика рассматривает лишь **три** слагаемых, то и рассматриваются 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, 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 не просто с энергетическим противодействием, а 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 механическую работу.

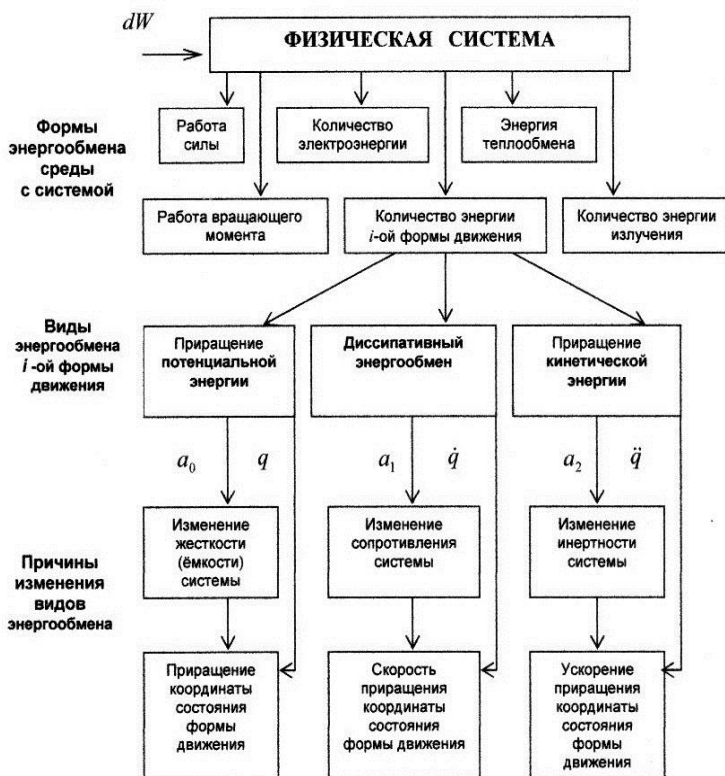
К числу противодействий системы внешнему энергетическому воздействию следует добавить возможное противодействие физического поля, связанное с перемещением системы в этом поле или с ее возможным поворотом относительно силовых линий поля. Это противодействие является удельным изменением еще одного вида

энергии, называемого в физике потенциальной энергией в физическом поле или сокращенно **потенциальной энергией положения**.

Поскольку определяющее уравнение для расчета потенциальной энергии положения иное, чем для расчета потенциальной энергии, связанной с противодействием жесткости, **то речь идет о двух разных видах энергии**. Поэтому вид энергии, связанный с противодействием жесткости, будем называть **потенциальной энергией деформации**. Этот вид потенциальной энергии, в отличие от предыдущего, связан с внутренним силовым полем (полем упругих сил).

### **Что следует назвать формами и видами энергообмена?**

Если быть уже совсем точными, то при систематизации физических величин следует говорить не столько о формах энергии, сколько о формах энергообмена, и не столько о видах энергии, сколько о видах энергообмена, что и отражено на показанной ниже схеме.



Такие общепринятые понятия, как работа силы, теплообмен, количество электроэнергии, становятся не более, чем различными формами энергообмена в различных формах движения. В отличие от них виды энергии (потенциальная, диссипативная, кинетическая) отражают виды энергообмена внутри одной и той же формы движения. Причинами изменения видов энергообмена становятся различные виды противодействий системы, разъясненные в разделе, посвященном переходному процессу.

Противодействие жесткости системы  $U_D$  соответствует изменению **потенциальной энергии**  $dW_p$  системы, диссипативное противодействие системы  $U_R$  – изменению **энергии диссипации**  $dW_R$  системы, а противодействие инертности системы  $U_I$  – изменению **кинетической энергии**  $dW_k$  системы.

А общее противодействие системы, равное и противоположное по

знаку энергетическому воздействию  $dW$  на систему, должно состоять из суммы изменений всех трех видов противодействий системы. Приведенные на схеме символы соответствуют **обобщенному уравнению динамики** системы.

### **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 тщетно пытался найти в многочисленных публикациях на тему “энергетики человека” четкое определение этого понятия, но это ему не удалось.

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.

## **2.6.2. Физические аналогии – законы природы**

Применение словосочетания “физические аналогии” не всегда корректно. В данной работе речь идет фактически не об аналогиях, а о разных формах записи одного и того же главного определяющего уравнения. Это иллюстрируется составленной И.Коганом Энергодинамической таблицей, из которой можно извлечь немало полезных выводов

### Применение слова “анalogии” нерелевантно

В тех случаях, когда в системе рассматривается только одна форма движения, формы записи главного определяющего уравнения для  $i$ -ой формы движения

$$dW=U_i dq_i$$

или

$$dW=\Delta U_i dq_i \quad (1)$$

в разных разделах физики часто совпадают.

Особенно это заметно, когда сравниваются механическая и электрическая формы движения. По этой причине в технике давно стали применяться электромеханические аналогии. Однако применение слов “анalogии” и “совпадения”, так распространенное в научной и учебной литературе, никакого отношения к истинному положению дел не имеет (И.Коган). Речь идет о **различных формах записи уравнения состояния в разных формах движения, а вовсе не о какой-то категории случайных событий**, как это можно было бы понять из слов “анalogии” или “совпадения”.

### Энергодинамическая таблица

И.Коганом составлена таблица, которая делает наглядными уравнение состояния и уравнение динамики, представив их совместно в объемной форме. Эта таблица названа И.Коганом энергодинамической (ЭДТ), она наглядно показывает, что многие законы и формулы физики являются всего лишь частными случаями двух уравнений: уравнения состояния и уравнения динамики.

Энергодинамическая таблица

Элементарные формы движения		№	1		2		3		i			
			Механическая прямолинейная		Электрическая		Гидродинамическая		Обобщенная			
Уравнение состояния			в дифференциалах		$dW = \Delta F dx +$		$\Delta U dq +$		$\Delta p dV +$		... + $\Delta Q dq$	
		к	в приращениях		$\Delta W = \Delta A +$		$\Delta W_e +$		$\Delta A_w +$		... + $\Delta W_i$	
Виды энергообмена	0	1	Противодействие жесткости	=	$Dx$	=	$q/C$	=	$Dq$	=	$Dq$	=
		2	Изменение потенциальной энергии	=	$\Delta F \Delta x / 2$	=	$\Delta U \Delta q / 2$	=	$\Delta A_w / 2$	=	$\Delta Q \Delta q / 2$	=
	1	1	Противодействие диссипативного сопротивления	+	$r_v(dx/dt) = Rv$	+	$R(dq/dt) = Rf$	+	$R_v(dV/dt) = R_v Q_v$	+	$R(dQ/dt)$	+
		2	Приращение энергии диссипации	+	$r_v v^2 \Delta t$	+	$Rf^2 \Delta t$	+	$R_v Q_v^2 \Delta t$	+	$R(dQ/dt)^2 \Delta t$	+
	2	1	Противодействие инертности	+	$m(d^2x/dt^2) = ma$	+	$L(d^2q/dt^2)$	+	$I_v(d^2V/dt^2)$	+	$I(d^2q/dt^2)$	+
		2	Изменение кинетической энергии	+	$m \Delta(v^2)/2$	+	$L \Delta(i^2)/2$	+	$I_v \Delta(Q_v)^2/2$	+	$I \Delta(dq/dt)^2/2$	+
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2

Уравнение состояния представлено в виде суммы работ в разных формах движения (см. третью и четвертую строки таблицы). Для иллюстрации выбраны (см. вторую строку) три конкретные формы движения (механическая, электрическая и гидродинамическая) и одна обобщенная. Обобщенная *i*-ая форма движения записана с помощью символов обобщенных величин.

Левая колонка в каждом столбце расшифровывает динамическое воздействие в соответствии с уравнением динамики, как сумму трех противодействий. Но уравнение динамики записано не по горизонтали, не в строчку, как обычно пишут уравнения, а по вертикали. Такой необычный способ записи позволяет охватить изменения во всех формах движения системы.

Правая колонка каждого столбца является суммой трех видов энергии внутри каждой формы энергии. Это поясняется текстом слева в каждой из трех горизонтальных групп строк, что соответствует трем слагаемым уравнения динамики. Номера этих групп (0,1,2) соответствуют порядку производной по времени *k* в уравнении динамики.



Для удобства каждой ячейке таблицы можно присвоить свой код, состоящий из двух чисел. Первое двухзначное число кода пусть 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 пусть состоит из номера вертикального столбца (1, 2 или 3) и номера колонки внутри этого столбца (1 или 2), например, 22 или 31. Рассмотрим, чему соответствует в физике содержимое каждой ячейки.

### **Выводы из рассмотрения энергодинамической таблицы**

В ячейках Энергодинамической таблицы оказалось много легко узнаваемых популярных формул. Например:

ячейка (01,11)	–	закон Гука;
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 (02,32), (12,32) и (22,32)	–	уравнение Бернулли, хотя и в необычной записи.

**Подобное лишний раз доказывает полезность системного подхода при составлении уравнений состояния и динамики.** Разумеется, Энергодинамическую таблицу (ЭДТ) 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. Очевидна полезность ЭДТ при изучении физики и технических дисциплин.

Заметим, что законы из 2-ого столбца применяются на практике часто.

Это объясняется тем, что в электрической форме движения (2-ой столбец) рассматривается обычно только движение электрического заряда и при этом не учитываются другие формы движения. Поэтому формулы в электродинамике, как правило, линейны (прямолинейны) 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 (непрямолинеен), поэтому и применяются редко формулы из ячеек (11,11) и (12,12).

Практически почти совсем не применяются формулы из ячеек 3-го столбца. И это тоже легко понять. В гидродинамической форме движения (3-ий столбец), где на практике превалирует существенно нелинейный (непрямолинейный) турбулентный режим течения, очень сильно проявляется нелинейность (непрямолинейность). Поэтому формулы 3-го столбца применимы только для ламинарного режима течения.

Уравнения, описывающие виды энергообмена в реальных системах, нередко предстают не в виде произведения, как в одной ячейке Энергодинамической таблицы, 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 главного определяющего уравнения. Например, могут присутствовать дополнительные физические величины или дополнительные математические действия, например, такие, как сложение или вычитание. Это свидетельствует о том, что в таких 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 электрогидромеханические и электротепловые аналогии присоединились к электромеханическим аналогиям хронологически не сразу, да и то с существенными оговорками.

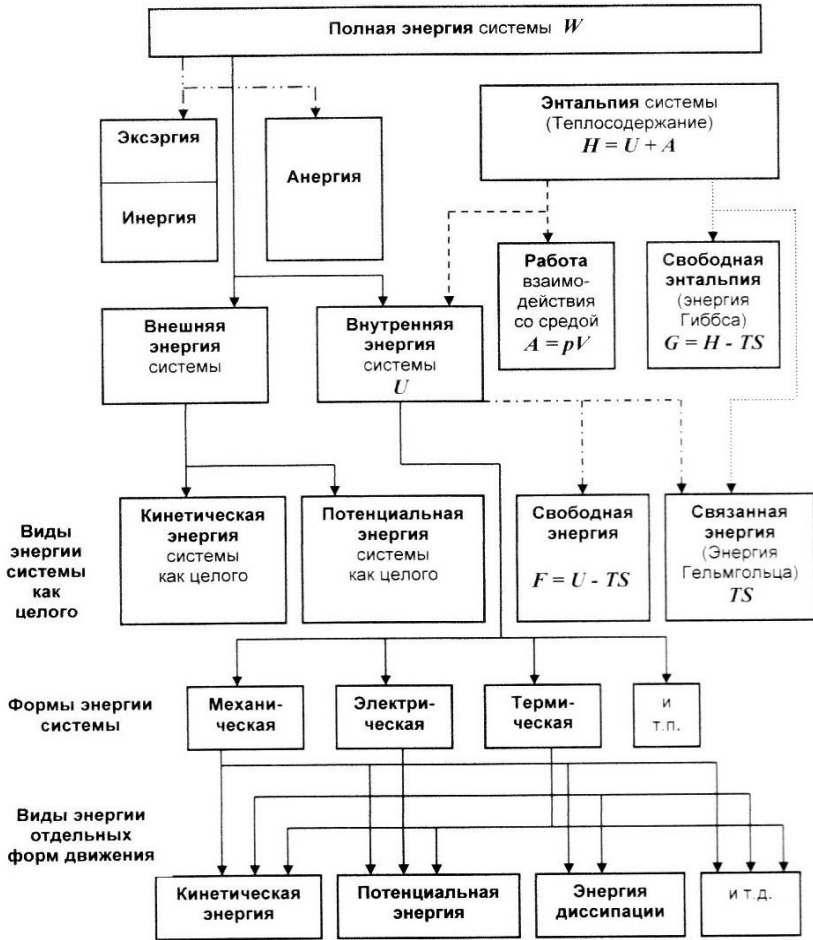
**Сложность явлений Природы заключается в том, что нередко приходится учитывать процессы, происходящие в нескольких**

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.

### **2.6.3. 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**, как это следует из их названия.

Воспользовавшись справочником Б.Яворского и А.Детлафа, работой В.Эткина и словарными определениями, И.Коган схематизировал на представленном рисунке терминологию, относящуюся к понятию “энергия“ в термодинамике. На этой схеме И.Коган воспользовался стандартной символикой. На схеме учтена **классификация энергии по формам и видам**, предложенная в работах И.Когана.



Общепризнанная в современной физике классификация, показанная на рисунке, 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 и потенциальной энергий системы как целого. **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. Связи между полной энергией системы и ее составными (аддитивными) частями указаны на схеме сплошными линиями.

Проанализировав эту классификацию, В.Эткин 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 в конце данного раздела.

Рассмотрим, как хронологически вводились в термодинамику новые определения, связанные с энергией. Обратим при этом внимание на то, что перечисленные ниже понятия применимы только для равновесных процессов.

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). **Энтальпия** – это сумма внутренней энергии системы и совершенной системой работы взаимодействия со средой. Эта сумма на схеме указана штриховыми 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 энтальпию 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 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*”.

Основываясь на своих разработках в области термодинамики неравновесных процессов, 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 нововведение 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**. Аналогичная мысль, к слову, высказана и в

работе

Д.Ермолаева.

Далее В.Эткин утверждает, что деление полной энергии системы на внешнюю и внутреннюю лишь осложнило понимание такой физической величины, как **полная энергия**. Он считает, что гораздо 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**. Понимание инергии как антипода анергии позволяет избежать той невероятной путаницы, которая царит в головах многих исследователей и постоянно выплескивается на страницы научной и околонучной печати".

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 термодинамике, которое существует сейчас. Следовательно, эта схема имеет прямое отношение к систематизации физических понятий.

#### **2.6.4. Закон сохранения энергии (формы записи уравнения)**

В современной физике существуют разные формы записи обобщенного уравнения состояния системы, представляющего закон сохранения энергии. Ниже описывается, предложенная И.Коганом, обобщенная форма записи этого уравнения, учитывающая переходные процессы в различных формах движения физической системы.

#### **Закон сохранения энергии – фундаментальный закон природы**.

Содержание закона 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 полей.”*

Закон сохранения энергии вытекает в качестве следствия из обобщенного уравнения состояния физической системы. Именно это уравнение положено в основу предлагаемой на данной работе систематизации физических величин, которая привела к созданию И.Коганом **энергодинамической системы физических величин (ЭСВ)**.

Однако закон сохранения энергии в данной работе понимается шире, чем в современной физике. В разделе, посвященном описанию движения, как векторной физической величины, **энергия трактуется как модуль этой векторной величины**.

Имеются разные формы записи уравнения закона сохранения энергии в современной физике, и поэтому необходимо последовательно рассмотреть их. Особенно в связи с тем, что все эти формы записи не соответствуют принципу причинности, что детально обосновывается в разделе, посвященном закону сохранения энергии.

### **Формы записи закона сохранения энергии в классической физике**

В популярном справочнике по физике (Б.Яворский и А.Детлаф) закон сохранения энергии имеет следующую форму записи в виде **обобщенного уравнения состояния** замкнутой термодинамической системы:

$$W = W_k + W_p + U, \quad (1)$$

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.

Закон сохранения энергии можно распространить на незамкнутые системы, если принять во внимание условие приращений. Это условие требует записывать при систематизации физических величин определяющие уравнения, к которым относится и уравнение состояния, не в абсолютных значениях величин, а в их



**приращениях.** На основании уравнения (1) приращение энергии системы с учетом соблюдения принципа причинности можно записать как сумму приращений видов энергии:

$$\Sigma_i(dW_k)_i + \Sigma_i(dW_p)_i + \Sigma_i(dU)_i = dW. \quad (2)$$

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 и наоборот. Форма записи (1) не учитывает возможность перехода энергии из одной формы движения в другую, то есть не учитывает классификацию энергии по формам и видам.

**Недостатком формы записи (1) является также ее приемлемость лишь для замкнутой системы.**

Обратим также внимание на то, что в уравнениях (1) и (2) не отражена энергия диссипации, являющаяся одним из видов любой формы энергии. Так как идеализированные системы, в которых не учитывается явление диссипации, являются **консервативными системами**, то уравнения (1) и (2) приемлемы лишь для консервативных систем.

Более объективной формой записи закона сохранения энергии является уравнение состояния, приведенное, например, у В.Сычёва:

$$dW = \left( \frac{\partial W}{\partial q_1} \right)_0 dq_1 + \left( \frac{\partial W}{\partial q_2} \right)_0 dq_2 + \dots = \sum_{i=1}^n dW_i. \quad (3)$$

где  $dq_i$  – приращение координаты состояния системы. Запись уравнения состояния в форме (3), в отличие от записи в форме (1), учитывает возможность перехода энергии из одной формы в другую внутри системы, но не учитывает возможность перехода из одного вида энергии в другой внутри любой формы движения. Уравнение состояния в форме (3) может быть применено и как уравнение состояния для одной формы движения. Однако напоминаем, что форма записи уравнения состояния (3) **противоречит принципу**

причинности, в ней следует переставить местами левую и правую части.

### Расширенная форма записи закона сохранения энергии

В основу построения системы ЭСВ (И.Коган) положено суммирование как по формам энергии, так и по видам энергии. Для этой цели следует в уравнении (3) расшифровать каждое выражение в круглых скобках с помощью обобщенного уравнения динамики, приведенного в разделе, посвященном переходному процессу в системе. И тогда уравнение состояния (3) после учета принципа причинности запишется в такой обобщенной форме:

$$\sum_{i=1}^n U_i dq_i = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{k=0}^m a_{ki} \frac{d^k q_i}{dt^k} \right) dq_i = dW \quad (4)$$

где  $n$  – число форм движения (форм энергии) в системе;  $k$  – порядок производной по времени в уравнении динамики;  $m$  – число учитываемых видов энергии в форме энергии;  $a_i$  – конструктивный параметр  $i$ -ой формы движения;  $U_i = (\partial W / \partial t)_0$  – динамическое воздействие на  $i$ -ую форму движения из уравнения (3).

Закон сохранения энергии в форме записи (4) примечателен тем, что в нем сначала подсчитываются суммы в круглых скобках, то есть суммирование ведется сначала по видам энергии, а уж потом определяется общая сумма, где суммирование ведется по формам энергии. Это как раз и соответствует расположению форм и видов энергообмена на схеме, учитывающей классификацию форм и видов энергии, а также на схеме иерархии уровней систематизации физических величин.

Для полного учета всех форм энергии в левую часть уравнения состояния (4) должна быть добавлена сумма приращений энергии, вызванных изменением состояния системы под влиянием разных форм физического поля. Тогда уравнение состояния примет такой обобщенный вид:

$$\sum_i U_i dq_i + \sum_j U_j dq_j = dW, \quad (5)$$

где  $i$  – число форм движения;  
 $j$  – число форм физического поля.

**Уравнение (5) является наиболее полной формой записи закона сохранения энергии по сравнению с другими формами его записи в современной физике.**

Уравнения (4) и (5) отражают не только перенос энергии из системы в среду или из среды в систему, но и перенос энергии из одной формы движения в другую внутри системы, из энергии физического поля в энергию любой формы движения и наоборот. Поэтому эти уравнения и положены в основу закона сохранения энергии, полное название которого – **закон сохранения и превращения энергии.**

Закон сохранения энергии в современной трактовке ничего не говорит о сохранении направления движения, так как энергия является скалярной величиной. Но в разделе, посвященном **энергии**, показано, что **энергия является векторной физической величиной**. То есть **закон сохранения энергии должен учитывать не только количество энергии, но и направление движения**. Именно в таком качестве **закон сохранения энергии отражает не только вечное существование материи, но и вечное ее движение**. И поэтому закон сохранения энергии вытекает из более общего **закона сохранения движения**.

### **2.6.5. Виды энергии в отдельно взятой форме движения**

#### **Определения видов энергии**

Для более детального описания основных трех видов энергии вернемся к уравнению состояния физической системы  $\sum_i U_i dq_i = dW$ , которое после подстановки в него уравнения динамики с учетом трех конструктивных параметров форм движения ( $D_i$ ,  $R_i$  и  $I_i$  – жесткости, сопротивления и инертности) и с учетом энергии воздействия на систему физического поля  $(dW_j)_i$  примет вид:

$$[D_i q_i + R_i (dq_i/dt) + I_i (d^2 q_i/dt^2)] dq_i + (dW_j)_i = dW_i. \quad (1)$$

Все физические величины уравнения (1) подробно разъяснены в тех разделах работы, на которые указаны ссылки. Но прежде, чем

проанализировать все слагаемые левой части этого уравнения, дадим определения этим слагаемым.

Напомним общепризнанное определение энергии из БСЭ: **“общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи”**. А слагаемые уравнения (1) в том порядке, в котором они расположены в этом уравнении, носят названия: **потенциальная энергия деформации, энергия диссипации, кинетическая энергия и потенциальная энергия положения** в физическом поле.

В БСЭ приведено С.Таргом такое определение кинетической энергии: **“энергия механической системы, зависящая от скоростей движения её точек”**. Но это определение привязывает кинетическую энергию только к механической форме движения, что не вытекает из обобщенного определения энергии. Если следовать этому определению, то правильнее будет сказать: **“кинетическая энергия – это энергия формы движения системы, зависящая от скорости изменения координаты состояния этой формы движения”**.

Тем же С.Таргом в БСЭ приведено такое обобщенное определение обоих видов потенциальной энергии: **“часть общей механической энергии системы, зависящая от взаимного расположения частиц, составляющих эту систему, и от их положений во внешнем силовом поле”**. Это определение также привязывает потенциальную энергию только к механической форме движения.

И.Коганом предложено такое определение потенциальной энергии деформации: **“энергия движения частиц во всех 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. Что касается определения потенциальной энергии положения, то оно будет дано в разделе, посвященному физическому полю.

Наконец, для энергия диссипации И.Коган предложил такое определение: **“энергия перехода упорядоченного движения в любых формах движения системы в энергию неупорядоченного движения тепловой формы движения системы”**.

### Потенциальная энергия деформации

Первое слагаемое уравнения (1) представляет собой элементарное приращение потенциальной энергии деформации:

$$(dW_p)_i = D_i q_i dq_i \quad (2)$$

или

$$(dW_p)_i = q_i dq_i / C_i. \quad (3)$$

После интегрирования уравнений (2) или (3) за весь период времени переходного процесса получаем значение конечного **приращения потенциальной энергии деформации** в виде:

$$(\Delta W_p)_i = D_i (\Delta q_i)^2 / 2 \quad (4)$$

или

$$(\Delta W_p)_i = (\Delta q_i)^2 / 2 C_i, \quad (5)$$

где  $\Delta q_i$  – разность между значениями координаты состояния  $i$ -ой формы движения в начальный момент времени и к концу переходного процесса. Приращение потенциальной энергии деформации может иметь любой знак, так как отсчитывается от условно принятого нулевого значения, соответствующего так называемой **нулевой конфигурации** системы.

Конечное приращение потенциальной энергии упругой деформации при непрерывном процессе роста энергетического воздействия и при пренебрежении приращениями кинетической энергии и энергии диссипации может быть рассчитано более простым путем с учетом того, что к концу переходного процесса динамическое воздействие  $U_i = D_i q_i$ , что приводит к уравнению

$$(dW_p)_i = U_i dq_i. \quad (6)$$

В конце процессе деформации конечное приращение потенциальной энергии определяется по уравнению

$$(\Delta W_p)_i = \Delta U_i \Delta q_i / 2, \quad (7)$$

или

$$(\Delta W_p)_i = U_{max} \Delta q_i / 2 \quad (8)$$

при

$$(U_i)_0 = 0.$$

В проточной системе, у которой жесткость (ёмкость) системы постоянна, слагаемое  $D_i (\Delta q_i)^2 / 2$  равно нулю. Поэтому приращение потенциальной энергии такой проточной системы, связанное с изменением ее жесткости (ёмкости), отсутствует.

### **Энергия диссипации**

Второе слагаемое левой части уравнения (1) после раскрытия скобок – это приращение энергии диссипации за период времени переходного процесса

$$(dW_R)_i = R_i v_i q_i dq_i. \quad (9)$$

где  $v_i = dq_i / dt$  – скорость изменения координаты состояния в течение переходного процесса. После замены  $dq_i$  в уравнении (9) на  $v_i dt$  получаем

$$(dW_R)_i = R_i v_i^2 dt. \quad (10)$$

Уравнение (10) после интегрирования приводит к уравнению для расчета полного **приращения энергии диссипации** в течение конечного промежутка времени  $\Delta t$ :

$$(\Delta W_R)_i = R_i v_i^2 \Delta t. \quad (11)$$

### **Кинетическая энергия**

Третье слагаемое левой части уравнения (1) после интегрирования приводит к уравнению для приращения кинетической энергии:

$$(dW_k)_i = I_i a_i dq_i, \quad (12)$$

где  $a_i = dv_i / dt$  – ускорение изменения координаты состояния. Интегрирование уравнения (12) приводит к значению **приращения кинетической энергии** системы в течение переходного процесса:

$$(\Delta W_k)_i = I_i \Delta(v_i^2)/2. \quad (13)$$

### **Закон сохранения энергии в приращениях**

Просуммировав уравнения (5), (11) и (13), получаем следующую форму записи закона сохранения энергии в приращениях для  $i$ -ой формы движения в течение переходного процесса:

$$D_i(\Delta q_i)^2/2 + R_i v_i^2 \Delta t + I_i \Delta(v_i^2)/2 = \Delta W_i. \quad (14)$$

Чтобы учесть **приращение потенциальной энергии положения** системы в физическом поле, в уравнение (14) следует добавить еще одно слагаемое  $(\Delta W_f)_i$ . Тогда **закон сохранения энергии в приращениях** для  $i$ -ой формы движения примет окончательный вид:

$$D_i(\Delta q_i)^2/2 + R_i v_i^2 \Delta t + I_i \Delta(v_i^2)/2 + (\Delta W_f)_i = \Delta W_i. \quad (15)$$

Содержание приращения  $(\Delta W_f)_i$  из уравнения (1) раскрыто в тех таблицах ЭСВ, в которых учитывается влияние физического поля на систему.

## **2.6.6. Обобщенное уравнение состояния – источник всех законов сохранения**

Многочисленные законы сохранения различных физических величин выводятся в качестве частных случаев из обобщенного уравнения состояния (закона сохранения энергии). Следует отметить при этом, что закон сохранения импульса и закон сохранения момента импульса являются частными случаями закона сохранения энергии.

Вид обобщенного уравнения состояния зависит от того, что рассматривается: состояние физической системы или состояние

процесса в этой системе. Для этого введена классификация физических систем, которая подразделяет **системы** на непроточные и проточные. В литературе такая классификация встречается, но очень редко. Подробнее об этом и о свойствах разных систем рассказывается в отдельном разделе настоящей работы.

### Обобщенное уравнение состояния для непроточных систем

Обобщенное уравнение состояния (И.Коган) в разделе, посвященном закону сохранения энергии, приведено в скалярной форме:

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

где  $n$  – число форм движения (форм энергии) в системе;  $k$  – порядок производной по времени в уравнении динамики;  $m$  – число учитываемых видов энергии в форме энергии;  $a_i$  – конструктивный параметр  $i$ -ой формы движения;  $U_i = (\partial W / \partial t)_0$  – динамическое воздействие на  $i$ -ую форму движения.

В уравнении (1) сумма скалярных произведений  $U_i dq_i$  равна энергетическому воздействию на систему  $dW$ . В разделе, посвященном уравнению состояния системы, показано, что сумму произведений скалярных величин можно заменить суммой скалярных произведений векторных величин:

$$\sum_i \mathbf{U}_i d\mathbf{q}_i = dW. \quad (2)$$

где  $\mathbf{U}_i$  – обобщенное векторное динамическое воздействие на систему;  $d\mathbf{q}_i$  – векторное приращение обобщенной координаты состояния.

Уравнения (1) и (2) приемлемы для непроточных систем, где приращение координаты состояния  $d\mathbf{q}_i$  является следствием переноса энергии через контрольную поверхность системы. Разделив и умножив уравнение (2) на  $dt$ , получим уравнение:

$$\sum_i (\mathbf{U}_i dt)(d\mathbf{q}_i / dt) = dW. \quad (3)$$

Первый сомножитель в уравнении (3) является векторным



приращением **импульса динамического воздействия**  $dS_i$  в  $i$ -ой форме движения, определяемого уравнением:

$$dS_i = U_i dt. \quad (4)$$

А под производной от координаты состояния по времени ( $dq_i / dt$ ) понимается вектор скорости изменения координаты состояния. В итоге уравнение (3) можно записать в виде:

$$\sum_i dS_i (dq_i / dt) = dW. \quad (5)$$

### **Обобщенное уравнение состояния процесса для проточных систем**

В проточных системах приращение координаты состояния  $dq_i$  на входе в систему компенсируется приращением координаты состояния  $dq_i$  другого знака на выходе из системы. Поэтому в проточных системах приращение координаты состояния всей системы  $dq_i$  *отсутствует*. Имеет место лишь процесс перемещения координаты состояния через проточную систему. Поэтому в обобщенное уравнение состояния (1) следует внести некоторые изменения.

В проточных системах вместо приращения координаты состояния системы  $dq_i$  следует применять приращение координаты состояния процесса  $dq_i$ , называемое перемещаемой координатой. Перемещаемая координата отличается тем, что в ее определяющее уравнение

$$q_i = q_i v \quad (6)$$

входит скорость перемещения координаты состояния  $v = dx/dt$  вдоль проточной системы. Поэтому в обобщенном уравнении состояния (1) следует заменить  $dq_i$  на  $dq_i v$ .

### **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 состояния вытекает только закон сохранения энергии, а другие законы сохранения вытекают уже из этого уравнения в качестве частных случаев при пренебрежении какими-то видами и формами энергии.

Приведем ряд примеров.

1. Пусть энергетическое воздействие на систему направлено только на одну форму движения – механическую, в которой рассматриваются только два вида энергии – кинетическая и потенциальная. Тогда уравнение (1) сокращается до уравнения, из которого вытекает **закон сохранения механической энергии.**

2. 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 кинетической энергиями. При  $dW = 0$  такое возможно лишь в случае, если приращение импульса  $dS_i = 0$ , а  $S_i = \text{const}$ . Последнее равенство представляет собой **закон сохранения импульса** в отдельно взятой  $i$ -ой форме движения.

3. В механической прямолинейной форме движения приращение импульса динамического воздействия  $dS_F$  (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  $dp$ .

Лишь в этом частном случае при  $dS_F = 0$  становится равным нулю и приращение импульса тела, то есть  $dp = 0$ , и тогда  $p = \text{const}$ . 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 когда говорят о всеобщности закона сохранения импульса, то 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.**

4. В механической вращательной форме движения приращение

импульса динамического воздействия (импульса вращающего момента)  $dS_M$  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  $dS_M$  становится равным приращению импульса момента инерции, которое, в свою очередь, равно приращению углового момента  $dL_z$ .

В этом частном случае при  $dS_M = 0$  становится равным нулю и приращение углового момента, то есть  $dL_z = 0$ , и, следовательно,  $L_z = \text{const}$ . 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**.

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**).

**5.** Если считать, что **энергетическое воздействие** на систему направлено только на две формы движения: механическую и тепловую, и при этом процесс воздействия рассматривается только в статике (изменения видов энергии не рассматриваются), то уравнение (2) сокращается до уравнения, именуемого **первым началом термодинамики**.

**6.** **Динамическое воздействие**  $U$  из уравнения состояния в форме (2) можно раскрыть с помощью **уравнения динамики** (уравнения переходного процесса). Приравнивание нулю приращения динамического воздействия 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 гравитационной массы**).

Как видно из этих 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.

Те многочисленные законы сохранения, которые применяются в физике, в частности, в атомной физике, тоже являются **следствиями закона сохранения энергии**.

## **2.7. Физические поля**

### **2.7.1. Физические поля (поле взаимодействия и поле переноса)**

И.Коганом высказана точка зрения о том, что все формы описания физического поля являются моделями обобщенного физического поля.

#### **Определения физического поля**

Определение понятия “**физическое поле**” исторически неоднократно менялось. Этот исторический процесс исчерпывающе и кратко рассмотрел О.Репченко. Он указывает, что под термином “физическое поле” “*понимают некоторого посредника, благодаря которому действие от одного тела передается к другому на расстоянии*”. Можно говорить также: от одной физической системы к другой.

В XIX веке под “физическим полем” понимали среду, которая могла перетекать и вращаться. Такую среду называли **эфиром**, находящиеся в ней материальные объекты (заряженные системы) создавали в ней

местные возмущения. Пространства, окружающие заряженные системы, сейчас часто называют **оболочками** этих систем. Эти оболочки взаимодействуют друг с другом, и это взаимодействие передается с помощью среды.

В XX веке теорию эфира отвергли, заменив ее **математической теорией пустого пространства-времени**. В рамках этой теории (Интернет-энциклопедия Википедия) *“Поле в физике — одна из форм материи, характеризующая все точки пространства и времени, и поэтому обладающая бесконечным числом степеней свободы”*. То есть вместо **реальной материальной среды** стала рассматриваться **математическая функция**. Квантовая теория поля заменила динамику материальной среды перемещением в пустом пространстве дискретных переносчиков взаимодействия зарядов поля. А пространство, в котором находились заряженные системы, стали называть **физическим вакуумом**.

Конец XX века и начало XXI века ознаменовались стремлением к **возврату к теории эфира** (В.Ацюковский), который стали называть, например, **полевой средой** (О.Репченко) или **гравитонной средой** (В.Пакулин), подразумевая, что **полевая среда состоит из материальных объектов**, называемых **гравитонами**. На этом основании **физическое поле представляется, как материальная среда, находящаяся в неравновесном состоянии под воздействием заряженных систем**.

Физическое поле изучают, прежде всего, для выяснения **взаимодействия заряженных систем друг с другом**. Сама степень этого взаимодействия характеризуется **силой взаимодействия**. Отсюда произошел еще один термин **“силовое поле”**. Однако этот термин не может полностью заменить термин **“физическое поле”**. Ведь физическое поле, в принципе, может существовать и при отсутствии взаимодействующих систем, то есть при отсутствии сил взаимодействия.

### **Поля взаимодействия**

Физическое поля, характеризуемое приведенным в первом абзаце определением, называют в физике также **полем взаимодействия**. Чтобы различать характер взаимодействия, рассматриваются так называемые **фундаментальные поля взаимодействия**, к которым относят электромагнитное, гравитационное, слабое и сильное.

Определения отдельных фундаментальных полей имеются в словарях. На наш взгляд, добавлять слово "взаимодействия" к термину "физическое поле" имеет смысл лишь для того, чтобы противопоставить его полям переноса, рассматриваемым ниже.

**Физическое поле** можно также формально представить в виде **математического поля** неравномерного распределения физической величины, называемой **потенциалом** поля, градиент которой называется **напряженностью** поля. **Потенциал поля** может быть как **скалярной**, так и **векторной величиной**, градиент потенциала всегда **величина векторная**. Произведение напряженности поля на величину заряда системы, взаимодействующей с полем, является **силой взаимодействия системы с полем**.

Вокруг **заряженной системы (заряженного тела)** возникает **напряженное состояние поля**. Область поля, в которой ощущается это напряженное состояние, называют в физике **оболочкой** заряда. В этой области создаются **местные потоки квантов поля**. В зависимости от вида этих потоков возмущенную область (оболочку) называют **электрическим полем, магнитным полем, гравитационным полем, полем ядерных сил и пр.** **Взаимодействуют не сами заряженные системы, а их оболочки.**

В разделе, посвященном **уровневой физике**, для **электромагнитного поля** имеется свой отдельный уровень на схеме **уровневого строения материи**. В.Пакулин полагает, что на этом уровне могут находиться все поля взаимодействия, поскольку природа их взаимодействия одна и та же: гидродинамическое взаимодействие вихревых объектов, состоящих из одних и тех же **частиц – гравитонов, составляющих полевую среду**. Различны лишь механизмы взаимодействия, поскольку различно **строение вихревых объектов**.

Электромагнитное поле имеет две математические формы описания поля (сокращенно – две **формы физического поля**): **центральное** (электрическое) поле и **вихревое** (магнитное) поле.

## **Поля переноса**

Совершенно иной тип взаимодействия имеет место в так называемых полях переноса, которые находятся на уровне "Макровещество" на схеме **уровневого строения материи**. **Поле переноса** – это поле неравномерного распределения скалярной физической величины,

которую также можно назвать **потенциалом поля**. И **градиент потенциала поля переноса** также можно назвать **напряженностью**. Но, в отличие от поля взаимодействия, поле переноса не имеет заряженных тел, понятие о заряде в поле переноса отсутствует. Сила, воздействующая на физическую систему, находящуюся в поле переноса, является только следствием наличия **разности потенциалов** на разных участках **контрольной поверхности** физической системы. К разностям потенциалов поля 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 называет градиенты потенциала поля переноса **“термодвижущими силами”**, то есть термином, введенным еще в 1931 г. Л.Онзагером. **“Термодвижущими силами” можно условно назвать векторные воздействия на материальные частицы среды, равные произведению напряженности поля переноса на количество координаты состояния системы**. Эти воздействия вынуждают систему перемещаться с целью устранения неравномерного распределения потенциала в поле переноса.

Но “термодвижущие силы” не являются градиентами потенциала, как считает В.Эткин, а разностями потенциалов, так как **у градиента потенциала и у разности потенциалов размерности разные**. Термин “сила” в данном контексте применен, на наш взгляд, неудачно, так как **разности потенциалов не имеют размерности силы**. Правильнее было бы вместо термина “термодвижущая сила” применять термин **“разность потенциалов поля переноса”**. Подробнее разности потенциалов поля переноса рассматриваются в разделе, посвященном явлениям переноса.

Несмотря на то, что в поле взаимодействия и в поле переноса одна и та же последовательность перехода от потенциала к напряженности, эти **формы физического поля не идентичны**. Их главное различие состоит в следующем: **в поле взаимодействия существуют взаимодействующие поля заряженных систем, а в поле переноса никаких зарядов нет**. При создании энергодинамической системы физических величин ЭСВ использованы обе рассмотренные модели физического поля.

## **Обобщенное физическое поле**

И.Коганом высказано мнение о том, что все модели физического поля являются моделями обобщенного физического поля и поэтому подчиняются одним и тем же обобщенным закономерностям, а также 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). Она отражена в одном из основных условий систематизации физических величин – в условии адекватности.

Проблема “Великого объединения“, под которым **физики понимают создание единой теории всех форм описания физических полей**, предполагает создание **теоретических моделей, единым образом описывающих сильное, электромагнитное и слабое взаимодействия элементарных частиц**. Нобелевский лауреат С.Вайнберг пишет: “Одна из главных задач физики достигать 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, по мнению этого ученого, следует ожидать не скоро.

Содержание работ С.Кадырова и О.Репченко по созданию **единой теории поля** и В.Пакулина по созданию **единой модели строения 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**, служит создание **комплекса уравнений, обобщающих поведение всех термодинамически неравновесных систем**. По мнению И.Когана, энергодинамика в трактовке В.Эткина является не столько альтернативой “Великому объединению“, сколько другим, тоже плодотворным взглядом на природу физического поля. Она, в частности, приводит к разделению обобщенного физического поля на две разные модели, описанные выше: поле взаимодействия и поле переноса.



## 2.7.2. О неоднозначности понятия “заряд физического поля”

Понятие “заряд” применяется часто и в разных областях. Ограничимся обсуждением понятия “заряд физического поля”. Сразу заметим, что оно имеет два неадекватных значения: **заряд как физический объект** и **заряд как физическая величина**. Тем не менее, внимание на этом важном различии обычно не акцентируется. В разделе, посвященном определению **физической величины**, показано, что она является свойством (характеристикой) физического объекта. То есть **физическая величина – понятие, подчиненное по отношению к физическому объекту**.

Каково физическое содержание заряда как физического объекта современная физика точно не определяет. Общепринятое определение заряда **нами не обнаружено**. Лишь в Интернете в Энциклопедии физики и техники найдено такое определение: *Заряд – физическая величина, являющаяся источником поля, посредством которого осуществляется взаимодействие частиц, обладающих этой характеристикой*. В этом определении как раз и объединены два определения, которые объединять нельзя.

### Заряд как физический объект и как физическая величина

Начнем с того, что понятие “заряд физического поля” относится только к полю взаимодействия, описанному в разделе, посвященном **физическим полям**, имеющим две **формы описания поля: (центральное и вихревое)**.

Любое **поле взаимодействия** создается **физической системой (телом)**, содержащей определенное количество **элементарных зарядов**, которую по этой причине можно назвать **заряженной системой**. (Заряженную систему чаще называют **заряженным телом**.) Так что возможно такое определение (И.Коган): *заряженная система (заряженное тело) – это физический объект, формирующий в окружающем его пространстве напряженное состояние физического поля*. Данное определение не исключает возможности того, что **заряженной системой может оказаться один элементарный заряд**.

Каждая из двух форм математического описания поля отличается **физической величиной**, которая характеризует заряженную систему,

как физический объект, являющийся источником напряженного состояния поля. Эту физическую величину и следует называть **зарядом системы (зарядом тела)**. Идентификация двух разных понятий (заряженная система и заряд системы, заряженное тело и заряд тела) и создает ту путаницу, которая отражена в определении из Энциклопедии физики и техники, приведенном выше. ***Заряд тела, как физическая величина, равен произведению числа элементарных зарядов, содержащихся в заряженном теле, на значение элементарного заряда.***

Исходя из сказанного, можно дать такое определение заряду тела, как физическому объекту (И.Коган): ***Заряд тела – это физический объект, формирующий в окружающем его пространстве напряженное состояние поля.*** А заряд тела, как **физическая величина**, – это **характеристика заряда тела**, как **физического объекта**.

Для обозначения 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**.

**Заряд физического поля – основная или производная физическая величина?**

Этот вопрос волновал умы физиков и метрологов с момента открытия законов взаимодействия зарядов и токов и продолжает волновать сейчас. Исчерпывающий анализ истории этой проблемы дан в монографиях А.Власова и Б.Мурина и Г.Трунова. Поэтому остается только изложить выводы из этого анализа.

Если в системе единиц принять заряд в качестве **основной величины**, то законы Кулона, которые определяют силы взаимодействия зарядов поля **по их значениям**, следует рассматривать как опытные законы. И тогда в уравнениях этих законов для выравнивания размерностей должны присутствовать **размерные коэффициенты**. Такими размерными коэффициентами в системе единиц **СИ** являются так называемые **электрическая** и **магнитная** **постоянные**.

В системе единиц **СГС** законы Кулона рассматриваются как уравнения, определяющие заряды **по силе их взаимодействия**, то есть

противоположно тому, как это делается в СИ. Поэтому заряд 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, зависит от значения этого заряда. А значение заряда, в свою очередь, зависит от энергии, сконцентрированной в вихрях, образующих элементарные заряды заряженной системы. Следовательно, энергия поля и энергия вихрей являются частными случаями основной величины “энергия“, как обобщенной характеристики движения материи. Это рассматривается в разделе, посвященной энергии, как основной величине.

Как показано в разделе, посвященном движению материи, энергия (без всяких определений и дополнений к этому термину), как количественная характеристика движения, является основной величиной. А заряд, как физическая величина, и энергия, сконцентрированная в заряде и в его оболочке (в окружающем заряженную систему пространстве), – это производные величины, зависящие от энергии, как основной величины. Поэтому в рассматриваемой в данной работе системе величин ЭСВ заряд в качестве физического объекта трактуется, как обобщенная производная физическая величина первой очереди. А энергия оболочки полеобразующего заряда, зависящая от значения самого заряда, является производной величиной уже второй очереди. Об анализе размерностей законов взаимодействия зарядов будет рассказано в разделе, посвященном размерности заряда.

### **Различие между зарядом поля и координатой состояния формы движения системы**

Напряженное состояние физического поля, образованное заряженной системой, существует независимо от того, находится ли в оболочке этой заряженной системы какая-либо другая физическая система. Если воздействие физического поля на систему в том месте, где находится эта система, пренебрежимо мало, то этим воздействием можно пренебречь. Однако пренебречь воздействием окружающей среды на координаты состояния различных форм движения системы нельзя. Из этого следует важный вывод о том, что (И.Коган) 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 обобщенной координаты состояния. Поэтому координата состояния формы движения системы – более обобщающее понятие, чем заряд системы, и в общем случае координата состояния может иметь другую размерность, нежели заряд системы. Правда, понятие “заряд“ является более привычным и понятным, чем понятие “координата состояния“. Поэтому в пионерской работе по энергодинамике А.Вейник все координаты состояния называет зарядами. Как показано здесь, между этими понятиями имеется серьезное различие.

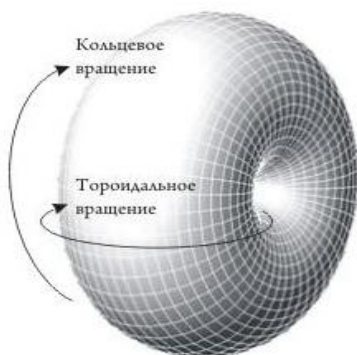
### 2.7.3. О структуре элементарного электрического заряда

Элементарными электрическими зарядами считаются электрон и позитрон. Высказано немало соображений по поводу того, какова модель этих физических объектов. В данном разделе описывается модель элементарного электрического заряда, основанная на вихревой природе движения квантов поля (гравитонов), представленная В.Пакулиным в своей новаторской работе. Идею о вихревой природе носителя отрицательного электрического заряда – электрона – высказал еще М.Фарадей, говоря о вихревой трубке, ось которой совпадает с силовой линией электрического поля. Эту идею убедительно обосновывает В.Пакулин. В разделе, посвященном уровневому строению материи, различные формы физического поля находятся на уровне, называемом электромагнитным полем. Элементарными зарядами этого поля

являются электрон и позитрон, состоящие из нейтрино и антинейтрино.

Вихревая природа нейтрино и антинейтрино

В работах В.Пакулина нейтрино является тороидальным вихрем,



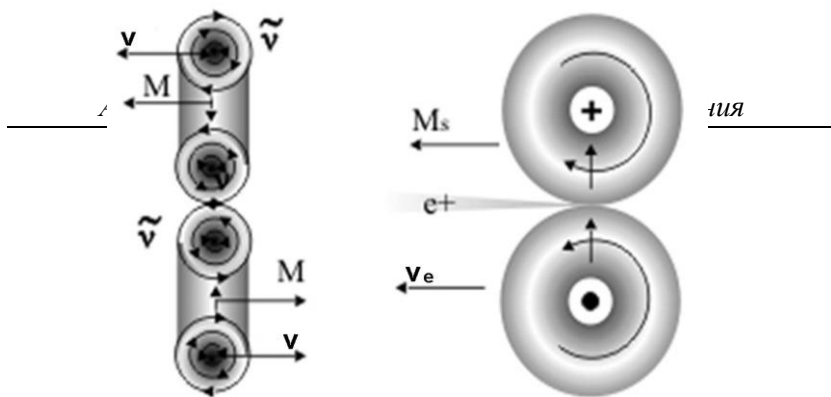
схематически показанным на рисунке. Нейтрино образуется из **гравитонов** (частиц **полевой среды**, называемой в современной физике **физическим вакуумом**) и обладает двумя вращательными формами движения: **тороидальным вращением** с постоянной угловой скоростью вокруг свернутой в кольцо круговой оси симметрии и **кольцевым вращением** с переменной угловой скоростью вокруг продольной оси симметрии кольца.

**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 моментов импульса) нейтрино и антинейтрино равны и противоположны по знаку.

Гравитоны внутри нейтрино движутся по винтовым линиям (как электроны в проводе соленоида), но направление осевой составляющей скорости частиц, движущихся по этим винтовым линиям, зависит от направления угловой скорости кольцевого вращения. Подробнее о свойствах тороидального вихря рассказано в разделе, посвященном 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  $\nu$ , 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 шестерчатого насоса, вращающиеся нейтрино при своем тороидальном вращении увлекают гравитоны полевой среды, образуя вращающийся в пределах определенного телесного угла **лучевой вихрь**. Этот вихрь левовинтовой у электрона и правовинтовой у позитрона. Лучевые вихри являются аналогами **зарядовых трубок** М.Фарадея. Их интенсивность и определяет значение элементарного электрического заряда. Поскольку угловая скорость тороидального вращения является величиной постоянной (**фундаментальной физической константой**), то и значение элементарного электрического заряда также является фундаментальной физической константой.

Образование соленоидальных вихрей из частиц жидкой среды с последующим превращением их в тороидальные вихри имеет место не только на уровне электромагнитного поля, но и на уровне макровещества, например, в гидродинамическом пограничном ламинарном слое. Такие вихри в англоязычной литературе получили название «герпинь», что в переводе на русский язык означает «веретенообразные», они хорошо изучены и теоретически, и экспериментально. Астрофизика также представляет в наше распоряжение достаточно убедительные свидетельства образования

вихрей на уровне галактик.

Приведенные примеры подтверждают выводы уровневой физики (О.Бондаренко, В.Пакулин) 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 приемов.

#### **2.7.4. Базовые понятия зарядов физического поля**

К понятию “заряд“ в физике очень часто добавляют различные прилагательные, которые существенно характеризуют физическое содержание этого понятия.

При взаимодействии двух заряженных систем с существенно различающимися значениями зарядов этих систем применяются такие понятия, как **полеобразующий заряд** и **полевой заряд**, **точечный заряд** и **пробный заряд**.

В разделе, посвященном описанию заряда поля как физического объекта, указано, что физическое поле имеет **две формы его математического описания: центральное поле и вихревое поле.** Соответственно этому должны существовать и два вида заряда поля, их будем называть **статическим зарядом** и **динамическим зарядом.**

Динамический заряд, в свою очередь, может существовать, как **движущийся заряд**, то есть заряд, движущийся вместе с заряженной системой, и как движущийся внутри неподвижной системы заряд, который будем называть **токовым зарядом**).

Наконец, для электромагнитного поля применяют понятие **электрический заряд**, а для гравитационного поля применяют понятие **гравитационный заряд.**

Как видим, термин “заряд“ обрastaет дополнениями к нему. Разъяснению всех перечисленных терминов и посвящен данный раздел.

## О полеобразующем и полевом зарядах

Если значение одного из двух зарядов взаимодействующих заряженных физических систем существенно больше, чем значение другого заряда, то первый из них будем называть **полеобразующим зарядом**, а второй – **полевым зарядом**. (См. первые две строки Таблицы величин физического поля).

С точки зрения взаимодействия полеобразующий заряд и полевой заряд равноправны, поэтому все принципиальные выводы не зависят от соотношения их значений. Но разделение этих двух понятий позволяет четче представлять себе, что от чего зависит, и неуклонно придерживаться **принципа причинности**. И полеобразующий заряд, и полевой заряд создают свои физические поля, окружающие заряженные системы, и эти поля в физике часто называют **оболочками**. Так что речь идет **о взаимодействии оболочек, а не зарядов**.

О необходимости разделения указанных двух понятий 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 популярном справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа применяют очень похожий по звучанию термин “заряд в поле“. Автор полевой физики О.Репченко ввел для полеобразующего заряда термин “**частица-источник**“, а для полевого заряда – термин “**частица регистрации**“.

Если значение полевого заряда ничтожно мало, то его 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 точечный заряд, не искажающий исследуемое физическое поле. Однако термины “точечный заряд“, “пробный заряд“ и “материальная точка“ противоречат **условию реальности**, в связи с чем 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”. По отношению к **физическим полям термин “стационарный”** следует понимать только, как **“не изменяющийся во времени”**.

### **О статическом заряде физического поля**

Если полеобразующий и полевой заряды неподвижны друг относительно друга и относительно системы отсчета, начало координат которой совмещено с центром полеобразующего заряда, то будем называть их **статическими зарядами**. Статический полеобразующий заряд создает центральное физическое поле. При этом, следует понимать только **взаимную неподвижность статических зарядов, а не отсутствие движения зарядов вообще**. В общем случае физическое поле является полем подвижных зарядов, поскольку в движении может находиться сама система отсчета.

**Статический заряд является скалярной величиной.**

Полеобразующий статический заряд будем обозначать символом  $Q$ , а полевой статический заряд будем обозначать символом  $q$ . Изменение статического заряда в системе также является скалярной векторной ( $dQ/dt$  или  $dq/dt$ ). Разница между обозначениями гравитационного и электрического зарядов в Таблице величин физического поля будет заключаться в нижнем индексе: " $g$ " или " $e$ ".

Суммарный заряд заряженной системы состоит из определенного количества элементарных зарядов. Если система однородна и находится в равновесном состоянии, то все элементарные заряды неподвижны относительно центра заряда. При нарушении равновесия внутри заряженной системы отдельные 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.

### **О динамическом заряде физического поля**

Если элементарные заряды движутся, независимо от того, движутся ли они вместе с заряженной системой или относительно неподвижной системы внутри нее, то заряд системы будем называть **динамическим зарядом**. Поскольку любая физическая величина, характеризующая

движение, является величиной векторной, обозначим динамический заряд символами  $\mathbf{Q}$  (полеобразующий динамический заряд) или  $\mathbf{q}$  (полевой динамический заряд).

Главной особенностью динамического заряда является то, что он создает вихревое поле. В зависимости от формы движения заряженной системы можно рассматривать две разновидности динамического заряда:

1. Если элементарные заряды неподвижны относительно центра заряженной системы, вместе с которой они движутся, то заряд системы называют **движущимся зарядом**. Движущийся прямолинейно полеобразующий заряд определяется формулой  $\mathbf{Q} = Q\mathbf{v}$ , где  $\mathbf{v} = dx/dt$  – скорость движения заряженной системы, а  $d\mathbf{x}$  – линейное перемещение системы. Движущийся прямолинейно полевой заряд определяется формулой  $\mathbf{q} = q\mathbf{v}$ .

2. Если заряженная система движется по криволинейной траектории, то такой полеобразующий заряд будем называть **поворачивающимся зарядом** и обозначать символом  $\mathbf{Q}_\varphi = Q\boldsymbol{\omega}$ , где  $\boldsymbol{\omega} = d\varphi/dt$  – угловая скорость поворота радиус-вектора центра заряженной системы, а  $d\varphi$  – угловое перемещение заряженной системы. Соответственно поворачивающийся полевой заряд будем обозначать  $\mathbf{q}_\varphi = q\boldsymbol{\omega}$ .

3. Если элементарные заряды перемещаются через неподвижную систему, то их перемещение внутри этой системы называют **потокм зарядов**, а саму разновидность динамического заряда в этом случае будем называть **токовым зарядом**. В современной физике понятие “токовый заряд“ отсутствует, и это создает немалые методологические затруднения. Это понятие рассмотрим подробнее.

### **О понятии – токовый заряд**

В случае прямолинейного движения элементарных зарядов через неподвижную систему будем говорить (И.Коган) о **токовом заряде прямого тока**, определяемом выражением  $(i\mathbf{l})$ , где  $\mathbf{i}$  – электрический ток в виде векторной величины,  $l$  – длина прямолинейного участка проводника. Слова “прямого тока“ часто опускаются, так как элементарное перемещение элементарного заряда предполагается прямолинейным. Аналогичная, только скалярная величина под названием “токовый элемент“ в виде выражения  $(il)$  была ранее предложена А.Чуевым.

В современной физике и метрологии определяющее уравнение для силы тока выглядит так:  $i = dq/dt$ , в котором под  $dq$  подразумевается элементарное количество электрических зарядов, переносимых через любое сечение проводника за интервал времени  $dt$ . Однако это уравнение неверно, поскольку скалярное выражение  $(dq/dt)$  может характеризовать только приращение количества элементарных электрических зарядов в уединенном проводнике.

В разделе, посвященном электрическому току, показано, что поток электрических зарядов имеет направление, является векторной величиной и определяется уравнением  $\mathbf{i} = (dq \mathbf{n})/dt$ , в котором  $\mathbf{n}$  – орт направления движения зарядов, нормальный к поперечному сечению потока. Поэтому полеобразующий токовый заряд (прямого тока) будем обозначать выражением  $(\mathbf{I}) = [(dQ \mathbf{n})/dt] l$ , а полевой токовый заряд будем обозначать выражением  $(i\mathbf{l}) = [(dq\mathbf{n})/dt]l$ .

Физическая величина “токовый заряд“ ( $i\mathbf{l}$ ) имеет ту же размерность, что и движущийся заряд ( $q\mathbf{v}$ ), но это разные величины, поскольку они имеют разное физическое содержание. И движущийся, и токовый заряды создают вихревое физическое поле, но движущийся заряд движется вместе с создаваемым им центральным полем, а в случае применения понятия "токовый заряд" речь идет о движении элементарных зарядов в неподвижной системе, которая не создает центрального поля.

### **О необходимости введения 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. При открытии этого закона элементарный токовый заряд имел другой вид ( $i d\mathbf{l}$ ) и он не заключался в скобки. Так это сохранилось и до сегодняшнего дня.

Однако и токовый заряд ( $i\mathbf{l}$ ), и движущийся заряд ( $q\mathbf{v}$ ), являются самостоятельными физическими величинами, и поэтому выносить за скобки любой из множителей этих произведений нельзя, не утратив при этом физического содержания динамического заряда. В законе Био-Савара-Лапласа это требование не выполняется, множитель

токового заряда  $d\mathbf{l}$  выносится за скобки и образует с радиус-вектором векторное произведение, в результате чего **электрический ток уже на протяжении 200 лет считается скалярной величиной**. Аналогичное происходит при выводе закона Ампера, когда сомножитель  $d\mathbf{l}$  образует векторное произведение с индукцией магнитного поля, и в результате преобразований сила взаимодействия двух токовых зарядов записывается только в виде модуля.

В разделе, посвященном электрическому току, приводится подробное описание терминологии, связанной с этим физическим явлением. А в разделе, посвященном "магнитному заряду" показано, что это понятие является синонимом понятия "элементарный токовый заряд". Чтобы не смущать тех, кто считает, что магнитных зарядов не существует в природе, скажем, что **элементарные токовые заряды существуют только в замкнутом контуре**, в котором элементарный токовый заряд одного знака в одной из ветвей контура уравнивается элементарным токовым зарядом другого знака в противоположной ветви контура. Так что суммарный токовый заряд замкнутого контура (магнитный заряд контура) действительно равен нулю.

**О свойствах различных видов заряда рассказано в разделе, посвященном систематизации физических полей. В частности, там приведена подробная схема классификации зарядов физического поля.**

### **2.7.5. Закон сохранения заряда системы и закон сохранения координаты состояния формы движения**

Насколько известно, **закон сохранения заряда** впервые обосновал А.Вейник 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"*. Очень важно и его послесловие к формулировке этого закона: *"По сути дела, этот закон выражает идею сохранения движения, а, следовательно, и материи, которая существует в виде движения"*.

В разделе, посвященном понятию заряд поля, показано, что заряд поля

зависит от энергии, сконцентрированной в нем. Поэтому закон сохранения заряда является следствием закона сохранения энергии. А если учесть, что понятие "заряд" может являться частным случаем понятия "координата состояния формы движения", что разъясняется в том же разделе, то закон сохранения заряда является также частным случаем закона сохранения координаты состояния.

**Вывод закона сохранения координаты состояния (закона сохранения заряда)**

Покажем, как в энергодинамике выводится закон сохранения координаты состояния формы движения системы. В разделе, посвященном обобщенному уравнению динамики, приведена его векторная форма записи:

$$a_0 \Delta q_{cv} + a_1 dq/dt + a_2 d^2q/dt^2 + \dots = -\Delta U_{cv}, \quad (1)$$

где  $\Delta U_{cv}$  и  $\Delta q_{cv}$  – разности между текущими значениями приращений динамического воздействия и координаты состояния и их значениями в момент времени начала переходного процесса;  $a_0$ ,  $a_1$  и  $a_2$  – коэффициенты пропорциональности при производных от координаты состояния системы по времени  $t$  (жесткость, сопротивление и инертность системы). А в разделе, посвященном приращению координаты состояния, доказана справедливость равенства  $dq/dt = d(\Delta q)/dt$ .

Рассмотрим состояние динамического равновесия между физической системой и окружающей средой, когда приращение динамического воздействия на систему  $\Delta U = 0$ . Это возможно при равенстве нулю приращения координаты состояния  $\Delta q$  и всех его производных по времени. Из  $dq/dt = d(\Delta q)/dt = 0$  следует вывод о том, что при динамическом равновесии системы 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, модуль заряда системы  $q = \text{const}$ . Это закон сохранения заряда системы.

## Законы сохранения электрического и гравитационного зарядов

В современной физике закон сохранения заряда 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, но при рассмотрении этого закона в современной физике обычно не говорится, о какой массе идет речь: об инертной или гравитационной. Если иметь в виду гравитационную массу как заряд гравитационного поля, то говорить следует о законе сохранения гравитационного заряда или о законе сохранения гравитационной массы.

Понятно, что законы сохранения электрического и гравитационного зарядов можно рассматривать, как частные случаи закона сохранения заряда физической системы.

В разделе, посвященном принципу эквивалентности масс, говорится о том, что в современной физике гравитационная и инертная массы приравниваются. Но в том же разделе приведена подборка доводов и даже экспериментальные данные, свидетельствующие о нерелевантности этого принципа.

### 2.7.6. 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” безотносительно к тому, каким он является, пока найти в литературе не удалось.

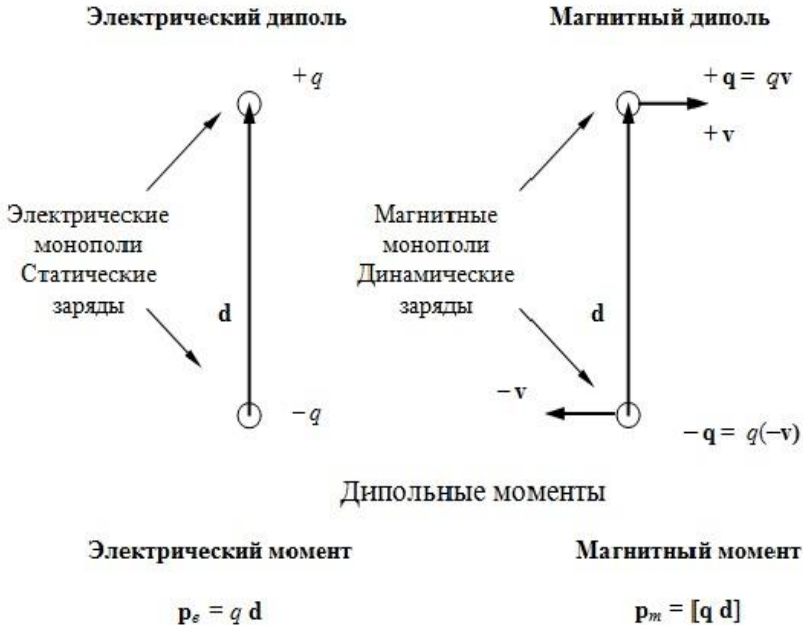
Слово **полюс** (на латыни *polus*, от греческого *polos*) буквально означает ось, но это ничего не поясняет. Наиболее абстрактно звучит определение полюса в БСЭ: это “*нечто диаметрально противоположное другому*”. Такому определению соответствуют положительный и отрицательный заряды в электромагнетизме, если еще упомянуть о противоположности по знаку. Учитывая это, диполь можно считать не только двухполюсником, но и двухзарядником, и

определить как (И.Коган) *физическую систему, состоящую из двух пространственно разделенных зарядов одной природы, но противоположного знака.*

### Электромагнитные диполи

Рассмотрим схему электромагнитных диполей, обозначения на которой соответствуют принятой нами системе символики и индексации.

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“. Впрочем, речь идет не столько о точечных



статических зарядах (терминология зарядов поясняется в отдельном разделе), сколько о заряженных системах, центры которых отстоят друг от друга на **дипольном расстоянии**, обозначенном нами символом **d**. Обозначение **d** выбрано потому, что при повороте диполя вокруг своего центра дипольное расстояние становится диаметром окружности, по которой движутся **монополи**. В разделе, посвященном

повороту диполя, показано, почему **дипольное расстояние** нельзя называть **плечом диполя**, как это принято в современной электродинамике.

Электрические заряды разного знака в электрическом диполе ( $+q$  и  $-q$ ) можно назвать **электрическими монополями**. Элементарные электрические монополи разного знака являются **электронами** и **позитронами**. У электрона и позитрона противоположны направления их орбитального движения вокруг ядра атома относительно направления их вращения вокруг собственной оси. Противоположность этих направлений и указывает на разные знаки монополей, что подробно изложено в работе В.Пакулина и кратко в разделе, посвященном элементарным электрическим зарядам.

Теперь о **магнитном диполе**, понятие о котором существует в электродинамике. Но четкое и короткое определение для магнитного диполя, подобное тому, которое приведено выше для электрического диполя, в первоисточниках пока не найдено. Возможно, потому, что в современной физике категорически, хотя и необоснованно, запрещено говорить о существовании **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. классификацию зарядов физического поля).

Несколько слов о магнитных зарядах. В любом замкнутом токовом контуре (а **незамкнутых токовых контуров не бывает**) в противоположных ветвях контура существуют заряды, названные нами токовыми зарядами ( $+q$  и  $-q$ ), являющиеся синонимами магнитных зарядов. Они равны по модулю, но разные по знаку, так как потоки зарядов (токи), образующие эти токовые заряды, движутся в противоположных направлениях. Например, элементарный положительный токовый заряд, определяется формулой  $dq = \mathbf{i}dl$ , где  $\mathbf{i}$  – ток проводимости;  $dl$  – длина элементарного участка проводника. В разделе, посвященном магнитному заряду, детально разъяснено, что противоположно расположенные в магнитном диполе токовые заряды можно называть **магнитными монополями** (или **магнитными зарядами**).



## О характеристиках дипольных моментов в электромагнетизме

П.Пирнат 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.

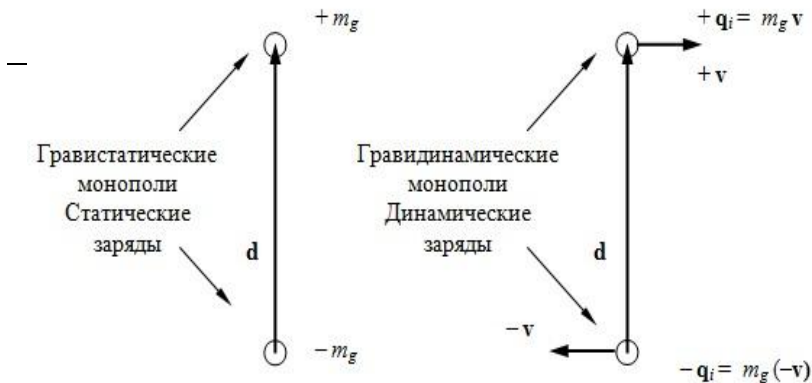
Дипольные моменты объединяют две главные характеристики любого диполя: значение заряда ( $q$  или  $\mathbf{q}$ ) и дипольное расстояние  $\mathbf{d}$ . Обратим внимание на то, что уравнение для определения магнитного момента  $\mathbf{p}_m = [q \mathbf{d}] = [(i\mathbf{l}) \mathbf{d}]$ , приведенное на схеме, отличается от уравнения  $\mathbf{p}_m = iS\mathbf{n}$ , которое принято в современной физике для определения магнитного момента, где  $S$  – площадь сечения токового контура;  $\mathbf{n}$  – орт нормали к сечению. Но уравнение  $\mathbf{p}_m = iS\mathbf{n}$  отличается от уравнения  $\mathbf{p}_m = [q\mathbf{d}] = [(i\mathbf{l})\mathbf{d}]$  лишь по форме записи, а не по физической содержанию, что будет показано в разделе, посвященном повороту магнитного диполя.

## Гравитационные диполи

Покажем, что понятие “диполь” можно применять и в теории гравитации.

### Гравистатический диполь

### Гравидинамический диполь



### Гравистатический момент

$$\mathbf{p}_g = m_g \mathbf{d}$$

### Гравидинамический момент

$$\mathbf{p}_i = [\mathbf{q}_i \mathbf{d}]$$

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 затруднительно 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 названное И.Коганом **гравистатическим полем**, и **вихревое**, аналогичное магнитному полю и названное И.Коганом **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 орбитального 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 монополюс. Наконец, 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.

### **2.7.7. Классификация форм описания физического поля**

Ниже приведена классификация форм описания физического поля по трем следующим признакам: по виду полеобразующего заряда, по виду среды и по размеру поля. Терминология классификации полей по признаку вида заряда не совпадает с существующей в современной физике.

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 (И.Коган):

1. по виду **заряда**, формирующего физическое поле (оболочку заряда),
2. по детализации **размера** поля,
3. по виду **среды**, в которой существует поле (полевой среды).

### **Классификация форм описания 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.

<b>Обобщенное физическое поле</b>	
<b>Статический заряд</b>	<b>Динамический заряд</b>
<b>Потенциальное (центральное) поле</b>	<b>Вихревое (осесимметричное) поле</b>
<b>Электрическое поле (Электромагнитное поле)</b>	
<b>Электрический заряд (электрический заряд)</b>	<b>Движущийся заряд Токовый заряд (движущийся заряд) (магнитный заряд)</b>
<b>Электростатическое поле (электрическое поле)</b>	<b>Электродинамическое поле (магнитное поле, электрическое вихревое поле)</b>
<b>Электродинамическое поле</b>	

<b>Гравитационное поле</b>	
<b>Гравитационный статический заряд</b> (гравитационная масса)	<b>Гравитационный динамический заряд</b> (название отсутствует)
<b>Гравистатическое поле</b> (гравитационное поле)	<b>Гравидинамическое поле</b> (инертное поле, гравиинертное поле)

**Предварительные примечания к таблице.**

1. **Черным цветом** напечатаны названия терминов, продиктованные необходимостью унификации терминологии.
2. **Красным цветом** напечатаны рекомендуемые названия полеобразующих зарядов.
3. В строках под названием полеобразующего заряда черным цветом указано название формы описания поля, соответствующего этому полеобразующему заряду.
4. **Синим цветом** в круглых скобках напечатаны существующие в современной физике названия.

**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 и В.Пакулина 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”, имеющий смысл контура, обтекаемого электрическим током. Впрочем, в разделе, посвященном магнитному заряду, показано, что магнитный заряд, как физическая величина, существует в виде токового заряда прямого тока и является частным случаем динамического заряда. 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 заменить термином “электродинамическое поле”. Но это практически невозможно, и поэтому термин “магнитное поле” можно оставить, но только для рассмотрения явлений в веществе.

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. Ранее С.Кадыров предложил для него название “инертное поле”, а затем Дж.Асанбаева предложила для него название “гравинертное поле”. А О.Репченко для этой же цели применяет термин “гравимагнитное поле”.

### **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 позволяет проведенная систематизация 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, разрабатывая свою версию теории гравидинамики, как аналога электродинамики. На базе его выводов **Дж.Асанбаева объединила систему уравнений электродинамики Дж.Максвелла и систему уравнений гравидинамики С.Кадырова в единую систему уравнений Максвелла-Кадырова.**

В.Пакулин 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.

### **Классификация физических полей по признаку размера**

Вне зависимости от физической природы физические поля можно разделить на (И.Коган):

- 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 **макروتками** понимаются токи проводимости и токи переноса, а под **микротками** – молекулярные (круговые) токи, обусловленные движением электронов в атомах, молекулах и ионах. При

систематизации величин и понятий токи проводимости входят в качестве сомножителя 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.

### **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.

### **2.7.8. Об энергии центрального физического поля**

Поиски в словарях определения термина “энергия физического поля” к однозначному результату не приводят. Можно лишь отметить мало что объясняющие слова из справочника по физике Б.Яворского и



А.Детлафа: “Поле обладает энергией, которая распределяется по всему объёму пространства, где есть это поле“, а также частное определение из Интернет-энциклопедии Википедия: “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*. Мы полагаем, что с точки зрения метрологии **энергия должна являться основной физической величиной**, характеризующей **движение**, или **мерой движения**. В разделе, посвященном **энергии**, показано, что **энергия должна характеризовать и направление движения**, то есть быть **векторной величиной**, обозначаемой символом *W*. Поэтому мы полагаем, что **энергия и движение – это синонимы** одной и той же сущности: **движение является векторной физической величиной**, а **энергия – ее модулем**. В том же разделе обоснован вывод, что импульс и момент импульса тела являются производными величинами от энергии как векторной величины.

Однако в данном разделе мы рассмотрим не энергию, как основную физическую величину, а энергию физического поля конкретной заряженной системы, как производную величину, то есть энергию в той части пространства, которую называют **физическим полем** этой системы или **оболочкой заряженной системы**. Правда, в действительности **нет такой части пространства, которая не являлась бы физическим полем, образованным не одним, а множеством различных заряженных систем**. Поэтому можно воспользоваться принципом суперпозиции, рассматривая поочередно физическое поле от конкретной заряженной системы, а затем усложнять ситуацию.

**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. В современной физике полевую среду называют **физическим вакуумом**, но с оговорками. Например, в учебнике по физике И.Савельева сказано “*Заряд изменяет свойства окружающего его пространства*“. Однако у пространства

есть лишь одно свойство – протяженность, и на это свойство заряд влиять не может, хотя предполагается, что пространство можно искривить. Если физический вакуум – пустота, то о каких свойствах, да еще во множественном числе, 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 и термодинамике, добавили прилагательное “физический“.

Наличие энергии у физического поля показывает, что пространство поля заполнено движущейся материальной средой. Ибо **в пустоте нечему было бы двигаться, и энергии неоткуда было бы взяться.** Даже если придерживаться квантовой теории поля и считать, что пространство поля заполнено виртуальными переносчиками взаимодействия, то и в этом случае пространство пустым не является.

Как показано в разделе, где излагается точка зрения В.Пакулина на **историю развития взглядов на сущность среды,** 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 уровень физического вакуума (эфира) соответствует уровню электромагнитного поля. Но если кому-то из физиков не нравится термин “эфир“, возможно, он согласится с примиряющим термином “**полевая среда**“, широко применяемым О.Репченко.

Начиная с Галилея, сторонники **рационализма** рассматривали эфир как сплошную вязкую среду, в которой происходит вихревое движение материи. Различались порой лишь мнения о том, является ли эфир несжимаемой средой, или это среда деформируема. Автор относит себя к сторонникам взгляда на то, 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 потенциальную энергию.**

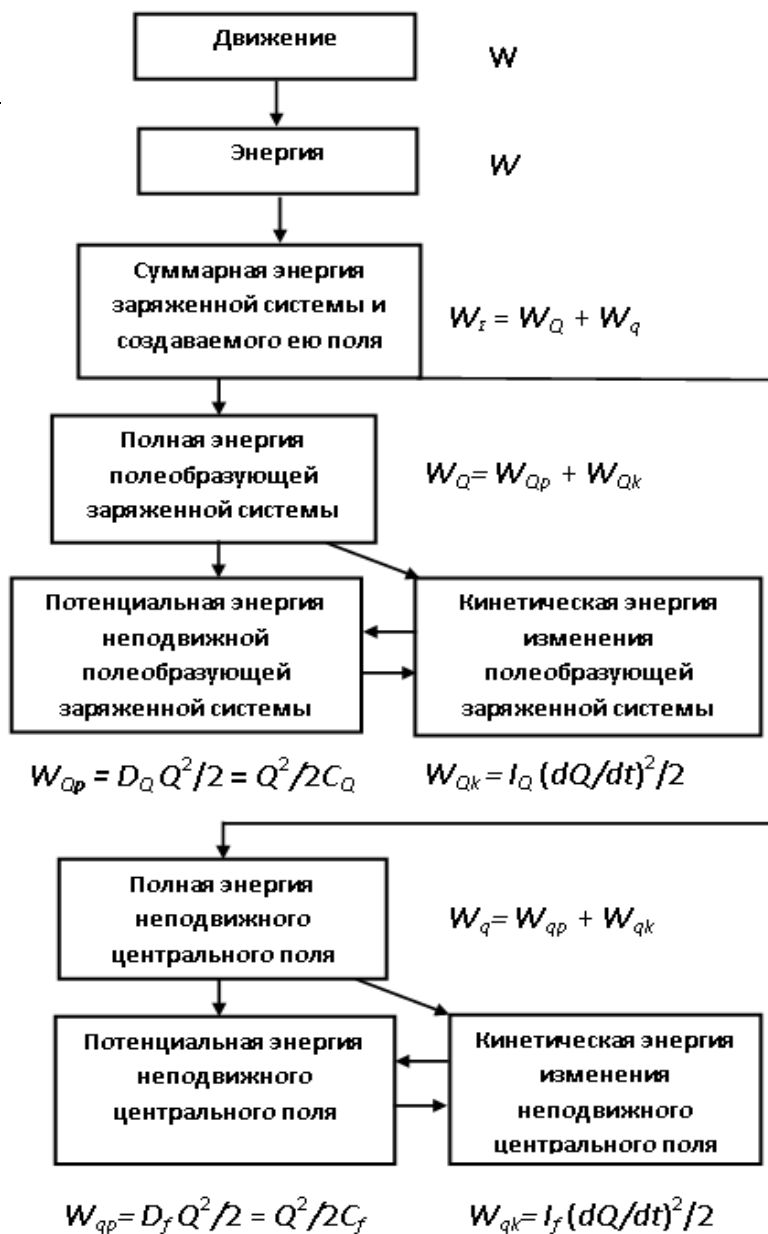
Полевую среду на протяжении веков сравнивали то с жидкостью, то с газом, то с твердым телом. Но и жидкость, и газ, и твердое тело – это подуровни макровещества (см. раздел, описывающий **уровневое строение материи**), а **полевая среда принадлежит уровню**

электромагнитного поля, который находится на 4 уровня выше макровещества. Так что указанные сравнения вряд ли справедливы, у полевой среды свои собственные свойства, не похожие на свойства макровещества.

**Как возникает энергия центрального физического поля?**

**Центральное физическое поле** – это математическая абстракция, описывающая 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 заряды**, называют в физике уединенным проводником. Если суммарный заряд проводника отличен от нуля, то такую систему можно называть **заряженной системой**. Например, в электростатике заряд полеобразующей системы равен числу нескомпенсированных электронов, а в гравитатике – гравитационной массой проводника. Физическая природа заряда любой формы поля, согласно модели строения вещества (В.Пакулин), связана с вихревым движением. Оболочка заряженной системы увлекается ею вследствие вязкости. Посмотрим на схему.



Центральное физическое поле – это математическая абстракция.

Вихревое движение полеобразующей заряженной системы и ее оболочки обладает суммарной энергией  $W_{\Sigma}$ , 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 динамическим (движущимся зарядом).** Эти понятия разъяснены в разделе, посвященном **терминологии зарядов**. 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 скаляром**.

Схема позволяет прояснить метрологический вопрос: в каких случаях следует считать энергию основной физической величиной, а в каких случаях – производной величиной. Энергия  $W$ , как характеристика движения материи в общем случае, является основной величиной, а энергия заряженной системы ( $W_\Sigma$ ,  $W_Q$ ,  $W_q$ ), энергия ее оболочки и тому подобные частные проявления движения являются производными величинами.

### **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 потенциальной энергии, является энергией движения частиц, зависящей от их взаимного расположения в системе. В данном случае это энергия движения частиц, из которых состоит заряженная система и окружающая ее оболочка. 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 изменению полеобразующего заряда  $Q$ . Например, в электростатике, судя по справочнику Б.Яворского и А.Детлафа, “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 полеобразующего заряда  $Q$  и, как следствие, изменению степени деформированности полевой среды. Поскольку потенциальные энергии проводника  $W_{Qp}$  и его оболочки  $W_{qp}$  равны друг другу, то из этого 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  $C_f$ .

**Следует обратить внимание на то, что в современной физике потенциальная энергия  $W_p$ , по которой определяют потенциал в конкретной точке поля, – это понятие, отличающееся от суммарной потенциальной энергии оболочки  $W_{qp}$ .** Отсутствие в учебниках и справочниках разъяснений по этому поводу и разъясняющей индексации затрудняет понимание ситуации.

Теперь 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 в течение этого изменения.** Она и будет являться кинетической составляющей  $W_{Qk}$  полной энергии  $W_Q$ . Кинетическую энергию  $W_{Qk}$  в процессе изменения значения полеобразующего заряда не следует путать с кинетической энергией постоянного движения элементарных частиц внутри заряженной системы. Не имеется в виду также и кинетическая энергии движения заряженной системы в целом.

**Кинетическая энергия заряженной системы  $W_{Qk}$**  зависит от инертности  $I_Q$  вещества, из которого состоит заряженная система, а **кинетическая энергия оболочки  $W_{qk}$**  зависит от инертности полевой среды  $I_f$ . Оба значения кинетической энергии зависят от квадрата скорости изменения количества заряда в заряженной системе  $dQ/dt$ .

Наконец, **диссипация энергии** в заряженной системе и в ее оболочке, если она существует (на схеме не показана), может происходить в тот же промежуток времени, когда изменяется значение заряда системы. Она будет зависеть от сопротивления  $R_Q$  изменению заряда в заряженной системе и от сопротивления  $R_f$  полевой среды.

Определяющие уравнения для параметров поля (жесткости, ёмкости, сопротивления и инертности) приведены в отдельном разделе. Там же приведены их размерности и единицы измерения.

### **Потенциальная энергия центрального физического поля**

В разделе, посвященном видам энергии, конечное приращение потенциальной энергии  $\Delta W_p$ , представлено обобщенным уравнением :

$$\Delta W_p = D(\Delta Q)^2/2 = (\Delta Q)^2/2C, \quad (1)$$

где  $D$  – обобщенное обозначение жесткости системы;  
 $C$  – обобщенное обозначение ёмкости системы;  
 $\Delta Q$  – 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:

$$W_{qp} = DQ^2/2 = Q^2/2C. \quad (2)$$

Это уравнение и представлено на схеме. К слову, второе выражение из уравнения (2) полностью совпадает с уравнением для определения энергии поля уединенного проводника в электростатике.

Формулы для определения жесткости  $D_f$  и ёмкости  $C_f$  для электрического и гравистатического полей рассмотрены в разделе, посвященном потенциалу поля.

### **Кинетическая энергия центрального физического поля**

В разделе, посвященном видам энергии, конечное приращение кинетической энергии  $\Delta W_k$  представлено обобщенным уравнением в общем виде:

$$\Delta W_k = I[d(\Delta Q)/dt]^2/2, \quad (3)$$

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:

$$W_{qk} = I_f(dQ/dt)^2/2 = I_f(I_f)^2/2. \quad (4)$$

Уравнение (4) помогает раскрыть физическое содержание инертности  $I_f$ . Например, в электростатике это индуктивность уединенного проводника.

### **Энергия диссипации центрального физического поля**

В разделе, посвященном видам энергии, приращение энергии диссипации за период времени переходного процесса представлено обобщенным уравнением в общем виде:

$$\Delta W_R = R[d(dQ/dt)]^2 \Delta t, \quad (5)$$

где  $R$  – обобщенное обозначение диссипативного сопротивления системы.

Для энергии диссипации  $W_{qR}$  и диссипативного сопротивления  $R_f$  поля, равно диссипативному сопротивлению заряженной системы уравнение (5) можно записать в виде:

$$W_{qR} = R_f(dQ/dt)^2 \Delta t = R_f(I_f)^2 \Delta t. \quad (6)$$

Уравнение (6) в электростатике – это не что иное, как закон Джоуля-Ленца, с той лишь разницей, что  $I_f$  является током зарядки, а не током проводимости, и что он имеет место только в период переходного процесса.



## **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.

**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, предложив свою “единую математическую формулу законов природы”. Продольными колебаниями полевой среды, что весьма вероятно, являются гравитационные волны.

В небольшой монографии В.С.Леонова 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, 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 продольных волн значительно меньше интенсивности поперечных волн. Поэтому электромагнитное взаимодействие на много порядков сильнее гравитационного взаимодействия.

Механизм переноса энергии гравитационными волнами должен также отличаться 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, можно предположить, что (И.Коган) *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.

## **2.7.9. Об энергии 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.

### **Как возникает энергия вихревого физического поля?**

Вихревое физическое поле создается динамическим зарядом, то есть движущимся статическим зарядом, который обозначается в настоящей работе 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  $v$ , и в виде **потока элементарных**

**зарядов 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:

$$Q = Qv$$

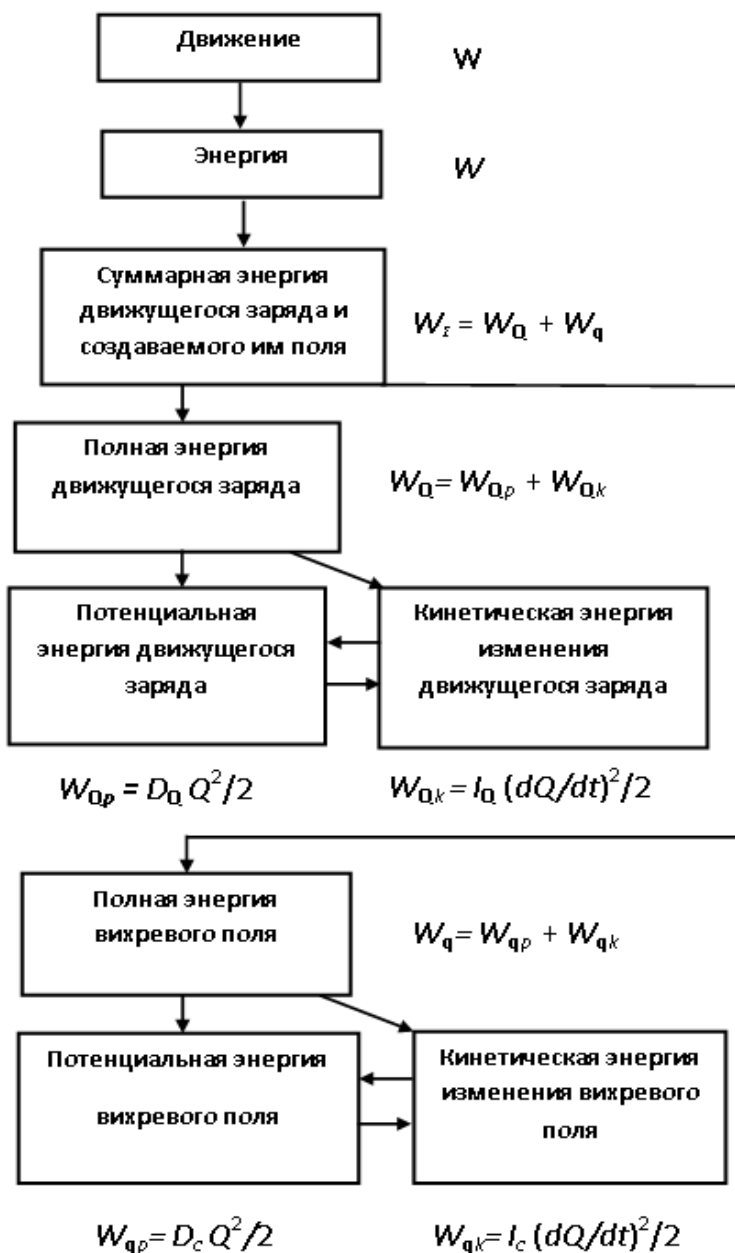
или

$$Q = Il \quad (1)$$

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  $W_{\Sigma}$ , 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.



Вихревое физическое поле создается динамическим зарядом, то есть Как и в случае центрального поля, энергии  $W_{\Sigma}$ ,  $W_Q$  и  $W_q$  являются с точки зрения метрологии производными величинами, только более

поздней очереди (о понятии очередности производных величин написано в разделе, посвященном производным величинам).

### **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 в разделе, посвященном 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  $Q$ , 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.

Определяющие уравнения для параметров вихревого поля приведены в отдельной разделе. Там же приведены их размерности и единицы измерения.

### **Потенциальная энергия вихревого поля**

В разделе, посвященном видам энергии, конечное приращение потенциальной энергии  $\Delta W_p$  представлено обобщенным уравнением в общем виде:

$$\Delta W_p = D(\Delta Q)^2 / 2, \quad (2)$$

где  $D$  – обобщенное обозначение жесткости системы;  $\Delta Q$  – 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  $\mathbf{Q} = Q\mathbf{v}$ , то уравнение (2) примет в случае движущейся заряженной системы вид:

$$W_{qp} = D_f Q^2 / 2 = D_f Q^2 v^2 / 2 = D_{c1} Q^2 / 2, \quad (3)$$

где  $D_f$  – жесткость полевой среды.

Из уравнения (3) видно, что условный параметр

$$D_{c1} = D_f v^2. \quad (4)$$

Уравнение (3) представлено на схеме. В случае движения потока элементарных зарядов в неподвижной системе, у которой  $\mathbf{Q} = \mathbf{I}$ , уравнение (2) принимает вид:

$$W_{qp} = D_f Q^2 / 2 = D_f I^2 l^2 / 2 = D_{c2} I^2 l^2 / 2, \quad (5)$$

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), 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.

### **Кинетическая энергия вихревого поля**

В разделе, посвященном видам энергии, конечное приращение кинетической энергии  $\Delta W_k$  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:

$$W_{qk} = I_f (d\mathbf{Q}/dt)^2 / 2 = I_f [d(Q\mathbf{v})/dt]^2 / 2 = I_f [Q(d\mathbf{v}/dt) + \mathbf{v}(dQ/dt)]^2 / 2. \quad (8)$$

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:

$$W_{qp} = I_f l^2 (d\mathbf{I}/dt)^2 / 2 = I_{c2} (d\mathbf{I}/dt)^2 / 2, \quad (12)$$

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.

### Энергия диссипации вихревого поля

В разделе, посвященном видам энергии, приращение энергии диссипации за период времени переходного процесса представлено обобщенным уравнением в общем виде:

$$\Delta W_R = R[dQ/dt]^2 \Delta t, \quad (14)$$

где  $R$  – обобщенное обозначение диссипативного сопротивления системы.

Уравнение (14) можно записать для энергии диссипации вихревого поля  $W_{qR}$  в случае движущейся заряженной системы в виде:

$$W_{qR} = R_f (d\mathbf{Q}/dt)^2 \Delta t = R_f [d(Q\mathbf{v})/dt]^2 \Delta t = R_f [Q(d\mathbf{v}/dt) + \mathbf{v}(dQ/dt)]^2 \Delta t, \quad (15)$$

где  $R_f$  – сопротивление полевой среды. При условии, что значение статического заряда  $Q$ , образовавшего центральное поле, не меняется при движении заряженной системы (то есть  $dQ/dt = 0$ ), уравнение (15) принимает вид:

$$W_{qR} = R_f Q^2 (d\mathbf{v}/dt)^2 \Delta t = R_f Q^2 \mathbf{a}^2 \Delta t = R_{c1} Q^2 \Delta t, \quad (16)$$

где  $\mathbf{a} = d\mathbf{v}/dt$  – ускорение движущейся заряженной системы. Из уравнения (16) видно, что параметр

$$R_{c1} = R_f \mathbf{a}^2. \quad (17)$$

В случае движения потока зарядов в неподвижной системе, у которой  $\mathbf{Q} = \mathbf{I}$ , уравнение (15) принимает вид:

$$W_{qR} = R_f (d\mathbf{Q}/dt)^2 \Delta t = R_f [d(\mathbf{I})/dt]^2 \Delta t = R_f [\mathbf{I}(dl/dt) + l(d\mathbf{I}/dt)]^2 \Delta t. \quad (18)$$

Так как длина системы, по которой движется поток зарядов, не меняется (то есть  $dl/dt = 0$ ), то уравнение (18) принимает вид:

$$W_{qR} = R_f I^2 (d\mathbf{I}/dt)^2 \Delta t = R_{c2} (d\mathbf{I}/dt)^2 \Delta t, \quad (19)$$

из которого видно, что параметр

$$R_{c2} = R_f I^2. \quad (20)$$

Уравнения  $R_{c1} Q^2 \Delta t$  и  $R_{c2} (d\mathbf{I}/dt)^2 \Delta t$  определяют энергию диссипации вихревого (в том числе, магнитного) поля, создаваемого как движущейся заряженной системой, так и потоком элементарных зарядов в неподвижной системе.

Из уравнений (17) и (20) следует, что параметры  $R_{c1}$  и  $R_{c2}$  не только не равны друг другу, но еще имеют разные размерности, то есть эти параметры имеют разное физическое содержание.

### 2.7.10. Потенциал и его определяющие уравнения

Термин “потенциал” применяется почти в тридцати случаях в разных науках, он происходит от латинского слова *potentia*, что означает в переводе - **возможность**. В современной физике рассматривается **потенциал физического поля**. Можно сослаться на определение потенциала поля в БСЭ – это *“потенциальная функция, понятие, характеризующее широкий класс физических силовых полей (электрическое, гравитационное и т.п.) и вообще поля физических величин, представляемых векторами”*.

В электромагнетизме это важная вспомогательная физическая величина, характеризующая электромагнитное поле, и вид потенциала 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, образованным динамическим (векторным) зарядом, и потенциал является векторной величиной.

#### Потенциал, как локальный параметр физического поля

Современное стандартное определение электрического потенциала  $\varphi$  (А. Чертов) исходит из формулы:

$$\varphi = W_p / q, \quad (1)$$

в которой  $W_p$  – потенциальная энергия пробного электрического заряда в электрическом поле, а  $q$  – значение этого заряда. В уравнении (1), записанном в виде  $W_p = \varphi q$ , потенциал  $\varphi$  является коэффициентом пропорциональности между значением пробного заряда  $q$  и потенциальной энергией пробного заряда  $W_p$ .

В данной работе вместо понятия “пробный (точечный) заряд” применяется, согласно условию реальности, понятие “**полевой заряд**”. Согласно принятой в работе модели физического поля полевая среда является упругой, а потенциальная энергия центрального поля – это энергия, накопленная при деформировании полевой среды после внесения в нее статического полеобразующего заряда. Покажем, что уравнение (1) не отражает физического содержания потенциала центрального поля.

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), и поэтому она значительно меньше потенциальной энергии центрального поля, образованного полеобразующим зарядом, значение которого предполагается значительно большим значения полевого заряда. Если пренебречь наличием полевого заряда, то физический смысл потенциала центрального поля – локальная характеристика деформированности полевой среды в любом месте центрального поля.

**Деформированность полевой среды имеет место независимо от того, находится ли в центральном поле полевой заряд или его там нет. Следовательно, потенциал поля не зависит от полевого заряда  $q$  и от потенциальной энергии  $W_p$  созданного им поля.** Определяющее уравнение для потенциала поля, заменяющее уравнение (1), приведено ниже.

Заметим попутно, что применяемый в термодинамике термин “термодинамический потенциал” некорректен, так как функции, называемые термодинамическими потенциалами, являются разновидностями энергии, а не потенциалами поля переноса, определение которого приведено в разделе, посвященном классификации полей.

## Эквипотенциальная поверхность

**Геометрическое место точек поля, в которых значения потенциала поля одинаковы, называют эквипотенциальной поверхностью. 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.**

Далее для упрощения будем считать, что поверхность полеобразующей заряженной системы является сферой с радиусом  $R$ . Поэтому эквипотенциальная поверхность центрального поля такого полеобразующего заряда имеет на поверхности этой сферы наименьшую площадь, равную  $S = 4\pi R^2$ , где  $R$  – внешний радиус полеобразующей заряженной системы. Любая другая эквипотенциальная поверхность с текущим значением радиуса  $r > R$  будет иметь большую площадь.

## Определяющие уравнения для скалярного потенциала центрального поля

Обозначим символом  $\varphi_Q$  потенциал полеобразующего заряда  $Q$ , равномерно распределенного по эквипотенциальной поверхности сферы радиуса  $R$  с поверхностной плотностью  $\sigma = Q/S$ . Этот потенциал (см. Б.Яворский, А.Детлаф) равен:

$$\varphi_Q = k_{f0} \sigma R = k_{f0} Q R / S, \quad (2)$$

где  $k_{f0}$  – размерный коэффициент центрального поля, значения которого указаны в Таблице величин физического поля. Например, в системе единиц СИ  $k_{f0}$  для электростатического поля в вакууме равен размерному коэффициенту  $1/\varepsilon_0$ , где  $\varepsilon_0$  называют электрической постоянной (см. страницу, посвященную размерным коэффициентам поля). В системе величин ЭСВ  $k_{f0}$  равен 1. Нижний индекс “ $f$ ” у этого коэффициента указывает на принадлежность к центральному полю в соответствии с символикой, принятой в ЭСВ.

Так как площадь поверхности сферы, ограничивающей полеобразующий заряд,  $S = 4\pi R^2$ , то уравнение (2) можно записать

также в виде

$$\varphi_Q = k_{j0} Q / 4\pi R, \tag{3}$$

что соответствует в электростатике уравнению  $\varphi_Q = Q / 4\pi R \varepsilon_0$ . Для конкретного центрального поля, образуемого постоянным по значению зарядом  $Q$ , величина  $\varphi_Q$  является местной константой. Определяющее уравнение для потенциала центрального поля в вакууме, обозначаемого в системе величин ЭСВ символом  $\varphi_{fv}$ , получается при подстановке в уравнение (3) радиуса конкретной точки поля  $r > R$  :

$$\varphi_{fv} = k_{j0} Q r / S = k_{j0} Q / 4\pi r, \tag{4}$$

где  $S = 4\pi r^2$  – площадь эквипотенциальной поверхности при радиусе  $r$ . Как видим, потенциал центрального поля в вакууме  $\varphi_{fv}$  обратно пропорционален радиусу  $r$ , зависит только от значения полеобразующего заряда  $Q$  и не зависит от значения полевого заряда  $q$ , вносимого в поле. Поэтому уравнение (4) адекватно для определения потенциала поля без привлечения для этой цели пробного заряда и применяемого в современной физике уравнения (1).

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 закона взаимодействия полевого заряда с полеобразующим зарядом, в то время как поле полеобразующего заряда может существовать независимо от того, внесен ли в него полевой заряд. При современной методике преподавания электромагнетизма переходят от изучения силы взаимодействия зарядов к изучению напряженности поля и лишь полсе этого к определению потенциала поля. Хотя на самом деле напряженность является функцией разности потенциалов (градиентом потенциала), то есть не причиной существования потенциала, а следствием существования разности потенциалов.

### **Определяющие уравнения для векторного потенциала вихревого поля**

В вихревом поле, образованном динамическим зарядом, потенциал поля (как и сам динамический заряд) является векторной величиной и называется **векторным потенциалом**. Векторный потенциал в современной электродинамике обозначается символом  $\mathbf{A}$ , а в системе величин ЭСВ символом  $\Phi_{cv}$ . Векторный потенциал параллелен направлению движения заряда и определяется по уравнению, аналогичному уравнению (4):

$$\Phi_{cv} = k_{c0} \mathbf{Q} r / S = k_{c0} \mathbf{Q} / 4\pi r, \quad (5)$$

где  $k_{c0}$  – размерный коэффициент вихревого поля в вакууме;  
 $\mathbf{Q} = Q\mathbf{v}$  – движущийся заряд.

Нижний индекс “ $c$ ” указывает на принадлежность к вихревому полю. Для электромагнитного поля  $k_{c0}$  равен в СИ магнитной постоянной  $\mu_0$ . В системе величин ЭСВ  $k_{c0} = 1/c^2$ , где  $c$  – электромагнитная постоянная. Для вихревого (магнитного) поля, образованного токовым зарядом прямого тока  $\mathbf{Q} = I\mathbf{l}$ , эквипотенциальная поверхность является цилиндром, и поэтому определяющее уравнение следует записать в виде

$$\Phi_{cv} = k_{c0} \mathbf{Q} / S, \quad (6)$$

где  $S = 2\pi b l$  – площадь боковой цилиндрической эквипотенциальной поверхности;  $b$  – радиус и  $l$  – длина этой поверхности. В электромагнетизме уравнение (6) имеет вид  $\Phi_{cv} = (\mu_0 / 4\pi)(2I/b)$ .

### **Разности потенциалов**

При систематизации величин физического поля более важной величиной является не сам потенциал поля, а **разность потенциалов**  $\Delta\Phi$  в различных точках физического поля. Например, в электрическом центральном поле конденсатора разность потенциалов  $\Delta\Phi$  между обкладками конденсатора называют **напряжением** и обозначают символом  $\mathbf{U}$ , а разность потенциалов на концах проводника, по которому течет электрический ток, называют **падением напряжения** и обозначают символом  $\Delta\mathbf{U}$ .

Особую роль разность потенциалов играет в полях переноса, так как поле переноса не создается полеобразующим зарядом. В полях переноса разность потенциалов выступает в качестве разности динамических воздействий окружающей среды на систему.

В поле переноса также имеются скалярный потенциал  $\varphi$  и векторная **разность потенциалов**  $\Delta\Phi$  (см. также условие направленности). Например, скалярными потенциалами полей переноса являются давление  $p$  в гидравлической форме движения и температура  $T$  в тепловой форме движения. А векторными разностями потенциалов в этих полях переноса являются перепад давлений  $\Delta\mathbf{p}$  и температурный напор  $\Delta\mathbf{T}$ . В этих двух примерах термин "потенциал" в современной физике не упоминается.

В некоторых формах движения в названии терминов для  $\Delta\Phi$  имеется слово "потенциал". Например, при переносе массы в газовых средах говорят о разности аэродинамических потенциалов  $\Delta(\mathbf{p}/\rho)$ , где  $\rho$  – плотность газа, а при переносе массы в неоднородных средах говорят о разности диффузионных потенциалов  $\Delta(\mathbf{p}_i / \rho_i)$ , где  $p_i$  и  $\rho_i$  – парциальные давление и плотность.

Для разности потенциалов в полях переноса, в которых потенциал поля  $U$  является скалярной величиной, существует определяющее уравнение, соответствующее уравнению, определяющему разность динамических воздействий:

$$\Delta\Phi = (dW/dq)\mathbf{e}_{dW} = \Delta U \mathbf{e}_{dW}. \quad (7)$$

### **Размерности и единицы потенциалов**

Размерность потенциала центрального поля в вакууме  $\varphi_{fv}$  вытекает из определяющего уравнения (4). В системе величин ЭСВ, где размерность заряда обозначается символом  $Q$ , размерности потенциала электрического поля  $L^{-1}Q$  соответствует единица Кл/м. В системе единиц СИ потенциал должен был бы измеряться также единицей Кл/м. Но в СИ для электрического потенциала применяются две другие единицы, хотя и равные Кл/м.

Первая из них – Дж/Кл – соответствует определяющему уравнению (7) для разности потенциалов поля переноса  $\Delta\Phi=(dW/dq)\mathbf{e}_{dW}$ . Следовательно, к электрическому полю, как к полю взаимодействия, эта единица отношения иметь не должна, хотя Кулон – это единица

электрического

заряда.

Вторая из них – В (Вольт) – вытекает из уравнения  $U = P/I$ , в котором  $U$  – падение напряжения на участке электрической цепи,  $P$  – мощность электрического тока,  $I$  – электрический ток. Но ток  $I$  и его мощность  $P$  никакого отношения к потенциалу электрического поля не имеют. Получается, что **принятые в СИ единицы потенциала электрического поля не соответствуют физическому содержанию этого потенциала**. Разность потенциалов поля всё же не является полным аналогом падения напряжения на клеммах проводника с током.

Если в СИ приравнять формулу размерности разности электрического потенциала  $L^2MT^{-2}I^{-1}$  к формуле размерности потенциала  $L^{-1}TQ$  (которой соответствует единица Кл/м), то после подстановки размерности электрического тока  $I = L^{3/2}M^{1/2}T^{-2}$  (см. в разделе, посвященном **обобщенным производным величинам**), мы придем к тождеству, что и следовало ожидать. Так что в СИ логичнее применять для скалярного потенциала поля единицу Кл/м вместо единиц

	В	и
	Дж/Кл.	

Размерность векторного потенциала магнитного поля в системе величин ЭСВ равна  $L^{-2}TQ$ , чему соответствует единица  $Кл \cdot с / м^2 = А \cdot с^2 / м^2$ . В системе единиц СИ размерность векторного потенциала равна  $ЛМТ^{-2}I^{-1}$ , чему соответствует единица  $Тл \cdot м = Н \cdot с / Кл$ . Эта размерность легко преобразуется в размерность  $L^{-2}T^2I$  с единицей  $А \cdot с^2 / м^2$ , такой же, как в системе величин ЭСВ. Таким образом, введение в электромагнетизм единицы Тл (Тесла) не продиктовано необходимостью.

### 2.7.11. Параметры физического центрального поля

**Что считать параметрами центрального физического поля?**

В разделах, посвященных энергии центрального поля, выяснилось, что **параметрами центрального поля являются потенциалы: потенциал полеобразующего заряда, потенциал поля и потенциал полевого заряда**. В современной физике рассматривают, в основном, потенциал полевого заряда и его потенциальную энергию.

Потенциал полеобразующего заряда и потенциал создаваемого им поля рассмотрены в разделе, посвященном потенциалу физического поля. А в данном разделе все эти **физические величины рассматриваются**,



как функции от параметров полевой среды. Этими параметрами являются жесткость, ёмкость, сопротивление и инертность полевой среды. Их размерности анализируются параллельно в системе единиц СИ и в системе величин ЭСВ.

### **Жесткость и ёмкость полевой среды и их размерности**

Рассмотрим определяющее уравнение для потенциальной энергии полеобразующего заряда  $W_p$  в центральном поле в вакууме (Б.Яворский, А.Детлаф), представленное в виде:

$$W_p = Q\varphi_Q/2 = Q^2/2C = DQ^2/2, \quad (1)$$

где  $Q$  – значение полеобразующего заряда;  $D$  и  $C$  – жесткость и ёмкость полеобразующего заряда;  $\varphi_Q$  – потенциал полеобразующего заряда, равномерно распределенный по поверхности сферы и определяемый уравнением, представленным в разделе, посвященном потенциалу центрального поля:

$$\varphi_Q = k_{f0}Q/4\pi R, \quad (2)$$

где  $R$  – радиус полеобразующей заряженной системы;  $k_{f0}$  – размерный коэффициент.

Как было показано в разделе, посвященном энергии центрального поля, жесткость и ёмкость полеобразующего заряда равны жесткости и ёмкости созданного им поля, обозначим их символами  $D_f$  и  $C_f$ . После подстановки уравнения (2) в уравнение (1) мы приходим к уравнениям:

$$D_f = k_{f0}/4\pi R$$

и

$$C_f = 4\pi R/k_{f0}. \quad (3)$$

Заметим, что приравнивание друг другу первых двух выражений уравнения (1) приводит к уравнению для определения заряда в виде  $Q = C\varphi_Q$ , существующему и в современной электродинамике. Но запись  $Q = C\varphi_Q$  противоречит принципу причинности, поскольку потенциал  $\varphi_Q$  является функцией от полеобразующего заряда  $Q$ , а не наоборот. Корректна запись

$$\varphi_Q = Q/C.$$

Размерности жесткости  $D_f$  и ёмкости  $C_f$  полеобразующего заряда в центральном поле, судя по уравнениям (3), должны быть в СИ равны  $L^{-1}$  и  $L$ , что соответствует для жесткости  $D_f$  единице  $m^{-1}$ , а для ёмкости  $C_f$  – единице  $m$ . Единица ёмкости  $C_f$   $m$ , к слову, применяется в гауссовой системе единиц. Современная единица ёмкости в электростатике  $\Phi$  (Фарада) появилась в СИ только по причине введения в СИ единицы  $\Phi/m$  для электрической постоянной  $\epsilon_0$ . Единицей  $m^{-1}$  в СИ измеряется кривизна линии, и это логично, так как жесткость поля  $D_f$  должна быть пропорциональна кривизне эквипотенциальной поверхности.

Но размерность жесткости  $L^{-1}$  противоречит в системе величин ЭСВ условию показателей степени, указывающему на то, что размерность основной физической величины не может быть в отрицательной степени. Зато этому условию удовлетворяют предлагаемые нами уравнения, заменяющие уравнения (3):

$$D_f = k_{f0} N_Q / 4\pi R$$

и

$$C_f = 4\pi R / k_{f0} N_Q, \quad (4)$$

в которых  $N_Q$  – число элементарных зарядов в полеобразующей заряженной системе. При применении уравнений (4) размерности жесткости и ёмкости, как параметров центрального поля, равны, соответственно,  $L^{-1}N$  и  $LN^{-1}$ , а единицы равны  $кв/м$  и  $м/кв$  (квант на метр и метр на квант). В электростатике квантом является один элементарный заряд (электрон).

Указанные размерности и единицы отражают также физическое содержание параметров: жесткость полеобразующего заряда  $D_f$  указывает на количество элементарных зарядов, приходящихся на единицу длины эквипотенциальной поверхности, а ёмкость  $C_f$  – на длину поверхности, на которой укладывается определенное число элементарных зарядов.

При замене в уравнениях (3) радиуса полеобразующего заряда  $R$  на радиус  $r$  в любой точке поля мы получаем жесткость и ёмкость

полевой среды в этой точке поля, так как значения  $Q$  и  $\varphi_Q$  для данного конкретного поля постоянны и не зависят от  $r$ .

### **Инертность полевой среды и ее размерность**

Приведем определяющее уравнение для кинетической энергии центрального поля:

$$W_{qk} = I_f(\mathbf{I}_f)^2/2, \quad (5)$$

где  $I_f$  – инертность полеобразующего заряда  $Q$ , а  $\mathbf{I}_f$  – поток зарядов, которым может обмениваться физическое поле с окружающей его средой. Если учесть требование условия показателей степени, приведшее к уравнениям (4), то определяющим уравнением для инертности полеобразующего заряда, которой равна и инертность центрального поля, должно быть уравнение:

$$I_f = 2W_{qk}N_Q/(\mathbf{I}_f)^2. \quad (6)$$

Размерность инертности  $I_f$  центрального поля в системе величин ЭСВ по уравнению (6) равна  $L^{-1}NT^2$ . Этой размерности соответствует единица **кв·с<sup>2</sup>/м**. В системе единиц СИ инертность заряда и центрального поля  $I_f$  должна была бы измеряться единицей **с<sup>2</sup>/м**. Единица инертности  $I_f$ , равная **с<sup>2</sup>/м**, соответствует единице индуктивности  $L$ , существовавшей в системе единиц СГСЭ, что вполне соответствует и физическому содержанию инертности  $I_f$ .

Итак, в электродинамике инертность поля  $I_f$  соответствует индуктивности. Судя по существующим стандартам, размерность индуктивности в СИ равна  $L^2MT^{-2}I^{-2}$ . В качестве же единицы индуктивности в СИ принята единица Гн (Генри), равная единице **Вб/А** (Вебер на Ампер). Расшифровка единицы массы в единице индуктивности Гн через единицу энергии приводит к тому, что единица **Гн=Вб/А** становится равной **Дж/А<sup>2</sup>**. Это уже вполне соответствует определяющему уравнению (6) для инертности  $I_f$ , если считать единицу **кв** равной 1.

Похоже обстоит дело и в механике. В СИ под инертностью понимается инертная масса  $m$  с размерностью  $M$  и единицей **кг**. Те же размерность и единица принадлежат в СИ, согласно принципу эквивалентности масс, и гравитационной массе  $m_g$ . Однако, в разделе, посвященном принципу эквивалентности масс, показана его необоснованность,

поэтому в системе величин ЭСВ, не признающей принцип эквивалентности, инертная масса имеет другую размерность  $EL^2T^2$ , где  $E$  размерность энергии, и другую единицу Дж•с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Применяя новые размерности, мы приходим к выводу, что инертность гравитационного заряда и гравистатического поля должна иметь в системе величин ЭСВ указанную выше размерность, равную  $L^{-1}NT^2 = ENT^2Q^2$ . Размерности  $L^{-1}NT^2$  соответствует единица кв•с<sup>2</sup>/м, а размерности  $ENT^2Q^2$  – единица Дж•кв•с<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>. (В СИ, где нет единицы кв, это соответствовало бы единице Дж•с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>).

### Диссипативное сопротивление полевой среды и его размерность

Приведем определяющее уравнение для энергии диссипации центрального поля:

$$W_{qR} = R_f(I_f)^2 \Delta t, \quad (7)$$

где  $R_f$  – диссипативное сопротивление полеобразующего заряда. Из уравнения (7) вытекает по аналогии с уравнением (6) определяющее уравнение для  $R_f$  :

$$R_f = W_{qR} N_Q / (I_f)^2 \Delta t. \quad (8)$$

Размерность диссипативного сопротивления  $R_f$  в системе величин ЭСВ согласно уравнению (8) равна  $L^{-1}NT$ . Этой размерности соответствует единица кв•с/м.

В СИ диссипативное сопротивление заряда и центрального поля  $R_f$  должно было бы измеряться единицей с/м, так как единица кв в СИ отсутствует. Единица диссипативного сопротивления  $R_f$ , равная с/м, соответствует единице сопротивления  $R$  существовавшей в системе единиц СГСЭ.

Но согласно стандарту в СИ размерность диссипативного сопротивления равна  $L^2MT^{-3}I^{-2}$ . В качестве же единицы диссипативного сопротивления в СИ принята единица Ом, равная единице В/А (Вольт на Ампер). Расшифровка размерности массы через размерность энергии в размерности диссипативного сопротивления приводит к тому, что единица Ом = В/А становится равной Дж/(А<sup>2</sup>•с), что и соответствует определяющему уравнению (8) для сопротивления  $R_f$ , если не принимать во внимание единицу кв.

## 2.7.12. Параметры физического вихревого поля

### О параметрах физического вихревого поля

В разделе, посвященном энергии вихревого поля, выяснилось, что ее параметрами являются **различные векторные потенциалы: потенциал движущегося полеобразующего заряда и потенциал поля**, как функции от параметров поля. Эти параметры в вихревом поле **зависят от жесткости, сопротивления и инертности центрального поля** и называть их жесткостью, сопротивлением и инертностью вихревого поля можно только условно. Все они анализируются в данном разделе.

### Определение параметров движущегося заряда и вихревого поля

Как установлено в разделе, посвященном энергии вихревого поля, параметр  $D_c$ , зависящий от жесткости центрального поля  $D_f$ , имеет две разновидности. Если речь идет о потенциальной энергии вихревого поля  $W_{qp}$ , образуемого движущимся зарядом  $\mathbf{Q}=\mathbf{Q}\mathbf{v}$ , то параметр

$$D_{c1}=D_f v^2. \quad (1)$$

Если же речь идет о движении потока зарядов в неподвижной системе, у которой  $\mathbf{Q}=\mathbf{I}$ , то параметр

$$D_{c2}=D_f I^2. \quad (2)$$

Как видим, параметры  $D_{c1}$  и  $D_{c2}$  не равны друг другу и имеют разное физическое содержание и разные размерности.

То же самое можно сказать и о параметрах  $I_c$  и  $R_c$ , зависящих от инертности  $I_f$  и диссипативного сопротивления  $R_f$  в центральном поле, они тоже имеют по две разновидности:

$$I_{c1}=I_f a^2 \quad (3)$$

и

$$I_{c2} = I_f t^2, \quad (4)$$

$$R_{c1} = R_f a^2 \quad (5)$$

и

$$R_{c2} = R_f t^2 \quad (6)$$

Так что и параметры  $I_{c1}$  и  $I_{c2}$ , и параметры  $R_{c1}$  и  $R_{c2}$  не равны друг другу и имеют разное физическое содержание и разные размерности.

### **Размерности и единицы векторных потенциалов вихревого поля**

Размерность векторного потенциала вихревого поля в вакууме  $\Phi_{fv}$  в ЭСВ (обозначение в электродинамике – **A**) равна  $L^{-2}TQ$ , она вытекает из определяющего уравнения, приведенного в разделе, посвященном потенциалу:

$$\Phi_{cv} = k_{c0} Q r / S = k_{c0} Q / 4\pi r, \quad (7)$$

где  $k_{c0}$  – размерный коэффициент вихревого поля в вакууме. В ЭСВ размерности векторного потенциала магнитного поля соответствует единица **Кл•с/м<sup>2</sup>**.

В СИ для векторного магнитного потенциала (А.Чертов) рекомендуется единица **кТл•м** (килотесла на метр). Чем эта единица лучше **Кл•с/м<sup>2</sup>**, сказать трудно.

### **Размерности и единицы параметров движущегося заряда и вихревого поля**

Размерности параметров  $D_{c1}$  и  $D_{c2}$  в вихревом поле в ЭСВ должны быть равны соответственно  $LNT^2$  и  $LN$ , они вытекают из уравнений (1) и (2). Этим размерностям соответствуют для параметра  $D_{c1}$  единица **м•кв/с<sup>2</sup>** и для параметра  $D_{c2}$  – единица **м•кв**.

В СИ параметр  $D_{c1}$  должен был бы измеряться единицей **м/с<sup>2</sup>**, а параметр  $D_{c2}$  должен был бы измеряться единицей **м**, так как единица **кв** в СИ соответствует **I**. Если бы, конечно, эти параметры существовали в современной физике.

Размерности параметров  $I_{c1}$  и  $I_{c2}$  в вихревом поле в ЭСВ должны быть равны соответственно  $LNT^2$  и  $LNT^2$ , они вытекают из уравнений (3) и (4). Этим размерностям соответствуют в ЭСВ для параметра  $I_{c1}$  единица  $\text{м}\cdot\text{кв}/\text{с}^2$  и для параметра  $I_{c2}$  – единица  $\text{м}\cdot\text{кв}\cdot\text{с}^2$ .

В СИ параметр  $I_{c1}$  должен был бы измеряться единицей  $\text{м}/\text{с}^2$ , а параметр  $I_{c2}$  должен был бы измеряться единицей  $\text{м}\cdot\text{с}^2$ . Если бы, конечно, эти параметры существовали в современной физике.

Размерности параметров  $R_{c1}$  и  $R_{c2}$  в вихревом поле в ЭСВ должны быть равны соответственно  $LNT^3$  и  $LNT$ , они вытекают из уравнений (5) и (6). Этим размерностям соответствуют в ЭСВ для параметра  $R_{c1}$  единица  $\text{м}\cdot\text{кв}/\text{с}^3$  и для параметра  $R_{c2}$  – единица  $\text{м}\cdot\text{кв}\cdot\text{с}$ .

В СИ параметр  $R_{c1}$  должен был бы измеряться единицей  $\text{м}/\text{с}^3$ , а параметр  $R_{c2}$  должен был бы измеряться единицей  $\text{м}\cdot\text{с}$ . Но и эти параметры не существуют в современной физике.

### **2.7.13. О напряженности физического поля**

Чтобы охарактеризовать состояние физического поля в конкретной точке, находящейся на каком-то расстоянии от центра полеобразующего заряда, вводят векторную величину, называемую **напряженностью физического поля**. В словарях и энциклопедиях обобщенное определение термина “напряженность поля” отсутствует, имеются определения лишь в приложении к конкретным формам физического поля, например, напряженность электрического, магнитного, гравитационного поля.

Но речь всюду идет о состоянии поля в той точке, в которой напряженность определяется. Следовательно, имеется в виду **локальная напряженность** поля. И о том, что слово “локальная” забыто незаслуженно, обычно не упоминается.

Добавим также, что в основных европейских языках русский термин “напряженность” звучит как “интенсивность”. Так какой же термин ближе к истине? Если термин “интенсивность поля” указывает на плотность энергии поля в интересующей нас точке, то термин “напряженность поля” намекает на то, что среда деформирована. С этой точки зрения термин “напряженность” несет несколько иную информацию, чем термин “интенсивность”. Применение термина

“интенсивность” просто обходит стороной вопрос: деформируема ли полевая среда. Тогда как термин “напряженность” отвечает на этот вопрос утвердительно.

**Напряженность поля – причина, а сила взаимодействия зарядов – следствие**

Если судить по определению напряженности электрического поля, имеющемуся 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).

В современной физике локальная напряженность центрального поля, обозначаемая символом **E**, в соответствии с ее подлинной сущностью должна определяться уравнением:

$$\mathbf{E} = \text{grad}\phi, \quad (1)$$

в котором градиент потенциала определяется в интересующей нас точке поля, так что **напряженность является функцией потенциала поля  $\phi$** . Несмотря на это, потенциал считается в современной методологии электромагнетизма, например, всего лишь вспомогательной функцией, упрощающей расчеты. Материал раздела, посвященный потенциалу поля, говорит совершенно о другом.

В метрологическом справочнике А.Чертова сказано однозначно: **напряженность электрического поля равна отношению силы, действующей на точечный пробный заряд, к значению этого заряда, а напряженность гравитационного поля равна отношению силы, действующей на материальную точку, к массе этой точки** (имеется, по-видимому, в виду – **к гравитационной массе**). То же самое и в других справочниках и учебниках. То есть в современной физике локальная напряженность центрального поля зависит от значения так называемого пробного заряда **q** (**фактически математической абстракции**) и от силы взаимодействия **F**



полеобразующего и пробного зарядов, поэтому он определяется по уравнению

$$\mathbf{E}=\mathbf{F}/q. \quad (2)$$

Но такое определение напряженности **неверно**, ведь физическое поле заряженной системы (его оболочка) существует независимо от того, находится ли в нем пробный заряд или он отсутствует. Ведь если допустить, что **никакого пробного заряда не существует, то нет и силы взаимодействия, и тогда напряженность поля просто не по чему определять**. Хотя в действительности напряженность поля существует, поскольку имеется само поле, образуемое полеобразующим зарядом. А сила взаимодействия появляется лишь после того, как в уже существующее поле вносится реальный полевой заряд. И сила  $\mathbf{F}$  пропорциональна напряженности уже существующего физического поля и значению внесенного полевого заряда, то есть

$$\mathbf{F}=\mathbf{E}q. \quad (3)$$

В итоге, сила взаимодействия является следствием существования напряженного поля, а не причиной появления напряженности. Так мы приходим к выводу, что **вся современная методика преподавания электромагнетизма и гравитации начинается с несоблюдения принципа причинности**. А это, в свою очередь, ведет к двойственности при определении размерности напряженности как электрического, так и гравитационного поля.

### **Двойственность и путаница в определении размерности напряженности поля**

Итак, напряженность центрального поля является градиентом скалярного потенциала этого поля, а напряженность вихревого поля является ротором векторного потенциала этого поля (И.Коган). Оба потенциала зависят только от значения полеобразующего заряда и от расстояния между центром полеобразующего заряда и рассматриваемой точкой. Именно при такой постановке проблемы принцип причинности не нарушается. Определение напряженности одновременно и по уравнению (1), и по уравнению (2) приводит только к путанице.

Напряженность электрического поля в соответствии с формулой (2)

измеряется в Н/Кл (А.Чертов). На практике же, как указывает тот же справочник, напряженность электрического поля  $\mathbf{E}$  выражается в В/м в соответствии с формулой (1). Практики, как видим, лучше чувствуют истину, чем теоретики.

Как сказано в справочнике А.Чертова, напряженность гравитационного поля в теории поля определяют по уравнению (1), и она может измеряться в Дж/(кг·м). Тем не менее, страницей раньше в том же справочнике напряженность гравитационного поля определяют по уравнению (2), и, в соответствии с этим, указано, что ее единица  $\text{м/с}^2$ . И на этом основании делается вывод, что напряженность гравитационного поля (динамическая величина) равна ускорению свободного падения (кинематической величине).

В дополнение к этому гравитационный заряд (гравитационную массу)  $m_g$  с единицей кг приравнивают к так называемой инертной массе  $m$ , единица которой равна  $\text{Дж}\cdot\text{с}^2/\text{м}^2$ . Приравнивание  $m_g$  и  $m$  осуществляется в соответствии с принципом эквивалентности масс, о некорректности которого рассказано в разделе, посвященном этому принципу. И вся эта путаница, связанная с нарушением принципа причинности, приводит к созданию ЛТ-системы величин, в которой отсутствует размерность какой-либо динамической величины.

### **Локальная напряженность и полная напряженность**

Напряженность поля является векторной величиной, приложенной в конкретной точке. Поэтому напряженность поля, соответствующая любому из существующих определений, является локальной напряженностью. Это положение как бы само собой разумеется по умолчанию, но умолчание затянулось так долго, что истина ускользает от внимания.

Естественно, что интегральную сумму локальных напряженностей, взятую по участку площади какой-то поверхности, следует называть **полной напряженностью** на этой поверхности. В современной же физике вместо термина “**полная напряженность**” применяют термин “**поток вектора напряженности**”. В разделе, посвященном термину “поток вектора”, указано на **физическую бессмысленность этого термина**. Поэтому термин “**поток вектора напряженности**” следует всюду заменить термином “**полная напряженность**” (по площади рассматриваемой поверхности), тем самым отличая полную напряженность от локальной (в точке).

Уже около 200 лет существует теорема Гаусса: “*поток вектора напряженности электрического поля через замкнутую поверхность равен алгебраической сумме заключенных внутри этой поверхности электрических зарядов.*” (К тексту этой теоремы обычно добавляют слова “*деленной на  $\epsilon_0$* ”). Из теоремы Гаусса совершенно однозначно следует, что локальная напряженность поля является **удельной производной величиной**, равной полной напряженности, приходящейся на единицу площади поверхности.

Таким образом, то, что называют в современной физике напряженностью, то есть локальная напряженность, является **функцией от полной напряженности, называемой в современной физике поток вектора напряженности**. Последний же в современной физике **в полном противоречии с принципом причинности** определяется как **функция от локальной напряженности**. Не пора ли исправлять?

### **О чистой напряженности центрального поля**

Если при определении напряженности не учитываются ни форма описания поля, ни свойства полевой среды, ни принятая система единиц, то такую напряженность в физике называют **чистой напряженностью**. Для ее обозначения в принятой в данной работе системе индексации при символе **E** с нижним индексом, учитывающим форму описания поля. Например, для центрального поля – индекс *f*, а для вихревого поля – индекс *c*.

Рассмотрим зависимость потенциала центрального поля от радиуса *r* интересующей нас точки. Перепишем из раздела, посвященном потенциалу поля, уравнение (4), определяющее уравнение для потенциала центрального поля в вакууме, обозначаемого в системе величин **ЭСВ** символом  $\varphi_{fv}$  :

$$\varphi_{fv} = k_{fv} Q r / S, \quad (4)$$

где  $k_{fv}$  – размерный коэффициент, учитывающий свойства полевой среды;

$Q$  – полеобразующий заряд;

$S$  – площадь эквипотенциальной поверхности при радиусе  $r$ . Отсутствие учета свойств полевой среды приводит к  $k_{f0} = 1$  и к устранению нижнего индекса "v". Градиент потенциала центрального поля будет равен

$$\text{grad}\phi_f = d\phi_f/dr = Q/S. \quad (5)$$

Подстановка градиента потенциала в уравнение (1) приводит к определяющему уравнению для чистой локальной напряженности центрального поля:

$$\mathbf{E}_f = Q\mathbf{e}_r/S, \quad (6)$$

где  $\mathbf{e}_r$  – орт, придающий локальной напряженности направленность по радиус-вектору  $\mathbf{r}$ .

### **Определяющее уравнение для напряженности центрального поля в вакууме**

Если учитывать свойства полевой среды, то локальная напряженность центрального поля в вакууме будет обозначаться  $\mathbf{E}_{fv}$ , где дополнительный индекс "v" указывает на то, что полевая среда является физическим вакуумом. Такая напряженность будет равна:

$$\mathbf{E}_{fv} = k_{f0} Q\mathbf{e}_r/S, \quad (7)$$

где  $k_{f0}$  – размерный коэффициент центрального поля в вакууме, зависящей от принятой системы единиц. В СИ в электростатике  $k_{f0} = 1/\epsilon_0$ , а в системе величин ЭСВ  $k_{f0} = 1$ . Естественно, что уравнение (7) относится как к электростатическому полю, так и к гравистатическому полю.

Если же предположить, что статический полеобразующий заряд связан с потенциальной энергией центрального поля зависимостью  $Q = \sqrt{2CW_p}$ , где  $C$  – ёмкость полевой среды, уравнение (7) можно представить в записи, показывающей, что локальная напряженность поля является производной величиной от потенциальной энергии физического поля:

$$\mathbf{E}_{fv} = \sqrt{2CW_p} \mathbf{e}_r/S, \quad (8)$$

### **Определяющее уравнение для напряженности вихревого поля в вакууме**

Для вихревого поля динамического полеобразующего заряда уравнение локальной напряженности в вакууме:

$$\mathbf{E}_{cv} = k_{c0}[\mathbf{Q}_c \mathbf{e}_r] / S. \quad (9)$$

где  $k_{c0}$  – размерный коэффициент вихревого поля в вакууме;  $S$  – площадь эквипотенциальной поверхности вихревого поля динамического полеобразующего заряда  $\mathbf{Q}_c$ . В электромагнетизме в СИ коэффициент  $k_{c0} = \mu_0$ , а в системе величин ЭСВ  $k_{c0} = 1/c^2$ . Уравнение (9) относится как к электродинамическому (магнитному) полю, так и к гравидинамическому полю.

### **Общие термины для различных форм описания физического поля**

Размерные коэффициенты  $k_{f0}$  и  $k_{c0}$  из уравнений (4) и (9) обозначают и называют по-разному. В том случае, когда значение этих коэффициентов учитывает свойства полевой среды, их называют **проницаемостью среды**.

Линии на графике, к которым касателен вектор напряженности, называют **линиями напряженности**. В учебниках по физике иногда говорится о том, что векторы напряженности касательны к линии напряженности, но такое утверждение также противоречит принципу причинности. Наоборот, конфигурация линий напряженности зависит от направления векторов напряженности.

Однако чаще всего **линии напряженности** называют **силовыми линиями** поля, что отражает приведенную выше нелогичность в терминологии. К тому же, термин “силовые линии” неверен, когда речь идет о вихревом поле. Если в центральной 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.

**О терминологии и символике напряженностей 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, неверно, напряженность электростатического поля в веществе обозначают символом **D** и называют электрическим смещением, а напряженность магнитного поля в веществе обозначают символом **H**. В физике и метрологии понимают некорректность этой терминологии и символики, но не решаются что-либо изменить.

В системе величин ЭСВ для того, чтобы различить локальные напряженности разных форм описания физического поля, решено использовать систему нижних индексов к единому символу напряженности **E**. Например, локальную напряженность гравитационного поля в вакууме обозначают  $E_{gv}$ , локальную напряженность электростатического поля в вакууме обозначают  $E_{ev}$ , локальную напряженность магнитного поля в вакууме обозначают  $E_{mv}$ , локальную напряженность электростатического поля в веществе обозначают  $E_{es}$ , а локальную напряженность магнитного поля в веществе обозначают  $E_{ms}$  (см. Таблицу напряженностей и Таблицу величин физического поля).

### **Размерности и единицы напряженностей электромагнитного поля в вакууме**

В соответствии с уравнением (6) размерность напряженности центрального поля  $E_{fv}$  равна  $L^{-2}Q$ , а единица равна Кл/м<sup>2</sup>. Это хотя и равно практической единице напряженности **E** в СИ, равной В/м, но не соответствует ей. Метрологический справочник А.Чертова рекомендует единицу Н/Кл, **вытекающую из неверного уравнения (2)**.

Размерность напряженности вихревого поля  $E_{cv}$ , называемой в электромагнетизме магнитной индукцией **B**, в соответствии с уравнением (9) равна  $L^{-3}TQ$ , а единица равна Кл·с/м<sup>3</sup>. В СИ (А.Чертов) эта напряженность имеет единицу Тл (Тесла), расшифровываемую, как Н/(Кл·м·с). **Эта единица вытекает из неверного уравнения (2)**.

## 2.7.14. Сила взаимодействия зарядов физической системы и физического поля

**Сила в физике**, независимо от того, с чем она связана, является ли она **силой воздействия, противодействия или взаимодействия**, обозначается одним и тем же символом **F**. Однако в разных вариантах для определения разных сил применяются разные определяющие уравнения. Применение во всех случаях одного и того же символа приводит подчас к некорректным выводам. Чтобы избежать этого, И.Коган применяет в своей работе систему индексации с помощью нижних индексов. Для сил взаимодействия зарядов в физическом поле применяются те же нижние индексы, что и для напряженностей в физическом поле.

### Силы взаимодействия зарядов в физическом поле

Силы взаимодействия полеобразующего и полевого зарядов в центральном поле ( $\mathbf{F}_f$ ) и в вихревом поле ( $\mathbf{F}_c$ ) связаны с локальными напряженностями этих полей  $\mathbf{E}_f$  и  $\mathbf{E}_c$  уравнениями:

$$\mathbf{F}_f = \mathbf{E}_f q_f \quad (1)$$

и

$$\mathbf{F}_c = [\mathbf{E}_c \mathbf{q}_c]. \quad (2)$$

Уравнения (1) и (2) принципиально отличаются последовательностью вывода от уравнений взаимодействия зарядов Ньютона, Кулона и Ампера. Сначала по полеобразующему заряду центрального поля  $Q_f$  определяется локальная напряженность поля в предположении, что полевой заряд  $q_f$  отсутствует:

$$\mathbf{E}_f = k_{f0} Q_f \mathbf{e}_r / S_f, \quad (3)$$

где  $k_{f0}$  – размерный коэффициент, зависящий от принятой системы единиц;  $S_f$  – площадь эквипотенциальной поверхности;  $\mathbf{e}_r$  – орт, направленный от центра полеобразующего заряда в точку поля, где определяется напряженность. А затем по напряженности поля  $\mathbf{E}_f$  и и внесенному в поле заряду  $q_f$  определяется сила взаимодействия зарядов  $\mathbf{F}_f$ . Таким способом уравнение (1) следующим образом преобразуется в уравнение **обобщенного закона взаимодействия зарядов**:

$$\mathbf{F}_f = k_{f0} Q_f q \mathbf{e}_r / S_f = k_{f0} N_Q N_q q^2 \mathbf{e}_r / S_f, \quad (4)$$

где  $q$  – элементарный статический заряд;  $N_Q$  и  $N_q$  – количества элементарных зарядов в полеобразующем и в полевом зарядах. Вторая форма записи уравнения (4) взята из статьи Г.Трунова.

Соответствующее закону Ампера уравнение для определения силы взаимодействия  $\mathbf{F}_c$  двух движущихся друг относительно друга динамических зарядов вихревого поля  $\mathbf{Q}_c$  и  $\mathbf{q}_c$  имеет ту же структуру, что и уравнение (4), но записывается после подстановки в уравнение (2) значения напряженности вихревого поля  $\mathbf{E}_c$  с помощью векторного произведения динамических зарядов:

$$\mathbf{F}_c = k_{c0} [\mathbf{Q}_c \mathbf{q}_c] / S_c = k_{c0} N_Q N_q q^2 [\mathbf{v}_Q \mathbf{v}_q] / S_c. \quad (5)$$

Если полеобразующий заряд и заряд системы, несмотря на наличие силы взаимодействия между ними, неподвижны друг относительно друга, значит, к системе приложена **сторонняя сила** (или равнодействующая сторонних сил), равная по значению и обратная по знаку силе взаимодействия.

Чтобы различать силы взаимодействия в разных формах гравитационного поля, в системе ЭСВ силу взаимодействия в гравистатическом поле в вакууме, называемую **силой притяжения**, обозначают символом  $\mathbf{F}_{gv}$  (или  $\mathbf{F}_g$ ), а силу взаимодействия в электрическом поле в вакууме, называемую **кулоновской силой**, обозначают символом  $\mathbf{F}_{ev}$  (или  $\mathbf{F}_C$ ).

### **Противодействие физического поля изменению полевой заряженной системы**

При неизменной напряженности поля изменение положения полевого заряда или изменение его значения вызывает противодействие физического поля. В свою очередь, изменение положения заряженной системы может возникнуть и при перемещении системы в поле, и при повороте системы относительно вектора напряженности поля. В обоих случаях возникает противодействие поля, действующее на заряженную систему при переходном процессе в новое состояние.

1. При изменении положения заряженной системы при ее прямолинейном перемещении  $dx$  под воздействием сторонней силы



возникает **сила противодействия** поля **F** изменению положения системы, определяемая по уравнению

$$\mathbf{F}=(dW/dx)\mathbf{e}_F, \quad (6)$$

где  $\mathbf{e}_F$  – орт силы противодействия. Уравнение для определения энергии противодействия  $dW$  записывается в виде скалярного произведения векторов

$$dW=\mathbf{F}d\mathbf{x}. \quad (7)$$

2. При изменении положения системы в поле вследствие поворота заряженной системы на угол  $d\varphi$  относительно направления вектора напряженности физического поля возникает **момент противодействия** поля **M**, определяемый по уравнению

$$\mathbf{M}=(dW/d\varphi)\mathbf{e}_M, \quad (8)$$

где  $\mathbf{e}_M$  – орт момента противодействия. Уравнение для определения энергии противодействия

$$dW=\mathbf{M}d\varphi. \quad (9)$$

3. При изменении значения заряда системы  $dq$  (при неизменности положения системы в поле) тоже возникает противодействие поля, обозначенное в обобщенном виде как **U** и определяемое по уравнению

$$\mathbf{U}=(dW/dq)\mathbf{e}_U, \quad (10)$$

где  $\mathbf{e}_U$  – орт противодействия поля. Уравнение для определения энергии противодействия  $dW$

$$dW=\mathbf{U}dq. \quad (11)$$

Уравнения (6), (8) и (10) не отличаются по своей структуре друг от друга. Величины **F**, **M** и **U** равны динамическим воздействиям поля на заряженную систему.

### **Воздействие изменения поля на заряженную систему**

Рассмотрим воздействие изменения напряженности поля на заряженную систему, неподвижную относительно центра

полеобразующего заряда. При этом происходит **энергетическое воздействие** самого физического поля  $dW$  на не изменяющую свои свойства физическую систему. Запишем, например, определяющее уравнение для потенциальной энергии системы в электростатическом поле

$$W_p = q_f Q_f / 4\pi\epsilon_0 r. \quad (11)$$

Элементарное приращение потенциальной энергии при изменении полеобразующего заряда  $Q_f$  определится, соответственно, по уравнению:

$$dW_p = (q_f / 4\pi\epsilon_0 r) dQ_f. \quad (12)$$

Теперь запишем уравнение для определения элементарного приращения локальной напряженности поля при неизменном значении заряда  $q_f$  и изменении значения полеобразующего заряда  $Q_f$  в уравнении для определения силы взаимодействия **F**:

$$d\mathbf{E}_f = d\mathbf{F} / q_f = \{ [(k_f r / S_f) q_f \mathbf{e}_r] / q_f \} dQ_f. \quad (13)$$

Сравнение уравнений (12) и (13) приводит к уравнению:

$$dW_p = q_f r d\mathbf{E}_f. \quad (14)$$

Полученным уравнением (14) можно воспользоваться также для определения энергетического воздействия на систему со стороны изменяющегося физического поля при повороте вектора напряженности поля.

### **2.7.15. Размерность и единица статического заряда физического поля**

В разделе, посвященном обобщенным производным величинам, указывается, что одной из таких величин являются статический заряд физического поля. В системе величин ЭСВ его размерность обозначена символом Q. В системе единиц СИ вместо заряда обобщенной производной величиной является электрический ток, размерность которого обозначена символом I. В системе величин ЭСВ после вывода уравнения обобщенного закона взаимодействия зарядов

появляется возможность вывода формулы размерности статического заряда и его единицы.

### **Размерность статического заряда физического поля**

В разделе, посвященном обобщенному закону взаимодействия зарядов, присутствует такая запись уравнения для определения силы взаимодействия зарядов в центральном поле:

$$\mathbf{F}_f = k_{f0} N_Q N_q q^2 \mathbf{e}_r / S_f, \quad (1)$$

где  $\mathbf{F}_f$  – сила взаимодействия зарядов;  $k_{f0}$  – размерный коэффициент центрального поля;  $S_f$  – площадь эквипотенциальной поверхности;  $Q$  – полеобразующий заряд;  $q$  – полевой заряд;  $\mathbf{e}_r$  – орт радиус-вектора, соединяющего центры взаимодействующих зарядов;  $N_Q$  и  $N_q$  – количества элементарных зарядов в полеобразующем и в полевом зарядах;  $q$  – элементарный статический заряд.

В системе величин ЭСВ размерность  $\mathbf{F}_f$  равна  $EL^{-1}$ , размерность коэффициента  $k_{f0}$  равна 1, размерности  $N_Q$  и  $N_q$  равны  $N$  и размерность площади  $S_f$  равна  $L^2$ . Подстановка размерностей физических величин в уравнение (1) приводит к такой формуле размерности правой части уравнения (1):  $L^{-2}N^2Q^2$ . Поскольку в ЭСВ размерность силы  $\dim \mathbf{F}_f = EL^{-1}$ , то анализ размерностей уравнения (1) приводит к следующей **формуле размерности статического заряда** центрального поля:

$$\dim Q = E^{1/2} L^{1/2} N^{-1}. \quad (2)$$

В разделе, посвященном силе взаимодействия зарядов, приведено также уравнение для определения силы взаимодействия динамических зарядов в вихревом поле, которое можно записать в виде:

$$\mathbf{F}_c = k_{c0} N_Q N_q e^2 [\mathbf{v}_Q \mathbf{v}_q] / S_c, \quad (3)$$

где  $\mathbf{F}_c$  – сила взаимодействия движущихся зарядов  $\mathbf{Q}$  и  $\mathbf{q}$  в вихревом поле;  $k_{c0}$  – размерный коэффициент вихревого поля, размерность которого равна  $L^{-2}T^2$ ;  $S_c$  – площадь эквипотенциальной поверхности вихревого поля;  $N_Q$  и  $N_q$  – количества элементарных движущихся полеобразующего и полевого зарядов;  $\mathbf{v}_Q$  и  $\mathbf{v}_q$  – скорости элементарных движущихся зарядов.

Подстановка размерностей физических величин в уравнение (3) приводит к такой же формуле размерности заряда, как и в формуле (2), то есть  $\dim Q = E^{1/2} L^{1/2} N^{-1}$ .

### Единица статического заряда в системе величин ЭСВ

Размерности  $E^{1/2} L^{1/2} N^{-1}$  в системе величин ЭСВ соответствует единица  $\text{Дж}^{1/2} \cdot \text{м}^{1/2} / \text{шт}$ , где шт (штука) – единица числа структурных элементов. В электростатическом поле единице  $\text{Дж}^{1/2} \cdot \text{м}^{1/2} / \text{шт}$  пропорциональна единица электрического заряда Кл (Кулон), а в гравистатическом поле – единица гравитационного заряда (гравитационной массы) кг. Так называемая инертная масса в системе величин ЭСВ имеет другую единицу –  $\text{Дж} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^2$ , которая совершенно не похожа на единицу гравитационной массы. Систематизация физических величин приводит в данном случае важный дополнительный аргумент в пользу отрицания справедливости принципа эквивалентности масс.

С учетом значений размерного коэффициента в системе величин ЭСВ (см. также Таблицу величин физического поля) получаются такие соотношения для единиц статического гравитационного заряда  $q_g$  и статического электрического заряда  $q_e$  :

$$[q_g] = \gamma^{-1/2} \cdot \text{Дж}^{1/2} \cdot \text{м}^{1/2} / \text{шт} \quad (4)$$

и

$$[q_e] = \varepsilon_0^{1/2} \cdot \text{Дж}^{1/2} \cdot \text{м}^{1/2} / \text{шт}, \quad (5)$$

где  $\gamma$  – размерный коэффициент гравитационного поля (так называемая гравитационная постоянная) и  $\varepsilon_0$  – размерный коэффициент электрического поля (так называемая электрическая постоянная).

Как видим, в ЭСВ единицы статических зарядов гравитационного и электромагнитного полей  $[q_g]$  и  $[q_e]$  отличаются друг от друга только численно в зависимости от принятой системы единиц. Расчеты, проведенные в работах В.Уральцева и В.Викулина в одной и той же системе единиц, соответствующей ЛТ-системе величин, показывают, что  $1 \text{ кг} = 8,617 \cdot 10^{-11} \text{ Кл}$ .

## **Единица статического заряда в системе единиц СИ**

В СИ единица кг принята в качестве единицы **и гравитационной массы, и инертной массы**. В качестве единицы основной величины для электрических величин в СИ условно принята производная от Кулона единица  $A=Кл/с$ . **Размерности и единицы размерных коэффициентов**, называемых электрической и магнитной постоянными (но не являющимися фундаментальными константами), **установлены с нарушением принципа причинности**. Размерность динамического заряда электромагнитного поля должна выводиться из размерности статического заряда, то есть быть ее следствием. И тогда размерность и единица магнитной постоянной должны определяться по размерности и единице электрической постоянной, а в современной физике и, соответственно, в СИ все сделано наоборот.

Причины нарушения принципа причинности и принятия за основную величину электрического тока достаточно ясны. Практическим метрологам удобнее и целесообразнее сделать единицей основной величины в СИ единицу такой условной основной величины, для которой имеется приемлемый измерительный эталон. Система величин ЭСВ **не является системой единиц**, и может пользоваться **законами Природы** без оглядки на трудности практических метрологов.

В семействе систем единиц СГС особой проблемой применения единиц статического заряда является наличие дробных степеней в показателях размерностей и единиц для электрических и магнитных величин. В системе СИ избавились от дробных степеней ценой введения электрического тока в качестве условной основной величины с символом размерности  $I$ , в системе величин ЭСВ – ценой введения в качестве условной основной величины электрического заряда с символом

размерности  $Q$ .

Под единицей, подробно рассмотренной в разделе, посвященном числу структурных элементов, как основной физической величине, в квантовой механике может применяться единица квант (кв). И тогда единица статического заряда должна записываться как  $Дж^{1/2} \cdot м^{1/2} / кв$ . Применение такой единицы, как показано в разделах, посвященных уравнению фотоэффекта Эйнштейна и уравнению излучения Планка, **помогло выявить ошибки в этих уравнениях**.

## **2.8. Движение физических систем**

### **2.8.1. Виды движения и формы движения**

В разделе указано на недостатки современной классификации видов движения на поступательное, вращательное и сложное движения. Предлагается другая классификация форм движения: прямолинейное, вращательное, орбитальное. Приведены координаты состояния этих форм движения и их определения.

#### **Современная классификация 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 прямолинейно 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**. При этом конечное угловое перемещение  $\varphi$  в современной механике считается скалярной безразмерной величиной. Покажем, что эта классификация видов механического движения нуждается в пересмотре.

Эта классификация не дает возможности систематизировать **физические величины в механике хотя бы потому, что поступательное движение тела на самом деле не является простейшим видом движения**. Ведь оно допускает движение тела по криволинейной траектории, при котором центр масс тела движется по соприкасающейся с траекторией движения окружности, при этом радиус этой окружности совершает вращательное движение относительно ее центра с определенной угловой скоростью.

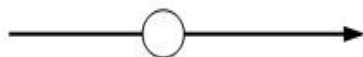
Одновременно с этим поступательно движущееся тело, чтобы сохранить параллельность прямой линии самой себе, вынуждено поворачиваться вокруг своей собственной оси, проходящей через центр масс тела, с той же самой угловой скоростью, только противоположного знака.

### **Классификация форм механического движения по И.Когану**

При рассмотрении любого движения (в том числе, механического) в основу классификации видов движений должны быть положены свойства выбранных координат состояния форм движения. Поэтому форм механического движения должно быть тоже три, но они другие (см. рисунок):

### 1. Прямолинейная форма движения

Прямолинейное (линейное) перемещение  $d\mathbf{l}$



Модуль линейного перемещения  $d\mathbf{l}$



### 2. Вращательная форма движения

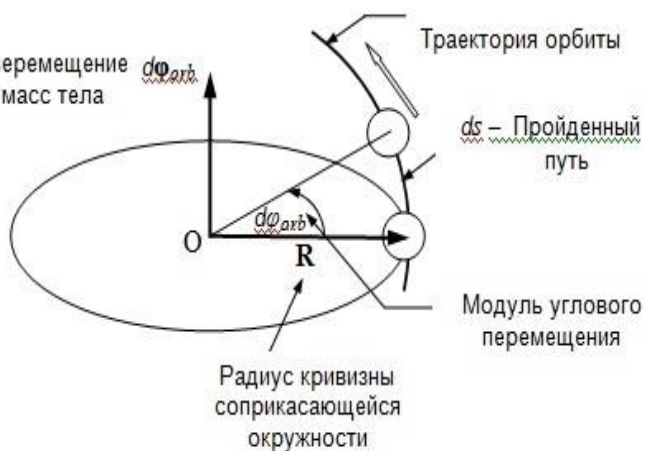
Угол поворота  
тела  $d\varphi_{rot}$



Модуль угла  
поворота тела

### 3. Орбитальная форма движения

Угловое перемещение  
центра масс тела  $d\varphi_{orb}$





**1. Прямолинейная форма движения** тела, координатой состояния которой является **линейное перемещение** центра масс тела  $\Delta l$ . Прямолинейная форма движения тела – это предельный случай вращательной формы движения при кривизне траектории, стремящейся к нулю.

Можно, конечно, создать экспериментально с высокой степенью точности прямолинейное движение, можно найти и в природе примеры движения, очень близкого к прямолинейному. **Но природа к этому не стремится, скорее наоборот.**

**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 говорить следует 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.

## **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, если его не конкретизировать.

Для описания движения, при котором тело вращается вокруг условно неподвижной оси термин «перемещение» не приемлем. Ведь согласно лексическим нормам языка **слово «перемещение» означает смену места**. А при вращении тело не меняет место относительно оси вращения, меняют место его частицы тела, которые движутся по круговым орбитам. Таким образом, **угловое перемещение относится к частицам вращающегося тела, а не к нему самому**.

К тому же, при движении периферийных частиц вращающегося тела нас обычно интересует не их перемещение, как векторная величина, а **путь, пройденный этими частицами**. От размера этого пути зависят диссипативные потери энергии при вращении тела во вязкой среде. Так что **вращение тела** как целого **вокруг своей оси** должно быть охарактеризовано только **углом поворота**. Об угловом перемещении может идти речь только тогда, когда рассматривается движение частицы тела, не находящейся на оси вращения тела.

О неустановившейся терминологии в этом вопросе свидетельствует и такая цитата из Интернет-энциклопедии Википедия: *“В физике нередко поворотом называется неполное вращение, или, наоборот, вращение рассматривается как частный вид поворота. Последнее определение более строго, поскольку понятие поворот охватывает значительно более широкую категорию движений, в том числе и такое, при котором траектория движущегося тела в избранной системе отсчёта представляет собой незамкнутую кривую.”*

Главный вывод из вышесказанного: угол поворота и угловое перемещение характеризуют разные формы движения – вращение тела в целом и движение тела по криволинейной орбите, при котором само тело может 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. Рационально различать их нижними индексами. Например, обозначать угол поворота как  $d\phi_{rot}$ , а угловое перемещение – как  $d\phi_{orb}$ .

В метрологическом справочнике А.Чертова 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“, что, в принципе, неверно.

Анализ вращательного движения, чему посвящен отдельный раздел работы, показывает, что угол поворота и угловое перемещение являются размерными величинами. Конечно, это обстоятельство не изменяет ни одного практического результата, но, тем не менее, оно приводит к необходимости пересмотра ряда фундаментальных положений методологии и метрологии современной механики.

Принципиальное различие между углом поворота  $d\phi_{rot}$  и угловым перемещением  $d\phi_{orb}$  можно проиллюстрировать на примере различия между угловой скоростью собственного вращения тела  $\omega_{rot} = d\phi_{rot}/dt$  и угловой скоростью вращения радиуса кривизны траектории центра масс тела  $\omega_{orb} = d\phi_{orb}/dt$ . Угловые скорости собственного вращения планет солнечной системы  $\omega_{rot}$  существенно отличаются от угловых скоростей движения центров масс планет вокруг Солнца  $\omega_{orb}$ . Более того, угловая скорость  $\omega_{rot}$  любой планеты постоянна, а угловая скорость  $\omega_{orb}$  той же планеты при ее движении вокруг Солнца по эллиптической орбите переменна в пределах каждого орбитального цикла.

### **Основные характеристики форм движения**

Для количественной оценки смены места тела при орбитальном и вращательном движениях применяют два понятия: “путь“ и “перемещение“. 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.**

Для точного определения понятия “перемещение” проанализировано 6 авторитетных первоисточников, и во всех шести текстах определения отличаются друг от друга. В четырех из них речь идет о движении материальной точки, а не тела. Наиболее четко выглядит определение из словаря Глоссарий.ру: “*Перемещение – векторная величина, равная радиусу-вектору, проведенному от начальной точки траектории к ее конечной точке*”. В Интернет-энциклопедии Википедия о движении тела говорится так: “*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 для определения вектора перемещения  $\mathbf{r}_{12}$  приводится уравнение:

$$\mathbf{r}_{12} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = \mathbf{r}(t_2) - \mathbf{r}(t_1). \quad (1)$$

В метрологическом справочнике А.Чертова дается определение перемещения, аналогичное вышеприведенному, но речь идет только об элементарном перемещении  $d\mathbf{r}$ , для которого определяющее уравнение не приводится. В популярном учебнике по физике И.Савельева приводится такое определение: “*Перемещение – это прямолинейный отрезок, проведенный из одной точки траектории в другую*”. На деле то, что сейчас понимается под перемещением при орбитальном движении, является хордой, стягивающей дугу криволинейной траектории. Такое смешение понятий оказалось возможным потому, что **орбитальное движение в современной механике не выделено в качестве самостоятельной формы движения.**

Указанные определения перемещения относятся к движению по криволинейной траектории, поэтому часто применяемый в механике термин “линейное движение” неопределенно. В механике под

линейным движением чаще всего понимают прямолинейное движение. **Но на деле прямолинейное движение является частным случаем криволинейного движения, при котором значения пути и модуля перемещения совпадают. Подобное уточнение следовало бы внести в стандарты и в учебники. Что касается вращательного движения, то оно относится только к конденсированной среде (телу, вихрю). К любой частице вращающегося тела это понятие не относится, в этом случае уместно говорить о движении частицы по круговой орбите.**

Мы полагаем, что для элементарного перемещения  $d\mathbf{r}$  уравнение, связывающее его с угловым перемещением  $d\varphi_{orb}$ , существует в таком виде:

$$d\mathbf{r}=[d\varphi_{orb}\mathbf{R}]. \quad (2)$$

**Пройденный по криволинейной траектории элементарный путь  $ds$  приближенно является произведением модулей элементарного углового перемещения радиуса кривизны траектории и самого радиуса кривизны (несколько больше модуля перемещения). Перемещение  $d\mathbf{r}$  совпадает с пройденным путем  $ds$  только при прямолинейном движении.**

Как видим, **виды механического движения** 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**. Новая классификация по формам движения позволяет это сделать. Именно новая классификация форм движения выявила необходимость считать угол поворота основной физической величиной, имеющей свою размерность. 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.

**Являются ли конечные угол поворота и угловое перемещение векторами?**

В дополнение к определению из справочника А.Чертова в учебнике И.Савельева 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 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 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 также сказано, что конечные угловые перемещения не могут считаться векторами по той причине, что они не складываются по правилу параллелограмма, то есть не подчиняются закону коммутативности. **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.**

### **Уточненные определения координат состояния форм механического движения**

На основании материала, изложенного в разделах данной работы, 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 в изложении И.Когана.

**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 и единица углового перемещения точки равны размерности и единице 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 и единица углового перемещения равна размерности и единице 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.

### **Определяющие уравнения для пути, пройденного по орбите**

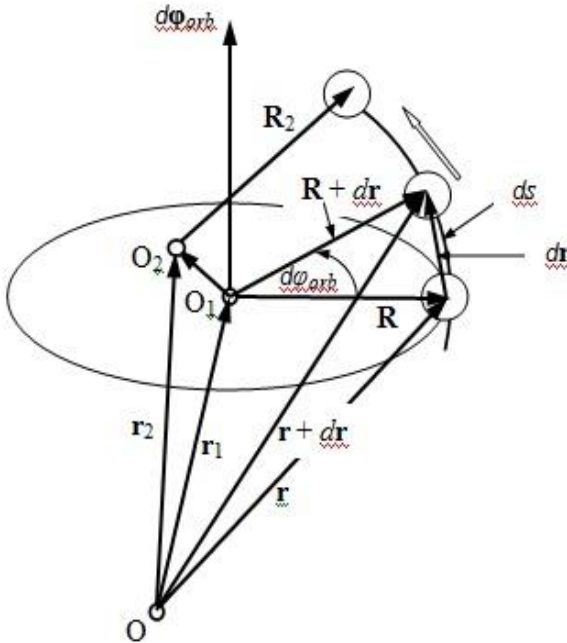
Начало координат в современной механике располагают в произвольной точке  $O$  (см. рисунок) и вводят понятие радиус-вектора

движущегося центра масс тела

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_1 + \mathbf{R}, \quad (3)$$

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 орбиты не плоская, 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  $dr$  является **хордой** траектории орбиты.

Элементарный пройденный путь приблизительно 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  $\varphi_{orb}$  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.

### **2.8.2. Деление физических систем по движению потоков энергии**

Поясняется необходимость классификация физических систем по характеру обмена потоками энергии с окружающей средой и с соседними системами

#### **Взаимосвязь физической системы с окружающей средой и соседними системами**

Рассмотрим схему, на которой стрелками показано направление потоков энергии.



Энергообмен рассматриваемой физической системы может происходить только через контрольную поверхность системы, обозначенную на схеме жирными линиями. Если система граничит и с окружающей средой, и с соседними системами, то энергообмен следует рассматривать по каждому участку контрольной поверхности в отдельности.

Кроме того, энергообмен следует рассматривать в отдельности по каждой форме движения, имеющейся в системе, так как одна и та же система может поглощать энергию одной формы движения и одновременно с этим отдавать энергию другой формы движения. Например, **электродвигатель поглощает энергию электрической формы движения и отдает энергию механической вращательной формы движения при том, что перенос энергии из электрической в механическую форму движения происходит внутри самой системы.**

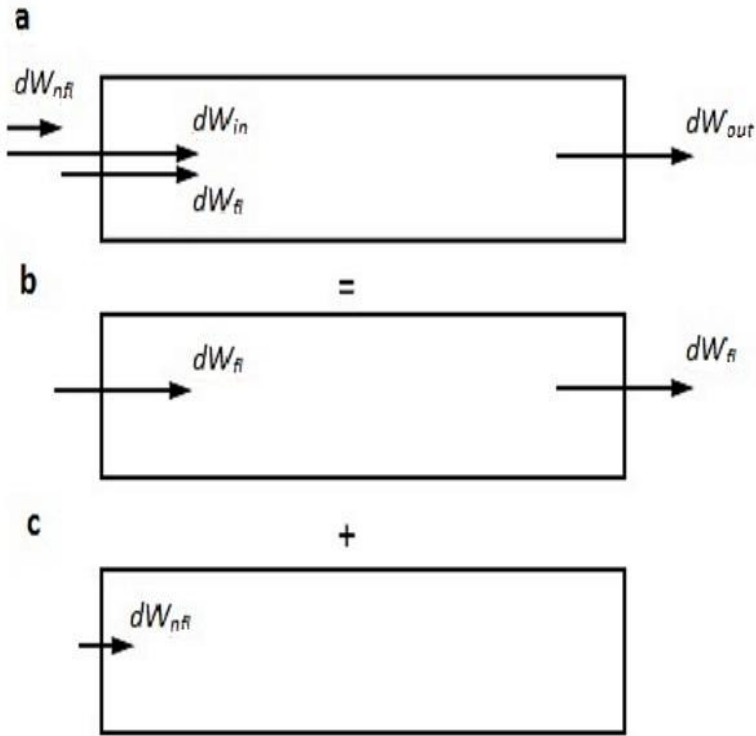
Особый интерес вызывает перенос энергии любой формы движения в тепловую форму движения диссипации  $dW_R$ . Не следует смешивать тепловую форму упорядоченного движения материальных носителей энергии с тепловой формой движения диссипации неупорядоченного движения материальных носителей. **В упорядоченной тепловой форме движения, как и в любых других формах движения, энергия может как поглощаться системой, так и отдаваться ею, тогда как тепловая форма движения диссипации только поглощает энергию**

**других форм движения системы.** Она может обмениваться тепловой энергией только с окружающей средой.

Контрольная поверхность реальной физической системы в ортогональной системе координат имеет три линейных измерения. Однако любой поток энергии можно разложить на три составляющие по осям координат, и все эти составляющие потом просуммировать. С точки зрения вида записи и размерностей величин все три определяющие уравнения будут совершенно аналогичны. Поэтому для целей систематизации физических величин достаточно рассматривать потоки энергии в одной плоскости.

### **Деление физических систем на проточные и непроточные**

Рассмотрим физическую систему, не обменивающуюся энергией с окружающей средой. Подразумевается также, что нет энергообмена между внутренней энергией системы и энергией формы движения. Рассмотрим для упрощения систему только с одной формой движения (см. рис. а). В общем случае энергетическое воздействие  $dW_{in}$  на входе в систему не равно энергетическому воздействию  $dW_{out}$  на выходе из системы. Пусть для определенности  $dW_{in} > dW_{out}$ , хотя это принципиальной роли не играет. Представим  $dW_{in}$  в виде суммы двух слагаемых:  $dW_{in} = dW_{fl} + dW_{nfl}$ , где смысл нижних индексов будет пояснен в следующих абзацах. И пусть  $dW_{fl} = dW_{out}$ .



На рис. **b** показана система, названная **проточной** (нижний индекс "fl" происходит от английского слова *flowing* – проточный). Она соответствует

$$dW_{in} = dW_{out} = dW_{fl}$$

На рис. **c** показана система, названная **непроточной** (нижний индекс "nfl" происходит от английского слова *non-flowing*, соответствующего русскому слову непроточный). Она соответствует  $dW_{in} = dW_{nfl}$  и  $dW_{out} = 0$ . Назовем такую систему непроточной. Непроточная система граничит только с окружающей средой или с системой-источником. Энергия может либо вводиться в непроточную систему ( $dW_{in} = dW_{nfl}$ ), либо выводиться из нее ( $dW_{out} = -dW_{nfl}$ ), других вариантов нет.

Систему, изображенную на рис. а, будем называть **комплексной системой**. Таким образом, любую комплексную систему можно рассматривать, как состоящую из двух систем: из проточной и непроточной.

На практике в большинстве технологических производств используются проточные системы. А процесс перемещения энергии и вещества через проточную систему называют технологическим процессом.

Необходимость разделения комплексных систем на непроточные и проточные вытекает из того, что для физических величин, характеризующих эти два вида систем, различны и определяющие уравнения, и уравнения состояния, и размерности, и единицы. В этом можно будет убедиться, посмотрев Таблицы физических величин и раздел, посвященный подробно описанию динамики в различных видах физических систем.

Обратим внимание на то, что 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 исследуют системы с какой-либо одной преобладающей формой движения.

### **Перенос энергии и вещества в проточных и непроточных системах**

Процесс переноса энергии и вещества в проточных системах отличается тем, что происходит постоянно. Приращение координаты состояния на входе в систему ( $+ dq_{in}$ ) в проточной системе всегда равно убыли координаты состояния на выходе из системы ( $- dq_{out}$ ). Следовательно, суммарное приращение координаты состояния в проточной системе равно нулю ( $dq = 0$ ), и значение координаты состояния постоянно ( $q = \text{const}$ ). Поэтому жесткость проточной системы  $D$  (или ее ёмкость  $C$ ) не оказывают влияния на процесс переноса энергии через проточную систему. Иными словами, противодействие жесткости  $U_D$  в проточной системе отсутствует.

В непроточных системах  $dW_{нп} \neq 0$ . Поэтому и координата состояния непроточной системы  $q$  изменяется до тех пор, пока  $dW_{нп}$  не станет равным 0. Этот процесс изменения координаты состояния называется **переходным процессом**, в течение этого процесса  $dq/dt \neq 0$ .

Процесс переноса энергии в проточных системах, при котором значение потока энергии не изменяется со временем, будем называть **равновесным**. Соответственно, процесс переноса энергии, при котором значение потока энергии со временем изменяется, будем называть **неравновесным**.

Несмотря на постоянное движение материальных носителей энергии через проточную систему, при равновесном процессе локальное значение координаты состояния в любой точке проточной системы неизменно. Вдоль системы уменьшается лишь значение той части энергии системы-источника, которая переходит в тепловую энергию внутри проточной системы вследствие противодействия диссипативного сопротивления  $U_R$ . Механизм этого перехода объяснен в разделе, посвященном переносу энергии в проточной системе. Даже в случае равновесного процесса переноса энергии через систему противодействие диссипативного сопротивления  $U_R$  является основным интересующим фактором.

### **Примеры процессов в проточных системах**

Приведем четыре примера открытых проточных систем.

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. Но особенно интересен частный случай такой проточной системы, в котором рассматривается одна единственная перемещающаяся частица (тело), координатой состояния

которой является перемещение центра масс этой частицы в направлении движения. Этот случай встречается в механике сплошь и рядом.

3. Проточную систему можно представить в виде тела, вращающегося вокруг неподвижной оси. В этом случае перемещается элементарный сектор вращающегося тела, вращающийся вместе с телом. Координатой состояния является угол поворота этого сектора.

4. При переносе электрической энергии проточную систему можно рассматривать как систему, через которую перемещаются электрические заряды (электрический проводник).

В закрытых проточных системах поток энергии не сопровождается потоком материальных носителей. Если материальные носители колеблются относительно какого-то среднего фиксированного положения, то потери при переносе энергии в таких системах выражаются в том, что значение колебательной скорости материальных носителей 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, через которую перемещается волновой заряд.

### **2.8.3. Характеристики процесса движения в физических системах**

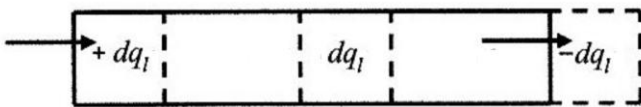
#### **Понятие о перемещаемой координате состояния**

Как показано в разделе, посвященном формам движения, базовыми являются прямолинейная и вращательная формы движения. В любой физической проточной системе в общем случае движение состоит из этих двух форм.

Рассмотрим изображенные на двух рисунках схемы проточных систем: с прямолинейным и вращательным движениями. На этих рисунках

штриховыми линиями очерчены участки системы, содержащие элементарное количество  $dq$  координаты состояния  $q$ : при прямолинейном движении и длине перемещаемого участка  $dl$  это  $dq_l$ , а при вращательном движении и угле при вершине поворачиваемого сектора  $d\varphi$  это  $dq_\varphi$ .

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



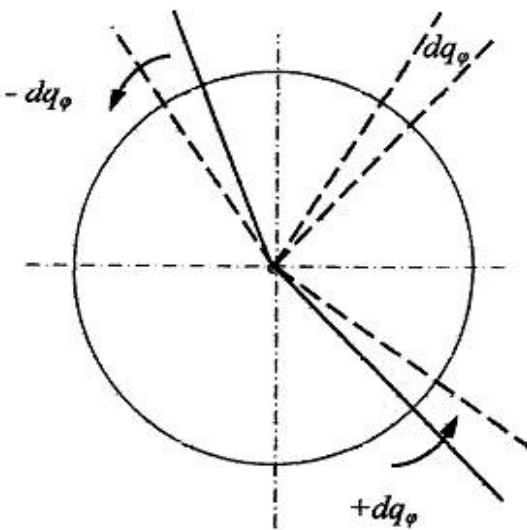
перемещение центра сектора.

При прямолинейном движении от входа проточной системы к ее выходу произведение

$$\mathbf{q}_l = [(dq_l \mathbf{e}_x)/dt]l \quad (1)$$

является характеристикой **процесса перемещения** координаты состояния  $q$  по прямой линии. Назовем векторную величину  $\mathbf{q}_l$  **перемещаемой координатой состояния**. Перемещаемая координата характеризует элементарное количество координаты состояния,

перемещающуюся  
через любое  
сечение  
проточной  
системы.



При вращательном движении характеристикой **процесса поворота** координаты состояния  $q$  по окружности является произведение



$$\mathbf{q}_\varphi = [(dq_\varphi \ \mathbf{e}_\varphi \ /dt)] \ \varphi. \quad (2)$$

Назовем векторную величину  $\mathbf{q}_\varphi$  **поворачиваемой координатой состояния**. Эта характеристика вращательного движения является псевдовекторной величиной. Размерности перемещаемой и поворачиваемой координат состояния равны размерностям соответствующих произведений.

### **Работа сторонних сил и моментов по перемещению координаты состояния**

Главное определяющее уравнение для  $i$ -ой формы движения определяет динамическое воздействие на эту форму движения в виде  $\mathbf{U}_i = (\partial W / \partial q_i) \ \mathbf{e}_{dW}$ . Энергетическое воздействие на систему  $dW$  можно записать также как работу  $A$  **сторонних сил**  $\mathbf{F}_{for}$  по перемещению координаты состояния  $\mathbf{q}_l$  или как работу  $A$  **сторонних моментов**  $\mathbf{M}_{for}$  по повороту координаты состояния  $\mathbf{q}_\varphi$ . В этом случае определяющее уравнение для работы записывается в обобщенном виде как:

$$A = \mathbf{F}_{for} \ \mathbf{q}_l \quad (3)$$

или

$$A = \mathbf{M}_{for} \ \mathbf{q}_\varphi. \quad (4)$$

Сторонние силы при этом называют **движущими силами**, добавляя к слову "движущие" название той формы движения, чья координата состояния  $q$  перемещается в проточной системе. Это может быть, например, **электродвижущая сила**, если под  $\mathbf{q}_l$  подразумевается перемещаемый электрический заряд, или **термодвижущая сила**, если под  $\mathbf{q}_l$  подразумевается перемещаемый тепловой заряд. Сторонние моменты называют **вращающими моментами**.

Разумеется, размерности движущих сил в разных формах движения различны, и они определяются размерностями координаты состояния. Лишь в механической прямолинейной форме движения размерность движущей силы совпадает с размерностью силы. По этой причине термин "динамическое воздействие" звучит более обобщенно, чем термины "движущая сила" и "вращающий момент".

## 2.8.4. Обобщенные определяющие уравнения 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: это *“физическая величина, измеряемая отношением работы к промежутку времени, в течение которого она произведена”*. Это словесная формулировка, за которой не просматривается физическое содержание. Ей соответствует уравнение

$$P=dA/dt, \quad (1)$$

где  $dA$  – элементарная работа, производимая за элементарный промежуток времени  $dt$ .

Однако уравнение (1) подходит для расчета мощности в механике, где под  $A$  понимается работа силы при прямолинейной форме движения. Обобщенным уравнением для расчета мощности воздействия на любую форму движения является другое, близкое к (1) уравнение:

$$P=dW/dt, \quad (2)$$

где  $dW$  – элементарное количество энергии, проходящее через контрольную поверхность системы, то есть элементарное энергетическое воздействие. В уравнении (2)  $P$  – мгновенное значение мощности.

### Определяющее уравнение для мощности в теории физических аналогий

Основные положения теории физических аналогий изложены в разделе исторического обзора проблемы систематизации физических величин, посвященной динамическим аналогиям Г.Ольсона (1943, 1966). В понятиях, близких к энергодинамике, теорию динамических аналогий изложил В.Костышин.

У В.Костышина поведение каждой формы движения

“характеризуется парой сопряженных фазовых переменных ( $\Phi_{II}$ ), которые имеют соответственно «силовой», типа потенциала ( $\Phi_C$ ), и «скоростной», типа потока ( $\Phi_{II}$ ), 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  $\xi$  – обобщенная координата формы движения. Если использовать символику и терминологию данной работы, то уравнения (4) и (5) будут иметь другой вид. Аналогом потенциала  $\Phi_C$  является динамическое воздействие  $U$ , для определения которого существует главное определяющее уравнение

$$U = (dW/dq) e_d W, \quad (6)$$

заменяющее уравнение (4). Аналогом потока  $\Phi_{II}$  является поток координаты состояния

$$I = dq/dt, \quad (7)$$

где  $dq$  – приращение обобщенной координаты состояния формы движения. Уравнение (7) заменяет уравнение (5). В итоге уравнение (3) заменяется в теории физических аналогий уравнением

$$P = UI \quad (8)$$

Уравнения для расчета мощности (3) и (8) наиболее хорошо знакомы в механике в виде  $P = \mathbf{F}\mathbf{v}$ , где  $\mathbf{F}$  – сила, а  $\mathbf{v}$  – скорость тела, и в электромагнетизме в виде  $P = \mathbf{U}\mathbf{I}$ , где  $\mathbf{U}$  – электрическое напряжение, а  $\mathbf{I}$  – электрический ток.

Главным недостатком уравнений для расчета мощности (3) и (8) является то обстоятельство, что в теории физических аналогий

существует неверная тенденция, подробно описанная в разделе, посвященном физическим аналогиям в трактовке П.Пирната.

Обобщенное уравнение для расчета мощности (2), определяемое по основным физическим величинам, первично, тогда как уравнения (3) и (8) определяются по производным физическим величинам и поэтому вторичны.

### **О необходимости применения понятия “энергообмен”**

Обобщенным понятием для обозначения любого переноса энергии из системы в систему является понятие “**энергообмен**”. К сожалению, это понятие сейчас используется, в основном, в биологии, а не в физике, хотя это чисто физическое понятие.

Словарное определение понятия “**энергообмен**” найти не удалось. В том смысле, в каком оно применяется в энергодинамике, понятие “**энергообмен**” встречается лишь в философских словарях применительно к таким научным направлениям, как синергетика и неопределенность. Однако при **систематизации физических величин это понятие является одним их ключевых.**

Важное пояснение сделал А.Вейник, указывая на то, что в записи энергетического воздействия на систему  $dW$  символ  $d$  перед  $W$  не говорит о том, что  $dW$  является дифференциалом, так как величина  $dW$  в энергодинамике есть не изменение чего-либо, а просто бесконечно малое приращение энергообмена.

Физики чаще говорят о **формах переноса энергии**, а не об “энергообмене”. Но это не означает, что в физике не используются широко понятия, эквивалентные понятию “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**”. **Представляется целесообразным постепенно вместо термина “работа силы” применять термин “механический энергообмен”, вместо термина “количество электроэнергии” – термин “электрический энергообмен”.**

Наконец, необходимо учитывать, что внутри реальных физических систем всегда происходит диссипативный энергообмен, то есть

**переход части энергии упорядоченного движения любой формы движения в энергию неупорядоченной тепловой формы движения.**

Из всего сказанного следует, что термин “энергообмен” имеет право на весьма широкое распространение в физике. Поэтому он и внесен в схему, приведенную в разделе, посвященном классификации форм и видов энергии (И.Коган). И неверно, когда вместо обобщенного понятия “энергообмен” ко многим формам движения применяют частное понятие “работа”. Что касается энергообмена в механических формах движения, то об этом подробно написано в разделе, посвященном работе силы.

### **2.8.5. Обобщенное уравнение состояния – источник всех законов сохранения**

Вид обобщенного уравнения состояния зависит от того, что рассматривается: **состояние физической системы или состояние процесса в этой системе**. Для этого введена классификация физических систем, которая подразделяет системы на **непроточные** и **проточные**.

#### **Обобщенное уравнение состояния для непроточных систем**

Обобщенное уравнение состояния (И.Коган, 1998) в разделе, посвященном закону сохранения энергии, приведено в скалярной форме:

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

где  $n$  – число форм движения (форм энергии) в системе;  $k$  – порядок производной по времени в уравнении динамики;  $m$  – число учитываемых видов энергии в форме энергии;  $a_i$  – конструктивный параметр  $i$ -ой формы движения;  $U_i = (\partial W / \partial t)_0$  – динамическое воздействие на  $i$ -ую форму движения.

В уравнении (1) сумма скалярных произведений  $U_i dq_i$  равна энергетическому воздействию на систему  $dW$ . В разделе, посвященном

уравнению состояния системы, показано, что сумму произведений скалярных величин можно заменить суммой скалярных произведений векторных величин:

$$\sum_i \mathbf{U}_i d\mathbf{q}_i = dW. \quad (2)$$

где  $\mathbf{U}_i$  – обобщенное векторное динамическое воздействие на систему;  $d\mathbf{q}_i$  – векторное приращение обобщенной координаты состояния.

Уравнения (1) и (2) приемлемы для **непроточных систем**, где приращение координаты состояния  $d\mathbf{q}_i$  является следствием переноса энергии через контрольную поверхность системы. Разделив и умножив уравнение (2) на  $dt$ , получим уравнение:

$$\sum_i (\mathbf{U}_i dt) (d\mathbf{q}_i / dt) = dW. \quad (3)$$

Первый сомножитель в уравнении (3) является векторным приращением **импульса динамического воздействия**  $d\mathbf{S}_i$  в  $i$ -ой форме движения, определяемого уравнением:

$$d\mathbf{S}_i = \mathbf{U}_i dt. \quad (4)$$

А под производной от координаты состояния по времени ( $d\mathbf{q}_i / dt$ ) понимается **вектор скорости изменения координаты состояния**. В итоге уравнение (3) можно записать в виде:

$$\sum_i d\mathbf{S}_i (d\mathbf{q}_i / dt) = dW. \quad (5)$$

### **Обобщенное уравнение состояния процесса для проточных систем**

В **проточных системах** приращение координаты состояния  $d\mathbf{q}_i$  на входе в систему компенсируется приращением координаты состояния  $d\mathbf{q}_i$  другого знака на выходе из системы. Поэтому в проточных системах приращение координаты состояния всей системы  $d\mathbf{q}_i$  **отсутствует**. Имеет место лишь процесс перемещения координаты состояния через проточную систему. Поэтому в обобщенное уравнение состояния (1) следует внести некоторые изменения.

В проточных системах вместо приращения координаты состояния системы  $d\mathbf{q}_i$  следует применять приращение координаты состояния процесса  $d\mathbf{q}_i$ , называемое **перемещаемой координатой**. Перемещаемая координата отличается тем, что в ее определяющее

уравнение

$$\mathbf{q}_i = q_i \mathbf{v} \tag{6}$$

входит скорость перемещения координаты состояния  $\mathbf{v} = dx/dt$  вдоль проточной системы. Поэтому в обобщенном уравнении состояния (1) следует заменить  $dq_i$  на  $dq_i \cdot$

### **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 состояния вытекает только закон сохранения энергии, а другие законы сохранения вытекают уже из этого уравнения в качестве частных случаев при пренебрежении какими-то видами и формами энергии. Приведем ряд примеров.

**1.** Пусть энергетическое воздействие на систему направлено только на одну форму движения – механическую, в которой рассматриваются только два вида энергии – кинетическая и потенциальная. Тогда уравнение (1) сокращается до уравнения, из которого вытекает **закон сохранения механической энергии**.

**2.** 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 кинетической энергиями. При  $dW = 0$  такое возможно лишь в случае, если приращение импульса  $d\mathbf{S}_i = 0$ , а  $\mathbf{S}_i = \text{const}$ . Последнее равенство представляет собой **закон сохранения импульса** в отдельно взятой  $i$ -ой форме движения.

**3.** В механической прямолинейной форме движения приращение импульса динамического воздействия  $d\mathbf{S}_F$  (приращение импульса силы  $\mathbf{F}$ ) 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  $d\mathbf{S}_F$  становится равным приращению импульса силы инерции. И лишь это приращение равно приращению импульса тела  $d\mathbf{p}$ .

Лишь в этом частном случае при  $dS_F = 0$  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 когда говорят о всеобщности закона сохранения импульса, то 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**.

4. В **механической вращательной форме движения** приращение импульса динамического воздействия (импульса вращающего момента)  $dS_M$  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  $dS_M$  становится равным приращению импульса момента инерции, которое, в свою очередь, равно приращению углового момента  $dL_z$ .

В этом частном случае при  $dS_M = 0$  становится равным нулю и приращение углового момента, то есть  $dL_z = 0$ , и, следовательно,  $L_z = \text{const}$ . 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**.

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).

5. Если считать, что **энергетическое воздействие** на систему направлено только на **две формы движения: механическую и тепловую**, и при этом процесс воздействия рассматривается только в статике (изменения видов энергии не рассматриваются), то уравнение (2) сокращается до уравнения, именуемого **первым началом термодинамики**.

6. **Динамическое воздействие  $U$**  из уравнения состояния в форме (2) можно раскрыть с помощью **уравнения динамики** (уравнения переходного процесса). Приравнивание нулю приращения динамического воздействия 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 гравитационной массы**).

Как видно из этих 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.

### **3. Систематизация физических величин**

#### **3.1. Условия систематизации физических величин**

##### **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, как анализ размерностей.
- Соблюдение условий обобщения и систематизации приводит к **систематизации законов сохранения.**

1. Принцип причинности.  
*Причина всегда предшествует следствию.*

2. Условие аналогий.  
*Конкретные физические системы являются моделями обобщенной физической системы; формы описания физического поля являются моделями описания обобщенного физического поля.*

3. Условие реальности.  
*Поддаются систематизации те физические величины, которые входят в закономерности, не искажающие реальное физическое содержание.*

4. Условие приращений.  
*Определяющие уравнения любой формы движения должны составляться для изменений (приращений) значений физических величин.*

5. Условие направленности.  
*Перемещаемые координаты состояния (координаты состояния процесса) являются векторными (или псевдовекторными) величинами.*

6. Условие показателей степени.  
Физическая величина (не являющаяся абстрактной или удельной величиной) не может иметь формулу размерности только с отрицательными показателями степеней.

7. Условие однозначности.  
Одна и та же размерность должна принадлежать физическим величинам одной и той же природы.

Системы единиц измерений, в которых нарушаются приведенные условия, не приводят к обобщению и систематизации физических величин.

### 3.2. Принцип причинности (принцип причинно-следственной связи, детерминизм)

Современная физика не стремится соблюдать 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*”. А в работе популяризаторов урвневой физики О.Бондаренко и С.Кадырова указывается, что для современной физики “*характерны своего рода крайности: от детерминизма классической механики до индетерминизма волновой механики...*”.

Во второй половине XX века получили развитие новые направления, такие как энергодинамика, синергетика, урвневая физика, которые по-разному трактуют необходимость соблюдения принципа причинности. Если синергетика определяет порядок как форму

**самоорганизации хаоса**, то **уровневая 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). **Энергодинамика** (А.Вейник, В.Эткин) считает **принцип причинности основным принципом природы**. Таким образом, и **уровневая физика, и энергодинамика** в этом вопросе **принципиально отличаются от синергетики**.**

Следует заметить, что последовательное применение принципа причинности нередко затрудняется математизацией физики, и вот почему. В математических формулах господствует формальная логика, и при переносе этих формул в физику, где должен соблюдаться принцип причинности, причинно-следственная цепочка подчас не учитывается. Вот очень часто встречающийся пример. В математике принято, что в левой части равенства должно находиться следствие (функция), а в правой части – причина (аргумент). При перестановке местами левой и правой части факт равенства остается в силе, и поэтому математиков такая перестановка не смущает. В **физике** же подобная перестановка меняет местами причину и следствие, то есть **искажает физическое содержание равенства**.

### Наиболее важные примеры нарушения принципа причинности

1. **Уравнение состояния** физической системы записывается в современной физике в виде

$$dW = \sum_i U_i dq_i. \quad (1)$$

В уравнении (1) **причина** (энергетическое воздействие на систему  $dW$ ) находится в левой части, а сумма всех **следствий** (изменений координат состояний  $dq_i$  всех форм движения системы) – в правой, и **поэтому такая запись противоречит принципу причинности**. С точки зрения этого принципа уравнение (1) записано неверно. В современной физике при записи уравнения состояния (1) ради удобства записи уравнения идут на нарушение принципа причинности. Но при изучении предмета помнить об этом нарушении принципа причинности.

Если мы запишем уравнение состояния не для всей физической

системы, а только для  $i$ -ой формы движения этой системы, то можно это записать в виде **главного определяющего уравнения**

$$U_i = \partial W / \partial q_i. \quad (2)$$

**Вот уравнение (2) не противоречит** принципу причинности, а запись **уравнения (1) противоречит.**

2. Уравнение динамики, описанное в разделе "Переходный процесс", сплошь и рядом записывается в литературе таким образом, что причина (динамическое воздействие) пишется в левой части уравнения, то есть становится аргументом следствия (суммы противодействий).

3. 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 говорить об этом студентам в процессе обучения (познания).**

Примеры успешного решения проблемы систематизации физических величин показывают, что **обязательное соблюдение принципа причинности является необходимым условием** для систематизации на всех ее стадиях .

**Принцип последовательности – важное следствие принципа причинности**

Из принципа причинности вытекает важное следствие, которое И.Коган назвал **принципом последовательности** (или **принципом очередности**): **любое свойство, любая характеристика этого свойства и любое понятие на любом уровне рассмотрения вытекают из свойств, характеристик и понятий, рассмотренных на более высоких уровнях.**

Этот принцип так сформулирован в работе Г.Трунова: “*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 очередности 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 практически не соблюдается. Только в системе величин ЭСВ, описываемой в данной работе, этот принцип возведен в ранг закона. Для того, чтобы в этом убедиться, есть смысл посмотреть Таблицу величин физического поля.

### **3.3. Условие аналогий**

Условие аналогий исходит из того, что Природа едина и представляет собой обобщенную физическую систему, включающую обобщенное физическое поле, и поэтому нет необходимости делить ее на инерциальные и неинерциальные, на основные и подвижные системы. Условие аналогий прогностично по своей сути.

#### **Природа – обобщенная физическая система**

**Условие аналогий** говорит о том, что обобщенной физической системе присущи все свойства всех конкретных физических систем, потому что любая конкретная физическая система является моделью 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, 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 различных физических системах и в обобщенной физической системе. **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 – модели обобщенной координаты состояния обобщенной физической системы**.

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 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 вызваны 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: “... 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 **обобщенная физическая система существует в единой инерциальной системе отсчета**. По этой причине уровневую физику ее последователи называют **физикой абсолюта**. Современная же

**физика признает и относительное движение.** Поэтому современная физика названа сторонниками уровневой физики **физикой относительности.**

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. И больше ничего.**

**Обобщенная физическая система не нуждается в делении на различные системы отсчета**

Из признания существования **обобщенной физической системы в виде единой инерциальной системы отсчета** следуют весьма интересные выводы. **Коль скоро система отсчета едина, то ее нет необходимости делить на инерциальные и неинерциальные, на основные и подвижные системы.** 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 всё же 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 условию адекватности.**

Что же касается деления систем отсчета на основные и подвижные, то в современных учебниках по физике И.Савельева и Т.Трофимовой о них 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 и сейчас соблюдается в инерциальных системах отсчета. Условие аналогий не противоречит и принципу относительности Эйнштейна, согласно которому все законы природы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета.

**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, А.Чуев и др.). 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 (Р.Pirnat, А.Чуев).

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 свидетельствует о признании существования условия аналогий.

О.Бондаренко 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 той версии теории **единого поля**, о которой говорит В.Пакулин, таким полем считается **электромагнитное поле**. В работе В.Эткина идее “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.

### **3.4. Условие реальности**

Поддаются систематизации лишь те физические величины, которые входят в закономерности, в которых отсутствуют математические абстракции

**Условие реальности – это условие отсутствия абстракций**

Условие реальности является одним из условий успешной систематизации физических величин. Оно отделяет формальный подход к явлениям природы, присущий математике, от рационального, учитывающего реальное физическое содержание явлений. Поэтому содержание условия реальности вполне конкретно: **систематизации поддаются лишь те физические величины, которые входят в закономерности, не искажающие реальное физическое содержание.**

Впервые, как мы полагаем, нечто подобное под названием “**критерий корректности**” ввел в свою “Общую теорию” А.Вейник, подразумевая под ним внутреннюю непротиворечивость теории. Мы полагаем, что под условием реальности при систематизации физических величин следует подразумевать не только внутреннюю непротиворечивость, но и **отказ от учета тех математических абстракций, которые вводятся в физику без необходимости.**

Это не означает отказ от применения математических абстракций вообще. Математические абстракции позволяют решить множество практических задач, не требующих учета всех обстоятельств. Но **составлению непротиворечивых систем физических величин они подчас 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**. Он 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."* При соблюдении условия реальности

дополнительной необходимости в принципе физичности нет.

Абстракции вводятся в физику несколькими путями. Можно выделить два пути: **формализм, вносимый в физику математикой**, и **несовершенство метрологической теории**. Более опасен первый путь. Убедительно сказано об этом в работе О.Репченко: "*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 положил условие реальности в основу развиваемой им **полевой физики**.

**Прямолинейная траектория движения – это абстракция**

**Прямолинейная траектория движения тела является не более, чем математическим понятием.** 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 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? Всё больше свидетельств становится в пользу того, что именно **торообразные вращающиеся кольца являются следствием самоорганизации движения материи.**

В разделе данной работы, поясняющей **орбитальную форму движения**, то есть движение по криволинейной орбите, приведено уравнение для определения элементарного перемещения  $ds = R d\varphi$ , где  $R$  – радиус соприкасающейся с орбитой окружности, а  $d\varphi$  – угловое перемещение центра масс движущегося по орбите тела. При  $R \rightarrow \infty$  и  $d\varphi \rightarrow 0$  орбитальное перемещение  $ds$  становится неопределенностью типа  $\infty \cdot 0$ . В этом случае ничто формально не мешает считать траекторию, пройденную телом по элементарному участку орбиты, прямолинейной траекторией и пренебречь угловым перемещением. **С точки зрения математики это допустимо, но с точки зрения физики – нет.**

Вращательная форма движения является составной частью орбитальной формы движения. Как показано в разделе, посвященном

вращательной форме движения, физическая величина, характеризующая эту форму движения (угол поворота), является **основной физической величиной**. Упорное стремление физиков и метрологов ограничить применение единицы угла поворота только рамками угловой скорости и углового ускорения вызывает недоумение.

### **Материальных точек в природе нет**

Математической абстракцией является понятие “**материальная точка**“, применяемое к телу, у которого пространственные размеры условно сведены к нулю. Последнее означает, что **материальная точка не может иметь инертную массу и что при ее движении не может возникнуть внешнее сопротивление трения**. Отсутствие пространственных размеров лишает смысла разговоры о жесткости и о деформировании тела. Наконец, **материальная точка лишена вращательной формы движения**. И всё это резко сокращает возможности систематизации физических величин в механике. И вообще понятие “**точка**“ – **чисто математическое, никакого отношения к природе не имеющее**, это просто условность, введенная для упрощения решения многих задач.

**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**.

Применение понятия “твердое тело“ также ограничивает возможности систематизации, так как оно лишает движущееся тело возможности деформироваться. Только понятие “**тело**“ позволяет рассматривать и деформацию, и диссипацию, и вращение.

Специальная теория относительности А.Эйнштейна сумела в начале XX века объяснить сокращение размеров движущихся твердых тел при скоростях, близких к скорости света, с помощью введения понятий внешнего наблюдателя, относительности времени и четырехмерного пространства-времени. Однако **теория единого поля С.Кадырова**, предложенная в конце XX века, **объясняет тот же эффект иначе: деформацией 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 в физике применяют понятие “частица“. **Но частица – это тоже тело, имеющее свои размеры.** В этом смысле в понятии “элементарная частица“, применяемом в квантовой механике, оправдано лишь второе слово “частица“. Первое слово “элементарная“ с точки зрения математики означает, что частица имеет бесконечно малые размеры. Может быть, с точки зрения макромира это и так, но никак не с точки зрения микромира, где эти так называемые элементарные частицы могут отличаться друг от друга по размерам на несколько порядков, не говоря уже о кардинальном различии свойств.

Нам представляется вполне обоснованным мнение И.Савельева о том, что наряду с понятием “материальная точка“ следовало бы *“использовать понятие “частица“, подразумевая при этом не элементарную, а макроскопическую частицу“.* Мы полагаем, что **полезно было бы заменить понятие “материальная точка“ понятием “макрочастица“, а понятие “элементарная частица“ заменить понятием “микрочастица“.**

### **Другие примеры нарушения условия реальности**

**1. Равновесных процессов не существует.** Это утверждение исчерпывающе обосновал В.Эткин: *“Переход к рассмотрению реальных процессов требует 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.“*

**2. Неразбериха с векторными величинами.** В математике под вектором понимают направленный отрезок, у которого указаны начало (точка приложения) и конец. 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 движения и именуемые **векторными величинами**. Но тогда непонятно, почему такие физические величины, имеющие направление, как **расход жидкости и электрический ток, не считаются в современной физике векторными величинами**. Об этом сказано в разделах, где рассматриваются **условие направленности** и физическое содержание понятия **“электрический ток“**.

**3. Вектора силы нет.** Представление силы в виде вектора, приложенного в точке, является продолжением вышеуказанных абстракций. В реальности **вектора силы нет, а имеется интегральная сумма произведений силы на площадь поверхности, на которую действует эта сила.** **Эту сумму** можно трактовать как **поток вектора силы.** Отказ от применения при систематизации физических величин понятия “материальная точка” приводит к необходимости пересмотра определения **“силы“**.

Например, **силу** можно определить, как **частную производную от давления на элементарную площадку рассматриваемой поверхности.** Собственно говоря, в природе так оно и есть. **А давление на элементарную площадку можно рассматривать, как векторную величину, ортом которой является орт нормали к этой площадке.** При таком определении силы отпадает необходимость в понятии **“точка приложения силы“**.

**4. Несжимаемых жидкостей не существует.** 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.

**5. Принцип эквивалентности гравитационной и инертной масс абстрактен,** несмотря на то, что эксперименты, проведенные в земных условиях, свидетельствуют с высокой точностью о его справедливости. Но имеются свидетельства, как теоретические, так и экспериментальные, о том, что применимость этого принципа ограничена определенными условиями. Не говоря уже о необходимости точного определения понятий **“инертная масса“** и **“гравитационная масса“** при формулировке **принципа эквивалентности.** **Систематизация физических величин на базе энергодинамики** указывает на то, что **инертная** и **гравитационная**

**массы** являются **различными физическими величинами**, поскольку имеют различные определяющие уравнения и различные размерности. **Более того, имеются соображения по поводу того, что понятие “инертная масса” следует вообще устранить.**

**6. Часто встречающееся понятие “мгновенная скорость” абстрактно.** На самом деле понятие “скорость” подчиняется соотношению неопределенностей. Об этом убедительно говорится в работе В.Пакулина: *“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  $\Delta x$ , в котором находится тело... Чтобы определить скорость тела, надо наблюдать за его движением на расстоянии  $\Delta s$  за промежуток времени  $\Delta t$ .”*

Мгновенной скоростью 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 должен пройти пусть и бесконечно малый, но промежуток времени, в течение которого можно было бы замерить пройденный путь. То же самое можно сказать обо всех физических величинах, определяемых в виде производных по времени, по расстоянию, по площади, по объёму (например, о мощности, о силе, о плотности, о частоте и т.п.). Конечно, **без применения этих величин физика немыслима, 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.**

**7. Естественные основные физические величины нельзя подбирать условно.** В современной метрологии до сих пор идет дискуссия по вопросу о том, является ли подбор основных физических величин произвольным процессом, или перечень и количество основных физических величин диктуются нам Природой. Условие реальности, как показано в разделе, посвященном **основным физическим величинам**, **требует придерживаться только второй точки зрения при систематизации физических величин.**

**8. 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. Ведь **систематизированы (скорее, унифицированы) лишь единицы физических величин**, поскольку во всех системах единиц единицы основных физических величин выбираются условно (А.Чертов). Поэтому и сами **системы единиц условны и применимы только на планете Земля.**

Анализ поисковых систем в Интернете, проводившийся И.Коганом в течение последних лет, показал, что при поиске по ключевым словам “физические величины” практически все ссылки еще недавно относились только к системам единиц и к пособиям, популяризирующим **СИ. Подобная ситуация наблюдается до сих пор в англоязычных поисковых системах, там даже не заметна разница между понятиями “система физических величин” и “система единиц”.** **Лишь в русскоязычных поисковых системах за последние несколько лет появились ссылки именно на системы физических величин.**

Систематизация физических величин и унификация их единиц, ошибочно называемая систематизацией, – совершенно различные процессы (И.Коган). Но инерция отождествления систем физических величин с системами их единиц еще работает в полную силу. А условности, закладываемые в системы единиц, приводят к пренебрежению условием реальности.

### **3.5. Условие применения приращений**

Запись многих закономерностей физики производится с применением не абсолютных значений величин, а их приращений. При систематизации физических величин это условие становится обязательным.

Условие применения приращений (сокращенно – условие приращений) указывает на важную особенность составления определяющих уравнений, а именно: определяющие уравнения в любой форме движения должны составляться для приращений значений физических величин.

Само по себе это условие не ново. Условие применения приращений



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.**

Условие приращений уточняет формы записи уравнения состояния и уравнения динамики системы. Например, при записи закона сохранения энергии в какой-то форме движения замкнутой физической системы в уравнении состояния присутствует абсолютное значение динамического воздействия на систему  $U_j$ . А при записи закона сохранения энергии открытой физической системы в уравнении состояния присутствует разность динамических воздействий  $U_{\Sigma}$ .

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 **полнота систематизации физических величин** зависит от того, насколько строго соблюдается **условие приращений.**

### **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), осуществляется на базе **шкал разностей (интервалов)**. Для этих шкал нуль устанавливается по соглашению, а диапазон шкалы определяется реальными потребностями (Л.Брянский).

**Основой системы единиц СИ** являются **метрические шкалы разностей (интервалов) и отношений** (Л.Брянский). А **приращения как раз и являются такими разностями.** При систематизации физических величин при определении любого приращения за нуль шкалы принимается значение величины в момент времени,

**принятый за нулевой, а за диапазон шкалы принимается диапазон изменения приращения этой величины.**

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.

### **Разница между приращением и разностью потенциалов**

В тексте приведенного в начале раздела определения приращения не акцентируется, какая именно рассматривается разность величин и в какой именно форме движения. **Условие приращение распространяется на все формы движения.** Приведем такие практические примеры.

В теории теплопередачи можно рассматривать скалярное приращение температуры  $\Delta T$  в конкретной точке за какой-то промежуток времени. Но можно рассматривать и векторную разность температур  $\Delta T$  (так называемый **температурный напор**) в один и тот же момент времени, но в разных точках.

В гидроаэродинамике можно рассматривать скалярное приращение давления  $\Delta p$  в конкретной точке за какой-то промежуток времени. Но можно рассматривать и векторную разность давлений  $\Delta p$  (так называемый **перепад давлений**) в один и тот же момент времени, но в разных точках.

Механику прямолинейного движения частицы текучей среды можно рассматривать, как частный случай гидроаэродинамики, в которой в качестве скалярного приращения потенциала будет выступать величина  $\Delta F = \Delta p / \rho$ . Но практически всегда рассматривается векторная разность величин  $\Delta \mathbf{F} = \Delta \mathbf{p} / \rho$ . Величина  $\Delta \mathbf{F}$  прекрасно знакома, как сила, действующая на частицу, но обозначаемая всегда, как  $\mathbf{F}$ . И этим как бы затушевывается истинный **физический смысл силы, как разности потенциалов**.

При рассмотрении векторной разности величин речь идет уже не о приращении величины в одной и той же точке, а о **“разности**

потенциалов“ в поле переноса или о разности потенциалов между системой и окружающей средой. В последнем случае, в частности, векторная разность потенциалов указывает на направление движения: из системы наружу в среду или из среды вовнутрь системы. Само слово “разность“ уже указывает на то, что нет необходимости говорить об абсолютном значении физической величины.

Важно подчеркнуть тот факт, что скалярное приращение давления  $\Delta p$  и векторный перепад давлений  $\Delta \mathbf{p}$ , скалярное приращение температуры  $\Delta T$  и векторный температурный напор  $\Delta \mathbf{T}$  – это разные по характеру величины, хотя и имеют одну природу и одну и ту же размерность. Поэтому их и следует обозначать по-разному (выделять разным шрифтом).

### **3.6. Условие направленности, или перемещение координаты состояния – векторная величина**

Условие направленности подразумевает, что **перемещаемые координаты состояния и разности любых потенциалов** всегда являются векторными величинами. В этой связи приведена таблица перемещений координат состояния и зарядов физического поля, образованных этими перемещениями

**Перемещаемые координаты состояния всегда векторные величины**

Формулировка условия направленности - *перемещаемые координаты состояния в проточных физических системах являются векторными (или псевдовекторными при вращательной форме движения) величинами*. Это иллюстрирует показанная ниже таблица характеристик перемещений координат состояния в проточных и непроточных системах. Расшифровка обозначений дана после таблицы.

форма движения	Координата состояния	скорость перемещения координаты состояния	статически заряд	динамический заряд	
				движущийся заряд	токовый заряд
1	2	3	4	5	6
Электрическая прямого тока	$q$	$\mathbf{v} = (dx \mathbf{n})/dt$	$q$	$q\mathbf{v}$	$i/l = [(dqn)/dt] l$
механическая прямолинейная	$x$	$\mathbf{v} = (dx \mathbf{n})/dt$	$m_g$	$m_g \mathbf{v}$	$[(dm_g \mathbf{n})/dt] l$
механическая объёмная	$x$	$\mathbf{Q}_V = [(dx \mathbf{n})/dt] S$	$m_g$	$\mathbf{Q}_m = m_g \mathbf{Q}_V$	$[(dm_g \mathbf{n})/dt] l S$
механическая вращательная	$\varphi = x k$	$\boldsymbol{\omega} = (d\varphi \mathbf{e}_\varphi)/dt$	$m_g$	$m_g \boldsymbol{\omega}$	$(dm_g \mathbf{e}_\varphi / dt) l k$

**Обозначения в таблице:**  
 $q$  – количество координаты состояния (электрического заряда) внутри проточной системы;  
 $x$  – координата состояния линейного прямолинейного движения внутри проточной системы;  
 $\mathbf{v}$  – линейная скорость перемещения координаты состояния внутри проточной системы;  
 $\mathbf{n}$  – орт направления перемещения координаты состояния, перпендикулярный к сечению;  
 $l$  – расстояние, на которое перемещается координата состояния (электрический заряд);  
 $m_g$  – количество координаты состояния (гравитационной массы) внутри проточной системы;  
 $S$  – поперечное сечение проточной системы;  
 $\mathbf{Q}_V$  – линейная скорость перемещения объёма (объемный расход);  
 $\mathbf{Q}_m$  – линейная скорость перемещения массы (массовый расход);  
 $\varphi$  – угловое перемещение внутри проточной системы;  
 $k$  – кривизна траектории движения центра вращающейся проточной системы:

$\omega$  – угловая скорость перемещения центра проточной системы.  
 $e_\varphi$  – орт углового перемещения центра проточной системы.

### Пояснения к таблице

1. Если речь идет о расстоянии  $l$ , то под ним понимается длина пути, пройденного координатой состояния внутри проточной системы, это **скалярная величина**. Но как только мы начинаем говорить о перемещении координаты состояния, мы должны указать направление этого перемещения. То есть речь идет уже о векторной величине, и перемещение следует записать в виде  $(dx \mathbf{n})$ . В принципе, проще записать его в виде  $dx$ , но тогда может создаться впечатление, что координата состояния  $x$  (или электрический заряд  $q$ ) является векторной величиной.

2.  $(dq/dt)$  – это скорость приращения количества электрического заряда в уединенном проводнике,  $dm_g/dt$  – это скорость приращения гравитационной массы тела с переменной массой. Обе эти величины в проточной системе равны нулю, исходя из определению проточной системы. Поэтому нельзя заменить выражение  $(dx\mathbf{n})/dt$  (или выражение  $(dm_g\mathbf{n})/dt$ ) на выражение  $(dx/dt)\mathbf{n}$  (или на выражение  $(dm_g/dt)\mathbf{n}$ ).

3. В колонке 4 указано количество элементарных зарядов, содержащееся в перемещаемом участке проточной системы. Понятие о статическом заряде приведено в разделе, посвященном классификации зарядов. В электрической форме движения – это количество перемещающихся электронов, в механических формах движения – это количество перемещающихся механических частиц, обладающих гравитационной массой  $m_g$ .

4. Определение динамического заряда приведено в разделе, посвященном классификации зарядов. Движущийся заряд – это понятие, применяющееся в электромагнетизме, там оно обозначается как  $(q\mathbf{v})$ . Если учесть, что в механике роль статического заряда выполняет гравитационная масса  $m_g$ , то из этого следует, что движущимся зарядом при прямолинейном движении является величина  $(m_g\mathbf{v})$ , уже несколько веков называемая **количеством движения**. В объёмной форме движения роль движущегося заряда выполняет массовый расход  $\mathbf{Q}_m$ , а во вращательной форме движения – величина  $(m_g\boldsymbol{\omega})$ , не имеющая своего названия.

5. В колонке 6 представлена еще одна разновидность динамического

заряда, названная **токовым зарядом** прямого тока. Причина такого названия и последствия использования этого заряда в физике в качестве источника физического вихревого поля детально изложены в разделе, посвященном токовому заряду.

Если в случае электрического движущегося заряда перемещается уединенный проводник (непроточная система) с зарядами, неподвижными относительно перемещающейся системы, то в случае токового заряда перемещаются электрические заряды относительно неподвижного проводника, соединенного с источником электрического тока (проточной системы) в направлении, указанном ортом **n**. Как будет показано в разделе, посвященном электрическому току, это различие принципиально. **Движущийся заряд и токовый заряд** – это **две различные физические величины**, хотя они имеют одинаковые размерности. Для наглядности можно сравнить их единицы: у движущегося заряда – это Кл·(м/с), а у токового заряда – это (Кл/с)·м = А·м.

**Разность потенциалов поля переноса является векторной величиной**

Рассмотрим таблицу разностей потенциалов полей переноса:

потенциал поля переноса	$\varphi$	разность потенциалов	$\Delta\varphi$
давление	$p$	перепад давлений	$\Delta p$
температура	$T$	температурный напор	$\Delta T$
электрическое напряжение	$U$	падение напряжения	$\Delta U$

И перепад давлений  $\Delta p$  между входным и выходным сечениями водопроводной трубы, и температурный напор  $\Delta T$  между двумя сторонами стенки радиатора, и разность потенциалов в разных точках электрического поля  $\Delta\varphi$  и падение напряжения  $\Delta U$  на клеммах проводника, по которому течет электрический ток, являются **не просто алгебраическими, а векторными величинами**.

Чтобы убедиться в необходимости такого представления, 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  $\pi$  или  $2\pi$ , 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 электрического поля  $\Delta\phi$ .** И это не противоречит известному положению электростатики о том, что работа по перемещению электрического заряда в электростатическом поле  $dA$  является скалярной величиной, так как она должна определяться по уравнению  $dA = \Delta\phi dq_l$ , в котором и разность потенциалов поля, и перемещаемый в поле заряд  $dq_l$  являются векторными величинами. И это не противоречит уравнению для определения силы взаимодействия в электростатическом поле  $\mathbf{F}=q\mathbf{E}$ , так как в этом уравнении присутствует не вектор перемещаемого заряда  $dq_l$ , а сам электрический заряд  $q$ , являющийся скалярной величиной.

Векторной величиной является и падение напряжения на участке электрической цепи  $\Delta U$ , так как оно является частным случаем **обобщенной разности динамических воздействий**. Отсюда следует непривычный для современных электродинамики и электротехники вывод о том, что **векторной величиной является и ЭДС** (электродвижущая сила)  $\mathcal{E}$ .

Наконец, векторная величина  $\mathbf{F}$ , прекрасно знакомая, как сила, действующая на частицу, фактически является удельной величиной, векторной разностью  $\Delta\mathbf{F} = \Delta\mathbf{p}/\rho$ , где  $\Delta\mathbf{p}$  – векторная разность давлений в сплошной среде с плотностью  $\rho$ . Отсутствие значка  $\Delta$  лишь затушевывает истинный физический смысл силы, как функции разности потенциалов.

### 3.7. Условие показателей степени размерностей

Условие показателей степеней размерностей говорит о том, что физическая величина (если она не удельная) не может иметь формулу размерности только с отрицательными показателями степеней. **Следовательно, физическая величина не может иметь размерность основной физической величины в минус первой степени.**

Основная физическая величина независима, она не имеет своего определяющего уравнения. Если имеется какая-то физическая величина, в формуле размерности которой содержится размерность основной физической величины в минус первой степени, то это означает, что эта физическая величина является производной величиной, в определяющем уравнении которой основная величина находится в знаменателе.

Не должно существовать производной физической величины с формулой размерности, в которую входит размерность основной величины с отрицательным показателем степени при отсутствии размерностей других основных величин с положительным показателем степени. Имеется, прежде всего, в виду, что не должно быть физических величин с размерностями  $L^{-1}$  или  $T^{-1}$ .

Если формула размерности производной физической величины состоит только из размерности основной величины с отрицательным показателем степени, то из этого следует, что в числителе определяющего уравнения определяемой величины отсутствует какая-либо величина. И это лишает производную величину какого-либо физического содержания.

### **Примеры нарушения условия показателей степени**

Размерности угловой скорости вращающегося тела, частоты вращения и частоты колебаний в СИ совпадают и равны  $T^{-1}$ . Уже само совпадение размерностей разных физических величин противоречит условию однозначности, так как указанные величины относятся к принципиально разным формам движения (вращательной и волновой).

Чтобы это нарушение условия показателей степени не так бросалось в глаза, метрологические стандарты присваивают **угловой скорости** единицу измерений рад/с, а **частоте вращения** – единицы  $s^{-1}$  или об/с, **частоте колебаний** – единицу Герц. Путаницу в голове этот прием не устраняет.



Однако известно, что угловая скорость в принципе 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.

### **Как устранить нарушения условия показателей степени**

Главным следствием нарушения условия показателей степени должен быть только поиск причин этого нарушения. Не в последнюю очередь именно этот поиск привел к выводу о том, что при систематизации физических величин **нельзя опираться на комплект основных единиц СИ. Выражаясь конкретнее, любая система физических величин должна иметь такой набор основных физических величин, чтобы условие показателей степени не нарушалось.**

На системы единиц условие показателей степени не распространяется, так как для них основные физические величины выбираются условно. Это, конечно, не значит, что условие показателей степени не должно там учитываться, но пока не учитывается. **Единицы  $m^{-1}$  и  $s^{-1}$  в СИ самим своим существованием указывают на необходимость поиска ошибки при выборе комплекта основных физических величин в этой системе.**

Разделы данной работы, посвященные вращательной форме движения, углу поворота и колебательным процессам, как раз и показывают, к чему привел поиск причин нарушения условия показателей степени. Он привел к созданию такого комплекта основных физических величин, при котором вышеуказанные нарушения условия показателей степени исчезли сами собой. **Этот комплект основных физических величин и положен в основу энергодинамической системы величин ЭСВ.**

Во всех системах единиц угол поворота не входит в состав основных физических величин, поэтому своей размерности он не имеет, хотя наличие единицы для него допускается. В системе величин ЭСВ размерность для угла поворота имеется, и она равна А. Поэтому в системе ЭСВ размерность кривизны траектории равна  $AL^{-1}$ , а единица равна об/м, эта единица в СИ соответствовала бы единице рад/м. По

этой же причине в ЭСВ размерность угловой скорости равна  $AT^{-1}$ , а единица равна об/с. Таким образом, условие показателей степеней в ЭСВ выполняется автоматически. Заметим, что ГОСТ 8.417-2002 уже ввел с 2003 г. единицу об/с и в систему СИ.

В волновых и колебательных формах движения во всех системах единиц в состав основных физических величин не входит **число структурных элементов**, поэтому своей размерности оно не имеет. В систему величин ЭСВ оно входит в качестве основной физической величины со своей размерностью N. И поскольку период колебаний является структурным элементом любого периодического процесса, то в системе ЭСВ размерность частоты колебаний равна  $NT^{-1}$ , а единица частоты равна пер/с (период в секунду), что как раз и должно соответствовать единице Гц. И в этом случае условие показателей степеней в системе ЭСВ выполняется.

Еще одно нарушение условия показателей степеней поясняется в разделе, посвященном частоте вращения, где **доказывается, что это абстрактная математическая величина, не имеющая физического содержания**. Так что говорить о ее размерности и единице нат смысла. Не распространяется условия показателей степеней и на удельные физические величины.

Всё сказанное выше не означает, что надо отменять СИ, это лучшая из всех ранее созданных систем единиц, и свои функции она выполняет, в основном, хорошо. К ее единицам привыкли, несмотря на то, что они иногда создают ощущение неудовлетворенности. Но метрологам было бы очень полезно прислушаться к рекомендациям тех, кто **систематизирует физические величины, а не их единицы**, чтобы устранить те явные ошибки, которые проиллюстрированы выше.

### **3.8. Условие однозначности**

Условие однозначности говорит о том, что одна и та же размерность и, желательно, один и тот же символ должны принадлежать физическим величинам одной и той же природы и с одним и тем же обобщенным определяющим уравнением, независимо от их принадлежности к разным формам движения и к разным формам силового поля.

Необходимость во внесении условия однозначности в перечень условий систематизации парадоксальна. Оно было бы не нужно, если

бы постоянно не нарушалось. А нарушения связаны с тем, что в процессе создания разных вариантов систем физических величин их авторы опираются на системы единиц физических величин, а конкретнее, на **СИ**. Поэтому приходится напомнить, что системы физических величин и системы их единиц – понятия друг от друга независимые (И.Коган).

Чтобы не возникла путаница в обозначениях ввиду ограниченности количества применяемых букв, обозначения физических величин одной и той же природы при их применении к различным формам движения можно отличать различными дополняющими словами, а к символам добавлять различные индексы.

Условие однозначности не распространяется на удельные физические величины, так как они получают в результате деления физической величины на любую величину, произвольно избранную для составления отношения. Произвольность такого выбора не позволяет распространить на удельные величины принципы систематизации.

### **Примеры нарушения условия однозначности в СИ**

В **СИ** немало нарушений условия однозначности. Приведем только два наиболее известных примера.

**1.** Известно, что размерности энергии, вращающего момента и момента силы в **СИ** совпадают, они равны в этой системе единиц  $L^2MT^{-2}$ . Хотя понятно каждому, что эти физические величины имеют разное физическое содержание. Чтобы как-то закамуфлировать этот нонсенс, в метрологических стандартах энергия имеет единицу Джоуль, а вращающий момент и момент силы – единицу Н·м. Но при этом всем известно, что  $1Дж=1Н·м$ . Что это, как не самообман?

В системе величин **ЭСВ** в комплексе основных величин имеются энергия и угол поворота со своими размерностями  $E$  и  $A$  и единицами Дж и об (оборот). Поэтому в **ЭСВ** у вращающего момента размерность равна  $EA^{-1}$  и единица равна Дж/об, что в **СИ** соответствовало бы единице Дж/рад. И различие между энергией и вращающим моментом сразу становится заметным. Что касается момента силы, то в разделе, посвященном различию между вращающим моментом и моментом силы, показано, что последний является искусственно введенной в расчетную практику статической величиной.

2. Размерности количества движения  $m_g \mathbf{v}$  в механической форме движения ( $m_g$  – гравитационная масса) и движущегося электрического заряда  $q\mathbf{v}$  в электрической форме движения должны совпадать, поскольку количество движения  $m_g \mathbf{v}$  тоже является движущимся гравитационным зарядом. И они действительно совпадают в системе размерностей LTQ, где Q является символом размерности заряда, в такой системе они равны  $LT^{-1}Q$ .

Обе эти величины находятся в одной и той же строке Таблицы величин физического поля, поскольку имеют одинаковое обобщенное определяющее уравнение. Если их записать одним и тем же символом, но снабдить разными нижними индексами, то всё будет соответствовать условию однозначности. Но в современной физике указанные две величины записываются разными символами, и не все догадываются, что эти величины родственные. Ведь в СИ у них не похожие друг на друга единицы кг·м/с и Кл·м/с (а иногда А·м).

## 4. Классификация физических систем

### 4.1. 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”*. Это определение говорит скорее об энергообмене, чем о теплообмене, и поэтому оно относится скорее к **энергодинамическим системам**.

Однако существующая в современной физике классификация термодинамических систем подразделяет эти системы только как тепломеханические системы, учитывающие всего **две формы движения: тепловую и механическую**. Но рассматриваемые в таком плане термодинамические системы являются лишь частным случаем физических систем, поскольку каждая физическая система имеет гораздо **больше различных форм движения**.

В современной физике существует следующая классификация термодинамических систем по признаку их возможности обмена энергией и веществом с окружающей средой или с другими системами:

- а) Система **открытая**, если возможен обмен энергией и веществом.
- б) Система **закрытая**, если обмен энергией возможен, а обмен веществом невозможен.

Закрытые системы дополнительно подразделяются по признаку возможности осуществления энергообмена следующим образом:

- а) Система **замкнутая**, если энергообмен возможен, но невозможен обмен с внешней средой путем совершения механической работы.
- б) Система **изолированная**, если невозможен обмен системы с окружающей средой ни энергией, ни веществом.
- в) Система **адиабатная**, если полностью отсутствует теплообмен системы с окружающей средой.

В адиабатной системе возможен как **обратимый**, так и **необратимый адиабатный процесс**. Обратимый адиабатный процесс называется также **изоэнтروпийным процессом**, что подчеркивает **постоянство энтропии в адиабатной системе**. А **постоянство энтропии означает отсутствие необратимых диссипативных потерь энергии**.

В.Кошарский указывает на то, что определение физической системы, принятое в современной физике, ограничивается лишь **статической составляющей физических систем**. Соответственно, и **современная термодинамика рассматривает только квазистатические обратимые процессы**. Поэтому в термине “термодинамические системы“, как его понимают сегодня, присутствие второй половины слова “динамические“ следует поставить под вопрос, так как понятие “динамика“ **обычно связано с движением и, следовательно, с необратимыми диссипативными потерями**.

Систематизация физических величин, основанная на принципах энергодинамики, 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 дополнительной классификации. Она рассмотрена в разделе, посвященном **классификации физических систем**.

## 4.2. Классификация физических систем

В разделе, посвященном классификации термодинамических систем, было пояснено, что физические системы, как более обобщенное понятие, нуждаются в такой классификации, которая учитывала бы динамику энергообмена между физической системой и окружающей средой и/или соседними системами (И.Коган). Это возможно только при условии учета динамических свойств самой физической системы. Поэтому приведенная ниже и учитывающая это классификация физических систем может быть приемлема как классификация любых систем, находящихся в постоянной динамике развития.

Под балансом энергообмена будем понимать состояние, при котором количество энергии, поступающей в систему, равно количеству энергии, отдаваемой системой. Соответственно, состояние, при котором количество энергии, поступающей в систему, не равно количеству энергии, отдаваемой системой, называется дисбалансом энергообмена. Его изменение и является главной количественной характеристикой состояния системы.

### **Классификация систем по признаку изменения дисбаланса энергообмена**

Классификация по признаку изменения дисбаланса энергообмена рассматривается также в разделе, посвященной переносу энергии в разных формах движения. Согласно этой классификации открытые физические системы делятся на:

- а) **Системы-источники**, отдающие энергию и вещество в большем количестве, чем поглощают ее;
- б) **Системы-стоки**, поглощающие энергию и вещество 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, в результате чего через проточную систему постоянно протекает поток энергии и вещества в направлении от системы-источника к системе-стоку;
- г) **Непроточные системы**, для которых окружающая среда или

соседняя система являются либо системой-источником, либо системой-стоком, и, соответственно, энергия и вещество могут либо входить в систему, либо выходить из нее;  
 д) **Комплексные системы**, сочетающие свойства непроточных и проточных систем.

Покажем схему взаимосвязи физической системы с окружающей средой и соседними системами, на которой стрелками показано направление потоков энергии и вещества.



Указанная классификация физических систем не зависит от того, является ли система закрытой или открытой в смысле возможности обмена веществом. Разница в этом случае заключается лишь в том, что в открытых системах имеет место перенос через контрольную поверхность и вещества, и энергии, а в закрытых системах имеет место только перенос энергии. Как видим, перенос энергии имеет место в обоих случаях, а этот критерий в энергодинамике основной.

### Классификация систем по другим признакам

1. Все физические системы можно классифицировать также по признаку количества форм движения, в которых учитывается дисбаланс энергообмена. 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 физического поля. Хотя независимых от физических полей систем, в принципе, нет, так как **нет частиц, 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 предлагает классифицировать физические системы по признаку участия или неучастия внутренней энергии системы в процессе энергообмена внутри системы. По этому признаку физические системы могут быть **активными** и **пассивными**. В активных системах имеет место энергообмен между внутренней энергией и энергиями существующих в системе 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.

### **Переход видов энергии друг в друга в разных системах**

С точки зрения распределения видов энергии (потенциальной, кинетической и диссипации) следует иметь в виду следующее:

**А. В непроточных системах** в процессе энергообмена через контрольную поверхность потенциальная энергия преобразуется в кинетическую с целью переноса энергии и вещества либо вовнутрь системы, либо из нее. В дальнейшем кинетическая энергия



преобразуется в приращение потенциальной энергии системы по мере выравнивания плотности энергии и вещества по всей системе (до равновесного состояния). Переходный процесс перехода кинетической энергии в потенциальную в непроточных 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 энергии и вещества через их контрольную поверхность** в исследуемую систему. **Эти системы никогда не находятся в равновесном состоянии**, поскольку являются активными по классификации Б.Доброборского. Они постоянно обмениваются энергией и веществом с исследуемой физической системой, а внутри них постоянно происходит перенос энергии в энергию диссипации.

**С. Проточные системы** при стационарном (не меняющемся во времени) процессе переноса энергии и вещества отличаются отсутствием накопления или сброса потенциальной энергии, они в таком режиме только **переносят энергию и вещество через себя**. На входе в проточную систему в приграничной области потенциальная энергия системы-источника преобразуется в кинетическую, а на выходе происходит обратное преобразование. При переносе энергии через проточную систему часть кинетической энергии переходит в энергию диссипации и увеличивает количество тепловой энергии системы. Последняя может сбрасываться в окружающую среду через границы со средой.

Точное определение вида системы, количества рассматриваемых в системе форм движения и влияющих на систему физических полей должно помочь безошибочно составить уравнение состояния системы и уравнение динамики, не упустив никаких факторов и не вводя необоснованные усложнения.

Практические примеры различных физических систем приводятся в следующем разделе.

### 4.3. Формы движения в различных физических системах

#### Взаимосвязь физической системы с окружающей средой и соседними системами

Рассмотрим схему классификации физических систем, на которой стрелками показано направление потоков энергии (направление энергообмена).



#### Пояснения к схеме

Энергообмен физической системы с окружающей средой и соседними системами может происходить только через контрольную поверхность системы, обозначенную на схеме жирными линиями. И этот энергообмен следует рассматривать по каждому участку контрольной поверхности в отдельности.

Кроме того, энергообмен следует рассматривать и по каждой форме движения, имеющейся в системе, также в отдельности, так как одна и та же система может поглощать энергию одной формы движения и одновременно с этим отдавать энергию другой формы движения. Например, электродвигатель поглощает энергию электрической формы движения и отдает энергию механической вращательной формы

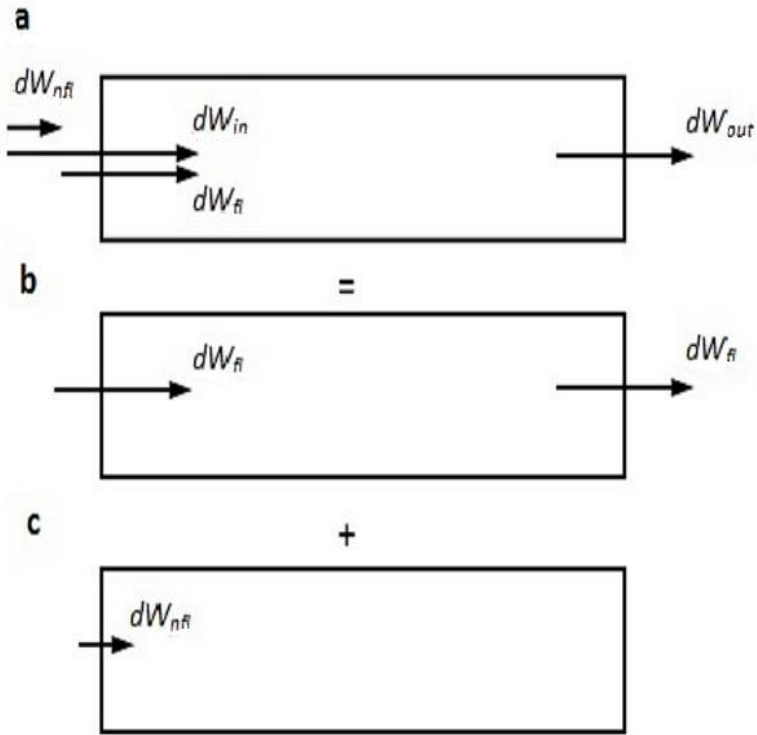
движения при том, что перенос энергии из электрической в механическую форму движения происходит внутри самой системы.

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 материальных носителей энергии с тепловой формой движения диссипации неупорядоченного движения материальных носителей. В упорядоченной тепловой форме движения, как и в любых других формах движения, энергия может как поглощаться системой, так и отдаваться ею, тогда как **тепловая форма движения диссипации только поглощает энергию других форм движения системы. Она может обмениваться тепловой энергией только с окружающей средой.**

Контрольная поверхность реальной физической системы в ортогональной системе координат имеет три линейных измерения. Однако любой поток энергии можно разложить на три составляющие по осям координат, и все эти составляющие потом просуммировать. С точки зрения вида записи и размерностей величин все три определяющие уравнения будут совершенно аналогичны, поэтому для целей систематизации физических величин достаточно рассматривать потоки энергии в одной плоскости.

### **Деление физических систем на проточные и непроточные**

Рассмотрим физическую систему, не обменивающуюся энергией с окружающей средой. Подразумевается также, что нет энергообмена между внутренней энергией системы и энергией любой формы движения.



Рассмотрим для упрощения систему, в которой изучается только одна форма движения (см. рис. а). Энергетическое воздействие  $dW_{in}$  на входе в систему в общем случае не равно энергетическому воздействию  $dW_{out}$  на выходе из системы. Пусть для определенности  $dW_{in} > dW_{out}$ , хотя это принципиальной роли не играет.

Теперь разделим мысленно рассматриваемую систему на две части. Первую часть назовем **проточной** системой, у нее на входе и на выходе значения энергообмена  $dW_{fl}$  равны (см. рис. б). Нижний индекс "fl" происходит от английского слова flowing – проточный. Для проточной системы  $dW_{in}=dW_{out}=dW_{fl}$ .

На рис. с показана система, названная **непроточной** (нижний индекс "nfl" происходит от английского слова non-flowing, соответствующего

русскому слову непроточный). Она соответствует  $dW_{in}=dW_{нп}$  и  $dW_{out} = 0$ . Непроточная система граничит только с окружающей средой или с системой-источником. Энергия может либо вводиться в непроточную систему ( $dW_{in} = dW_{нп}$ ), либо выводиться из нее ( $dW_{out}=-dW_{нп}$ ), других вариантов нет.

Тогда систему, изображенную на рис. а, будем называть **комплексной системой**. Таким образом, любую комплексную систему можно рассматривать, как состоящую из двух систем: из проточной и непроточной. В комплексной системе  $dW_{in}$  можно представить в виде суммы двух слагаемых:  $dW_{in}=dW_{п}+dW_{нп}$ . А  $dW_{out}=dW_{п}$ .

На практике в большинстве технологических производств используются проточные системы. А процесс перемещения энергии и вещества через проточную систему называют технологическим процессом.

Необходимость разделения комплексных систем на непроточные и проточные вытекает из того, что для физических величин, характеризующих эти два вида систем, различны и определяющие уравнения, и уравнения состояния, и размерности, и единицы. В этом можно будет убедиться, посмотрев Таблицы физических величин и раздел, посвященный подробному 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 исследуют системы с какой-либо одной преобладающей формой движения.

### **Перенос энергии и вещества в проточных и непроточных системах**

Процесс переноса энергии и вещества в проточных системах отличается тем, что он происходит постоянно. Приращение координаты состояния на входе в систему ( $+dq_{in}$ ) в проточной системе всегда равно убыли координаты состояния на выходе из системы ( $-dq_{out}$ ). Следовательно, суммарное приращение количества координаты состояния в проточной системе равно нулю ( $dq_{\Sigma} = 0$ ), и значение количества координаты состояния системы постоянно ( $q_{\Sigma} = \text{const}$ ). Поэтому жесткость проточной системы  $D$  (или ее ёмкость  $C$ ) не оказывают влияния на процесс переноса энергии через

проточную систему. Иными словами, противодействие жесткости  $U_D$  в проточной системе отсутствует.

Процесс переноса энергии в проточных системах, при котором значение потока энергии не изменяется со временем, будем называть **равновесным**. Соответственно, процесс переноса энергии, при котором значение потока энергии со временем изменяется, будем называть **неравновесным**.

Несмотря на постоянное движение материальных носителей энергии через проточную систему, при равновесном процессе локальное значение координаты состояния в любой точке проточной системы неизменно. Вдоль системы уменьшается лишь значение той части энергии системы-источника, которая переходит в тепловую энергию внутри проточной системы вследствие противодействия диссипативного сопротивления  $U_R$ . Механизм этого перехода объяснен в разделе, посвященном переносу энергии в проточной системе. Даже в случае равновесного процесса переноса энергии через систему противодействие диссипативного сопротивления  $U_R$  является основным интересующим фактором.

В непроточных системах энергообмен  $dW_{nl} \neq 0$ . Поэтому и количество координаты состояния непроточной системы  $q_\Sigma$  изменяется до тех пор, пока  $dW_{nl}$  не станет равным 0. Этот процесс изменения количества координаты состояния называется **переходным процессом**, в течение которого  $dq_\Sigma/dt \neq 0$ .

### **Примеры процессов переноса энергии в проточных системах**

Приведем четыре примера процессов переноса энергии в открытых проточных системах.

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



#### 4.4. Примеры классификации физических систем

##### Примеры системы-источника и системы-стока

Примером системы-источника для упорядоченной тепловой формы движения является топка тепловой электростанции, внутри которой химическая энергия топлива постоянно переходит в тепловую энергию водяного пара.

Примером системы-стока для гидравлической формы течения является мировой океан, обладающий практически неограниченной емкостью для этой формы движения. Теоретически и ту, и другую системы можно считать **функционирующими как угодно долго.**

##### Пример электрической непроточной, проточной и комплексной системы

Представим себе два разных участка электрической цепи постоянного тока, имеющие омическое сопротивление. В первый (непроточный) участок цепи включена последовательно ёмкость, второй (проточный) участок ёмкости не имеет.

Внутри любого проводника изначально имеется какое-то количество заряда  $q$  (количество свободных электронов). Если изменить разность потенциалов на зажимах непроточного участка цепи (с ёмкостью), то на обкладках конденсатора изменится количество электрического заряда  $q$ . Но оно будет меняться только во время переходного процесса, то есть, пока меняется разность потенциалов. В **этот чрезвычайно короткий промежуток времени по непроточному участку течет ток (ток зарядки или разрядки конденсатора)  $I$** , который приводит к изменению количества заряда на обкладках  $dq/dt$ . Пока разность потенциалов неизменна, ток  $I=0$ .

Если разность потенциалов на клеммах проточного участка (без ёмкости) существует и ее значение неизменно, то через этот участок ток течет постоянно. Но количество электронов проводимости внутри проводника при течении электронов остается постоянным. Оно не зависит от того, какое значение тока в проводнике. Сколько электронов проводимости входит на входную клемму, столько же выходит с выходной клеммы.



Как же возникает ток на проточном участке, если в нем количество электронов  $q = \text{const}$ ? Электроны проводимости, входящие в проводник, перемещаются по нему со скоростью  $v = dl/dt$ . Таким образом, в проводнике длиной  $l$  существует движущийся заряд  $q_l = qv$ . А на участке элементарной длины  $dl$  с элементарным количеством заряда  $dq$  существует элементарный движущийся заряд  $dq_l = dqv = dq(dl/dt)$ , который мы называем **перемещаемым зарядом**. **Отношение перемещаемого заряда к длине проводника и является током в проводнике**

$$I = q/l = dq/dl.$$

Более подобно это разъясняется в разделе, посвященном **перемещаемой координате состояния**. Заметим, что движущийся заряд  $q_l$  – совсем не то же самое, что количество заряда в системе  $q$ . Движущийся заряд – это **координата процесса** в системе, а **не координата состояния системы**.

А теперь представим себе, что участки с ёмкостью и без нее подключены параллельно друг другу. Такая система состоит как бы из двух частей: непроточной и проточной. Она и является **комплексной системой**. При постоянном значении разности потенциалов на общих клеммах участок без ёмкости работает, как проточная часть комплексной системы. При изменении разности потенциалов по проводнику с ёмкостью на короткое время пойдет дополнительный ток, меняя заряд на обкладках конденсатора. Именно 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.

### **Примеры проточных гидравлических и тепловых систем**

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 материальных носителей, а существует лишь перенос энергии (это, к примеру, **теплопроводящая стенка**). При отсутствии теплопередачи **резльтирующий вектор импульса движения молекул**, из которых состоит тело стенки, при беспорядочных тепловых колебаниях молекул **равен нулю**. При возникновении температурного напора по обе стороны стенки результирующий вектор импульса движения молекул приобретает отличное от нуля направление от горячей поверхности стенки к ее холодной поверхности, значения колебательных скоростей молекул уменьшаются в этом направлении, что и является свидетельством переноса кинетической энергии. 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).

### **Примеры физических систем в разных формах движения**

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 окружности	проточная	с одной формой	независимая с одним полем
Движение по криволинейной траектории	непроточная	с двумя формами	независимая с одним полем
Вращение тела вокруг своей оси	проточная	с одной формой	независимая с одним полем
	непроточная	с одной формой	с одним полем

Упругая деформация твёрдого тела	непроточная непроточная	формой с одной	с двумя полями
Движение жидкости в закрытом канале	комплексная комплексная	формой с двумя	с одним полем
Движение электропроводящей жидкости	непроточная проточная непроточная	формами с одной формой	независимая независимая с одним
Движение жидкости в открытом канале	проточная проточная	с одной формой	полем независимая
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 с одной	
Перемагничивание магнитной цепи		формой	

## 4.5. Виды движения и формы движения в механике

### Современная классификация 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 прямолинейно 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**. При этом конечное угловое перемещение  $\varphi$  в современной механике считается скалярной безразмерной величиной. Покажем, что эта классификация видов механического движения нуждается в пересмотре.

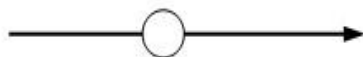
Эта классификация не дает возможности систематизировать физические величины в механике хотя бы потому, что поступательное движение тела на самом деле не является простейшим видом движения. Ведь оно допускает движение тела по криволинейной траектории, при котором центр масс тела движется по соприкасающейся с траекторией движения окружности, при этом радиус этой окружности совершает вращательное движение относительно ее центра с определенной угловой скоростью. Одновременно с этим поступательно движущееся тело, чтобы сохранить параллельность прямой линии самой себе, вынуждено поворачиваться вокруг своей собственной оси, проходящей через центр масс тела, с той же самой угловой скоростью, только противоположного знака.

### **Новая классификация форм механического движения**

При рассмотрении любого движения (в том числе, механического) в основу классификации видов движений должны быть положены свойства выбранных координат состояния форм движения. Поэтому форм механического движения должно быть тоже три, но они другие (см. рисунок):

### 1. Прямолинейная форма движения

Прямолинейное (линейное) перемещение  $d\mathbf{l}$



Модуль линейного перемещения  $d\mathbf{l}$



### 2. Вращательная форма движения

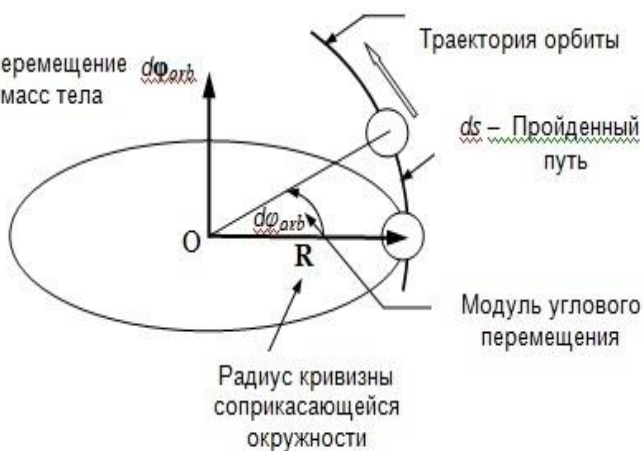
Угол поворота  
тела  $d\varphi_{rot}$



Модуль угла  
поворота тела

### 3. Орбитальная форма движения

Угловое перемещение  
центра масс тела  $d\varphi_{orb}$



Траектория орбиты

$ds$  – Пройденный  
путь

Модуль углового  
перемещения

Радиус кривизны  
соприкасающейся  
окружности

**1. Прямолинейная форма движения** тела, координатой состояния которой является **линейное перемещение** центра масс тела  $dL$ . Прямолинейная форма движения тела – это предельный случай вращательной формы движения при кривизне траектории, стремящейся к нулю.

Можно, конечно, создать экспериментально с высокой степенью точности прямолинейное движение, можно найти и в природе примеры движения, очень близкого к прямолинейному. Но природа к этому не стремится, скорее наоборот.

**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 говорить следует 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.

## **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, если его не конкретизировать.

Для описания движения, при котором тело вращается вокруг условно неподвижной оси термин «перемещение» не приемлем. **Ведь согласно лексическим нормам языка слово «перемещение» означает смену места.** А при вращении тело не меняет место относительно оси вращения, меняют место его частицы тела, которые движутся по круговым орбитам. Таким образом, угловое перемещение относится к частицам вращающегося тела, а не к нему самому.

К тому же, при движении периферийных частиц вращающегося тела нас обычно интересует не их перемещение, как векторная величина, а путь, пройденный этими частицами. От размера этого пути зависят диссипативные потери энергии при вращении тела во вязкой среде. Так что вращение тела как целого вокруг своей оси должно быть охарактеризовано только **углом поворота**. Об угловом перемещении может идти речь только тогда, когда рассматривается движение частицы тела, не находящейся на оси вращения тела.

О неустановившейся терминологии в этом вопросе свидетельствует и такая цитата из Интернет-энциклопедии Википедия: *“В физике нередко поворотом называется неполное вращение, или, наоборот, вращение рассматривается как частный вид поворота. Последнее определение более строго, поскольку понятие поворот охватывает значительно более широкую категорию движений, в том числе и такое, при котором траектория движущегося тела в избранной системе отсчёта представляет собой незамкнутую кривую.”*

Главный вывод из вышесказанного: угол поворота и угловое перемещение характеризуют разные формы движения – вращение тела в целом и движение тела по криволинейной орбите, при котором само тело может 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. Рационально различать их нижними индексами. 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“, что, в принципе, неверно.

Анализ вращательного движения, чему посвящен отдельный раздел работы, показывает, что угол поворота и угловое перемещение являются размерными величинами. Конечно, это обстоятельство не изменяет ни одного практического результата, но, тем не менее, оно приводит к необходимости пересмотра ряда фундаментальных положений методологии и метрологии современной механики.

Принципиальное различие между углом поворота  $d\varphi_{rot}$  и угловым перемещением  $d\varphi_{orb}$  можно проиллюстрировать на примере различия между угловой скоростью собственного вращения тела  $\omega_{rot} = d\varphi_{rot}/dt$  и угловой скоростью вращения радиуса кривизны траектории центра масс тела  $\omega_{orb} = d\varphi_{orb}/dt$ . Угловые скорости собственного вращения планет солнечной системы  $\omega_{rot}$  существенно отличаются от угловых скоростей движения центров масс планет вокруг Солнца  $\omega_{orb}$ . Более того, угловая скорость  $\omega_{rot}$  любой планеты постоянна, а угловая скорость  $\omega_{orb}$  той же планеты при ее движении вокруг Солнца по эллиптической орбите переменна в пределах каждого орбитального цикла.

### **Основные характеристики форм движения**

Для количественной оценки смены места тела при орбитальном и вращательном движениях применяют два понятия: “путь“ и “перемещение“. 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.

Для точного определения понятия “перемещение” проанализировано 6 авторитетных первоисточников, и во всех шести текстах определения отличаются друг от друга. В четырех из них речь идет о движении материальной точки, а не тела. Наиболее четко выглядит определение из словаря Глоссарий.ру: *“Перемещение – векторная величина, равная радиусу-вектору, проведенному от начальной точки траектории к ее конечной точке”*. В Интернет-энциклопедии Википедия о движении тела говорится так: *“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:

$$\mathbf{r}_{12} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = \mathbf{r}(t_2) - \mathbf{r}(t_1). \quad (1)$$

В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) дается определение перемещения, аналогичное вышеприведенному, но речь идет только об элементарном перемещении  $d\mathbf{r}$ , для которого определяющее уравнение не приводится. В популярном учебнике по физике И.Савельева (2005) приводится такое определение: *“Перемещение – это прямолинейный отрезок, проведенный из одной точки траектории в другую”*. На деле то, что сейчас понимается под перемещением при орбитальном движении, является хордой, стягивающей дугу криволинейной траектории. Такое смешение понятий оказалось возможным потому, что **орбитальное движение в современной механике не выделено в качестве самостоятельной формы движения.**

Указанные определения перемещения относятся к движению по криволинейной траектории, поэтому часто применяемый в механике термин “линейное движение” неопределенно. В механике под линейным движением чаще всего понимают прямолинейное движение.

Но на деле прямолинейное движение является частным случаем криволинейного движения, при котором значения пути и модуля перемещения совпадают. Подобное уточнение следовало бы внести в стандарты и в учебники. Что касается вращательного движения, то оно относится только к **конденсированной среде (телу, вихрю)**. К любой частице вращающегося тела это понятие не относится, в этом случае уместно говорить о движении частицы по круговой орбите.

Мы полагаем, что для элементарного перемещения  $d\mathbf{r}$  уравнение, связывающее его с угловым перемещением  $d\varphi_{orb}$ , существует в таком виде:

$$d\mathbf{r}=[d\varphi_{orb}\mathbf{R}]. \quad (2)$$

**Пройденный** по криволинейной траектории элементарный **путь**  $ds$  приближенно является произведением модулей элементарного углового перемещения радиуса кривизны траектории и самого радиуса кривизны (несколько больше модуля перемещения). Перемещение  $d\mathbf{r}$  совпадает с пройденным путем  $ds$  только при прямолинейном движении.

Как видим, **виды механического движения** 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**. Новая классификация по формам движения позволяет это сделать. Именно новая классификация форм движения выявила необходимость считать **угол поворота** основной физической величиной, имеющей свою размерность. 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.

**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 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 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 причине, что они не складываются по правилу параллелограмма, то есть не подчиняются закону коммутативности. **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 составляются 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.

#### **Уточненные определения координат состояния форм механического движения**

На основании материала, изложенного в разделах работы, 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 и единица углового перемещения точки равны размерности и единице 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 и единица углового перемещения равна размерности и единице угла поворота тела.

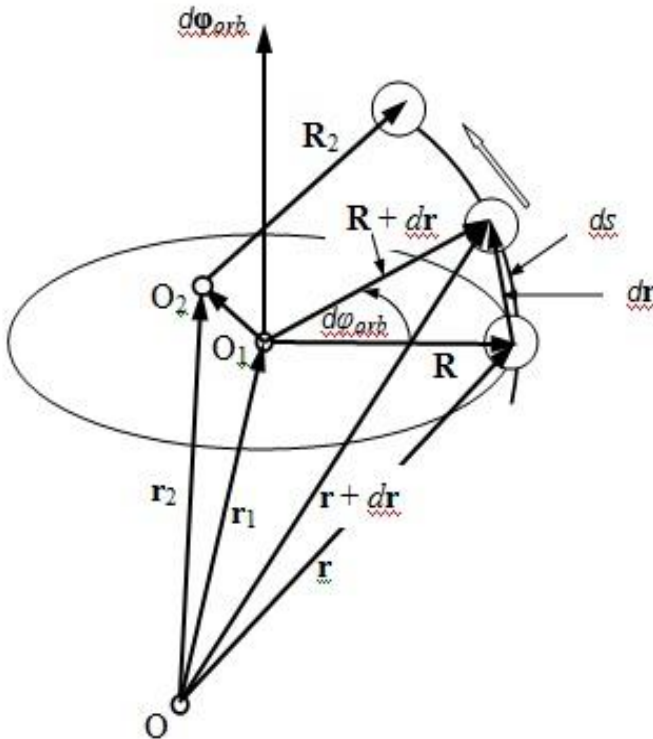
**Орбитальное перемещение центра вращения тела, движущегося по криволинейной орбите,** – это *“путь, пройденный центром вращения тела по этой орбите”*. Размерность пути равна размерности длины.

**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

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_1 + \mathbf{R}, \quad (3)$$

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 орбиты не плоская, а пространствен

ная. 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

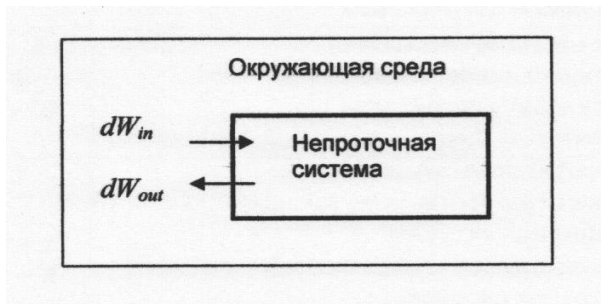
$$s = \int_{R_1}^{R_2} R d\varphi_{orb}. \quad (5)$$

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  $\varphi_{orb}$  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.

## 4.6. Особенности непроточных физических систем



На рисунке представлена модель физической непроточной системы, в которой для упрощения имеется только одна  $i$ -ая форма

движения. Повторим вкратце основные сведения об энергетическом воздействии и о динамическом воздействии на систему.

Через один и тот же участок контрольной поверхности физической системы в течение элементарного промежутка времени входит элементарное количество энергии  $dW_{in}$  и/или выходит элементарное количество энергии  $dW_{out}$ . Участок контрольной поверхности, через который происходит перенос энергии, может быть частью контрольной поверхности или ею всей. Энергообмен может осуществляться как с окружающей средой, так и с соседней физической системой.

### Энергетическое и динамическое воздействия на непроточную систему

Энергетическим воздействием на физическую систему называется дисбаланс входа и выхода энергии. Если  $dW_{in}=dW_{out}$ , то энергетическое воздействие  $dW_i = 0$ . Энергетическое воздействие, не равное нулю, появляется при наличии дисбаланса энергообмена с окружающей средой, то есть при  $dW_{in} \neq dW_{out}$ .

Энергия может добавляться к физической системе или выводиться из нее, но направлено энергетическое воздействие всегда на систему, потому что оно всегда внешнее по отношению к системе. Изменяется только знак энергетического воздействия. При  $dW_i > 0$  энергия поступает из системы-источника, а при  $dW_i < 0$  – в систему-сток.

Динамическое воздействие является переменной конечной векторной физической величиной и определяется с помощью главного



определяющего

уравнения

$$\mathbf{U}_i = (\partial W / \partial q_i) \mathbf{e}_{dW}, \quad (1)$$

в котором  $\mathbf{e}_{dW}$  является ортом энергетического воздействия. Приращение координаты состояния физической системы  $i$ -ой формы движения  $dq_i$  является скалярной величиной.

### **Равновесное и неравновесное состояния физической непроточной системы**

При  $dW_i = 0$   $i$ -ая форма движения системы находится в **равновесном состоянии**, при котором  $dq_i = 0$ , а  $q_i = \text{const}$ .

Локальные значения координаты состояния  $q_i$  во всех точках физической непроточной системы при равновесном состоянии одинаковы. Например, если система представляет собой газообразное тело, то объём газа в системе при равновесном состоянии неизменен, давление во всех точках системы одинаково, перепад давлений между системой и средой отсутствует. Если система – уединенный заряженный проводник, то количество электрического заряда в нем неизменно, электрический потенциал всюду одинаков, разность потенциалов между системой и средой отсутствует. Количество электрического заряда соответствует электрической ёмкости проводника.

Энергетическое воздействие  $dW_i \neq 0$  на физическую систему приводит к приращению координаты состояния  $dq_i$ . В течение какого-то промежутка времени система находится в **неравновесном состоянии**, в течение этого промежутка времени динамическое воздействие  $\mathbf{U}_i$  на физическую систему стремится изменить значение координаты состояния  $q_i$ . После истечения этого промежутка времени  $i$ -ая форма движения системы возвращается к **равновесному состоянию**, но уже при новом значении  $q_i$ . Этот процесс подробно рассмотрен в разделе, посвященном **переходному процессу** в физической непроточной системе.

В начале переходного процесса имеет место **всплеск значения динамического воздействия**  $\mathbf{U}_i$  на физическую систему. К концу переходного процесса значение динамического воздействия  $\mathbf{U}_i$  возвращается к нулю, но координата состояния  $q_i$  принимает значение, равное  $q_i \pm \Delta q_i$ . Скорость изменения координаты состояния при

переходном процессе  $dq/dt$  является величиной скалярной.

Процесс переноса координаты состояния через контрольную поверхность физической непроточной системы в течение переходного процесса описан в разделе, посвященном перемещаемой координате  $dq$ , являющейся величиной векторной. Знак перемещаемой координаты зависит от того, куда она направлена: внутрь системы или наружу.

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.

### **Примеры физических непроточных систем**

1. В аэродинамической форме движения возникновение энергетического воздействия приводит к появлению перепада давлений  $\Delta p$  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  $\Delta V$ .

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. Пусть мы имеем 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 выражается через обмен 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 и к изменению объема жидкости в сосудах.

### **Некоторые частные случаи**

Если вдоль контрольной поверхности баланс энергообмена неодинаков, то перенос 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 энергии в направлении от большего значения координаты состояния к меньшему.

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 энергии 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 внутри системы неравномерно, но ее локальные значения постоянны во времени.

## **4.7. Переходный процесс в непроточной системе**

Рассмотрим часть уравнения переходного процесса, называемую уравнением динамики физической системы:

$$D\Delta q + Rdq/dt + Id^2q/dt^2 = U_D + U_R + U_I = -U, \quad (1)$$

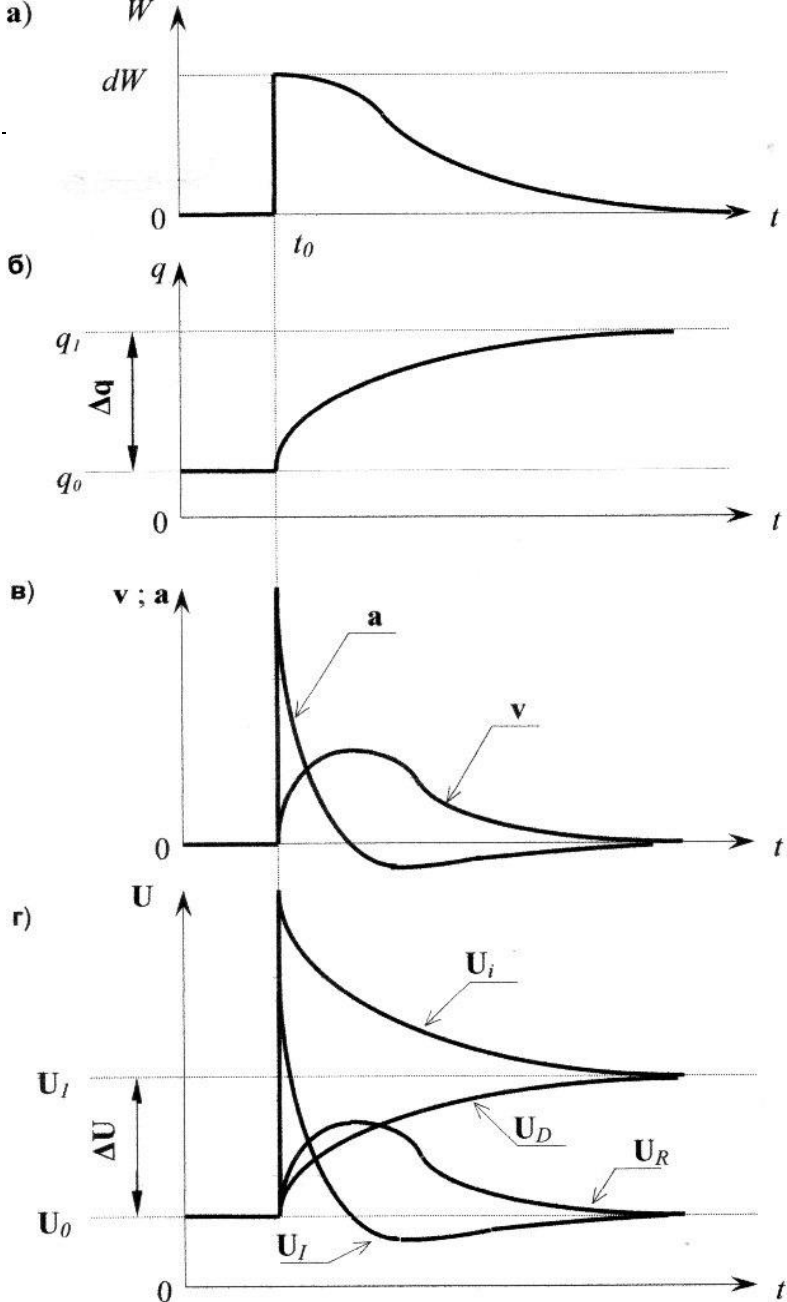
где U – динамическое воздействие на физическую систему. Противовоздействия физической системы определяются в этом уравнении по формулам:

$$\mathbf{U}_D = D\Delta\mathbf{q} = \Delta\mathbf{q}/C, \quad (2)$$

$$\mathbf{U}_R = R\mathbf{v}, \quad (3)$$

$$\mathbf{U}_I = I\mathbf{a}, \quad (4)$$

где  $D$  – жесткость системы ( $C$  – ёмкость системы),  $R$  – диссипативное сопротивление системы,  $I$  – инертность системы. Уравнение (1) характеризует поведение непроточной системы при нарушении равновесного состояния. При этом соблюдается принцип направленности, согласно которому приращение координаты состояния системы  $\Delta\mathbf{q}$  и приращение динамического воздействия  $\mathbf{U}$  на систему являются векторными величинами. Ниже показаны графики изменения характеристик физической непроточной системы в течение переходного процесса для  $i$ -ой формы движения системы.



Предположим, что при  $t < t_0$  дисбаланс энергообмена между средой и системой отсутствует, то есть энергетическое воздействие на систему  $dW = 0$  (см. рис. а), и система находится в равновесном состоянии при

значении координаты состояния системы  $q=q_0$  (см. рис. б).

Пусть в какой-то момент времени  $t_0$  (см. рис. а) дисбаланс энергообмена изменится скачком до значения  $dW$ . **Такого типа скачкообразную функцию широко применяют для исследования поведения моделей систем в динамике, ее называют единичной функцией Хевисайда.** Она позволяет определить и наглядно показать динамические свойства системы.

При  $t > t_0$  система выходит из равновесного состояния, и значение координаты состояния системы  $q$  (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. В течение этого же периода (см. рис. а) значение энергетического воздействия  $dW$  (дисбаланс энергообмена) будет плавно падать и дойдет до 0.

Соотношение между слагаемыми уравнения (1) меняется в течение переходного процесса. В начале переходного процесса в момент времени  $t = t_0$  ускорение приращения координаты состояния  $\mathbf{a} = d\mathbf{v}/dt$  (см. рис. в) возрастает скачком до очень большого значения, а затем начинает плавно снижаться. Само же приращение  $\Delta\mathbf{q}$  и скорость его изменения  $\mathbf{v} = d\mathbf{q}/dt$  в начальный период переходного процесса еще достаточно малы.

### **Характер зависимостей противодействий системы от времени**

Как видно из рис. в, при переходном процессе имеет место всплеск значения скорости  $\mathbf{v}$ , но не такой резкий, как всплеск значения ускорения  $\mathbf{a}$ . Интенсивности всплесков скорости и ускорения зависят от значения сопротивления  $R$  и инертности  $I$  непроточной системы. Значение ускорения  $\mathbf{a}$  в начальный период переходного процесса очень велико, но оно быстро уменьшается и переходит через нулевое значение при максимальном значении скорости  $\mathbf{v}$ . Дальнейшее поведение функции  $\mathbf{a}(t)$  **зависит от соотношения жесткости и инертности системы**. На рис. в показана аperiодическая функция  $\mathbf{a}(t)$ , когда значение ускорения  $\mathbf{a}$  из области отрицательных значений плавно приближается к нулю. При высоких значениях жесткости и малых значениях инертности функция  $\mathbf{a}(t)$  приобретает вид графика затухающих гармонических колебаний.

Графики значений противодействия инертности  $U_I$  и диссипативного противодействия  $U_R$  повторяют по своему характеру графики значения ускорение  $a$  и скорости  $v$ , так как при систематизации физических величин значения инертности  $I$  и сопротивления  $R$  условно считаются постоянными. По мере роста приращения координаты состояния  $\Delta q$  все большую роль начинает играть противодействие жесткости  $U_D$ . **К концу переходного процесса скорость  $v$  и ускорение  $a$  обращаются в нуль, процесс приращения координаты состояния прекращается, а итоговое значение суммы противодействий определяется только противодействием жесткости  $U_D$ .**

**Длительность переходного процесса очень 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.

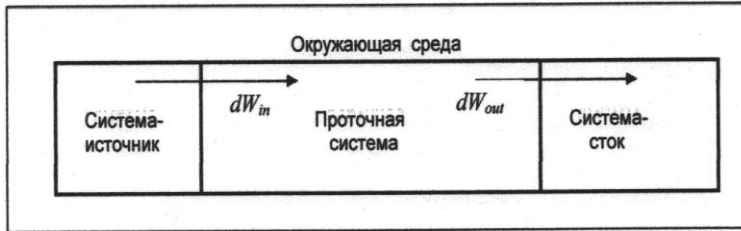
Если внутри физической системы жесткость  $D$  распределена неравномерно, то в системе наступают дополнительные колебания относительно центра равновесия системы, которые при определенных неблагоприятных условиях могут стать незатухающими расходящимися и привести к аварийной ситуации. **Это явление известно, например, в авиации в виде так называемого флаттера крыльев.**

**Примечание к рис. 6.** Вид графика функции  $q = f(t)$  на рис. 6 показывает, что эта функция апериодическая (непериодическая), то есть график асимптотически (плавно) приближается к новому значению  $q_1$ . Возможна и такая ситуация, когда график функции  $q = f(t)$  приблизится к значению  $q_1$  после нескольких колебаний вокруг этого значения. Это зависит от значения параметра  $f_0 = \sqrt{(D/I)}$ , называемого **собственной частотой колебаний.**

## 4.8. Особенности проточных физических систем

В разделе, посвященном классификации физических систем, указано определение проточной системы. **Это система, одна часть контрольной поверхности которых является общей с системой-источником, а другая часть – общей с системой-стоком, в**

результате чего через проточную систему постоянно протекает поток энергии в направлении от системы-источника к системе-стоку. На рисунке она показана схематично.



Предполагается, что дисбаланс энергообмена на границе проточной подсистемы 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.

Процесс переноса энергии через проточную систему имеет место только тогда, если на ее входе существует энергетическое воздействие  $dW_{in}$ , направленное от системы-источника к проточной системе, а на выходе из проточной системы существует энергетическое воздействие  $dW_{out}$ , направленное от проточной системы к системе-стоку. Таким образом, на проточную систему воздействует суммарное энергетическое воздействие  $dW_{\Sigma} = dW_{in} - dW_{out}$ , которое равно энергетическим потерям внутри проточной системы, то есть переходу энергии упорядоченного движения в тепловую энергию неупорядоченного движения.

Если суммарное энергетическое воздействие  $dW_{\Sigma} = 0$ , то перенос энергии через проточную систему отсутствует. Если  $dW_{\Sigma} = \text{const}$ , то перенос энергии через проточную систему является равномерным процессом, а сама проточная система находится в равновесном динамическом состоянии. Подразумевается, что в таком состоянии количество координаты состояния рассматриваемых формы движения внутри проточной системы неизменно, несмотря на наличие переноса этих координат состояния через систему. Например, количество электронов в проводнике, по которому течет



электрический ток, постоянно, если количество вошедших в проводник и вышедших из него электронов одинаково.

Если суммарное энергетическое воздействие  $dW_{\Sigma} \neq \text{const}$ , то перенос энергии через проточную систему является **неравномерным процессом**. Однако это не влияет на неизменность количества координаты состояния внутри проточной системы в каждый момент времени, поскольку **проточная система не обладает ёмкостью для накопления координаты состояния**. Неравновесие проточных систем следует рассматривать как **неравновесие процесса переноса координаты состояния**, а не как неравновесие самой проточной системы. **Изменяется скорость переноса, а не количество координаты состояния в системе.**

Функционирование системы-источника и системы-стока в реальных условиях часто искусственно поддерживают как угодно долго, вследствие чего через проточную систему постоянно переносится поток энергии. Другими словами, в проточной системе постоянно присутствует **процесс переноса энергии (или энергии и вещества)** от системы-источника к системе-стоку, **независимо от равномерности или неравномерности этого процесса**.

Например, в системе "тепловая электростанция" имеется подсистема-источник "тепловой котел", в котором всегда поддерживается избыток тепловой энергии, и подсистема-сток "конденсатор", которая постоянно служит приемником тепловой энергии. А сама тепловая энергия постоянно переносится через турбины.

### **Особенности перехода разных видов энергии друг в друга в проточной системе**

Покажем схематично, как протекает равномерный процесс переноса энергии от системы-источника к системе-стоку.



Как только уровень потенциальной энергии системы-источника  $(W_p)_{in}$  становится больше уровня потенциальной энергии системы-стока  $(W_p)_{out}$ , **возникает процесс переноса энергии через проточную систему**. Чаще всего перенос энергии совпадает с переносом через систему и материальных носителей, переносящих энергию, то есть с **переносом вещества**.

В процессе переноса та часть потенциальной энергии системы-источника  $(dW_p)_{in}$ , которая входит в проточную систему, преобразуется в кинетическую энергию упорядоченных форм движения  $W_k$  внутри проточной системы. На схеме это преобразование имеет вид скачкообразного процесса, в реальности оно происходит постепенно и частично захватывает область перехода от системы-источника к проточной системе. Обратное преобразование кинетической энергии проточной системы в потенциальную энергию системы-стока происходит аналогично, только с другим знаком. **При равномерном процессе переноса энергии** значение кинетической энергии  $W_k$  в каждом сечении внутри проточной системы не меняется.

Переход потенциальной энергии системы-источника в кинетическую энергию на входе в проточную систему и переход кинетической энергии в потенциальную энергию системы-стока на выходе из проточной системы происходит постоянно, пока существует разность

между уровнями потенциальной энергии системы-источника и системы-стока. **Если бы в процессе переноса энергии через проточную систему не было бы диссипации энергии, то уровни энергии в системе-источнике и системе-стоке должны были бы мгновенно выровняться.** В электродинамике такое явление называется коротким замыканием.

Вследствие диссипации энергии внутри проточной системы часть кинетической энергии  $W_k$  упорядоченных форм движения переходит по длине потока в **кинетическую энергию неупорядоченного теплового движения, то есть в энергию диссипации**, обозначаемую символом  $W_R$ , и это повышает температуру **внутри системы**. Кроме того, часть кинетической энергии может быть использована для совершения полезной работы, которая в итоге тоже переходит в тепловую энергию диссипации. В итоге разность между потенциальными энергиями на входе и на выходе из системы составляет **энергию тепловой формы движения диссипации в проточной системе** или  $W_R = (W_p)_{in} - (W_p)_{out}$ .

Переход кинетической энергии  $W_k$  в энергию диссипации  $W_R$  вдоль проточной системы постоянно компенсируется дополнительным переходом потенциальной энергии в кинетическую, в результате чего вдоль системы падает значение потенциальной энергии, а значение кинетической энергии остается неизменным. В качестве примера можно привести поток жидкости в трубе: **вдоль трубы падает статическое давление, а динамическое давление остается неизменным**.

Наличие теплообмена проточной системы с окружающей средой приводит к изменению значения энергии диссипации  $W_R$ , остающейся в проточной системе. Определенная доля тепловой энергии диссипации может перейти из проточной системы в окружающую среду, если температура среды будет ниже температуры проточной системы. Наличие диссипации энергии в проточной системе приводит к тому, что разность уровней потенциальной энергии в системе-источнике и системе-стоке может постепенно снижаться, но на практике разность этих уровней поддерживается искусственно.

### **Обобщение первого закона Ньютона для проточных систем**

При изменениях значений  $(dW_p)_{in}$  и  $(dW_p)_{out}$  поток энергии через проточную систему может ускоряться и замедляться в течение переходного процесса. Поэтому в период переходного процесса

переменной величиной в проточных системах является поток энергии (в закрытых системах) или поток материальных носителей энергии (поток вещества и энергии в открытых системах).

Это позволяет обобщить первый закон динамики Ньютона при рассмотрении проточных систем с помощью такой обобщенной формулировки: *“Физическая проточная система продолжает находиться в состоянии динамического равновесия или в состоянии, когда через неё протекает постоянный по значению поток вещества и/или энергии, пока и поскольку эта система не понуждается изменить это состояние приложенным к ней изменением разности энергетических воздействий на входе в систему и на выходе из системы“.*

#### **4.9. Координата состояния процесса, уравнение состояния процесса и уравнение динамики процесса**

**Координата состояния процесса движения непроточной системы**

Главное определяющее уравнение, определяющее изменение координаты состояния  $q$  в неподвижной непроточной системе, в виде:

$$U=(dW/dq)e_{dW} \quad (1)$$

**неприменимо для описания процесса движения непроточных систем.** Для анализа процесса движения непроточной системы необходимо ввести **векторную координату состояния процесса**, которая определяется уравнением:

$$q_l=(qv), \quad (2)$$

где  $v=(dxn)/dt$  – скорость прямолинейного перемещения  $dx$  координаты состояния  $q$  на расстояние длиной  $l$  (что привело к появлению нижнего индекса  $l$ ), а  $n$  – орт направления перемещения. Поэтому координату состояния процесса  $q_l$  можно назвать также **координатой состояния процесса движения непроточной системы**. Естественно, что в размерность перемещаемой координаты  $q_l$  входит размерность **линейной скорости**. Примерами координаты состояния процесса могут служить движущийся электрический заряд  $(qv)$  и количество

движения в механике ( $m_g \mathbf{v}$ ), где  $m_g$  – гравитационная масса движущегося тела.

### **Координата состояния процесса движения внутри неподвижной проточной системы**

Как показано в разделе, посвященном проточным системам, координата состояния формы движения системы  $q$  не изменяется в процессе переноса энергии и вещества через проточную систему.

Для характеристики процесса движения координаты состояния  $q$  через неподвижную проточную систему следует применять такую форму записи определяющего уравнения для определения координаты состояния процесса, названной нами **перемещаемой координатой**:

$$\mathbf{q}_i = [(dq_n)/dt]l = (i_l), \quad (3)$$

где  $\mathbf{i}$  – поток координаты состояния  $q$  через любое поперечное сечение проточной системы. В электромагнетизме под  $\mathbf{i}$  подразумевают электрический ток, **некорректно считающийся скалярной величиной под названием сила тока**.

### **Уравнение состояния процесса движения внутри проточной системы**

Динамическим воздействием на процесс перемещения координаты состояния внутри неподвижной проточной системы выступает векторная величина, которую обозначим символом  $\mathbf{U}_i$ . Поэтому **главное определяющее уравнение процесса** движения внутри проточной системы записывается так:

$$\mathbf{U}_i = (dW_\Sigma/dq_i)\mathbf{n}, \quad (4)$$

где  $dW_\Sigma$  – суммарное энергетическое воздействие на процесс движения внутри проточной системы. Примерами динамических воздействий на процесс движения  $\mathbf{U}_i$  являются перепад давлений  $\Delta p$  в гидравлической форме движения или разность электрических потенциалов  $\Delta U$  в электрической форме движения.

**Обобщенное уравнение состояния процесса** движения внутри проточной системы можно записать двояко:

$$\mathbf{U}_i dq_i = dW_\Sigma$$

и

$$dW_\Sigma = \mathbf{U}_i dq_i, \quad (5)$$

но вторая форма записи противоречит принципу причинности. После дифференцирования уравнения (5) по времени приходим к уравнению для определения мгновенного значения **потока энергии**  $P$  через проточную систему:

$$\mathbf{U}_i (dq_i/dt) = P. \quad (6)$$

Величина  $dq_i/dt$  является не чем иным, как **скоростью изменения перемещаемой координаты**  $q_i$ .

**Уравнение динамики процесса движения внутри проточной системы**

**Уравнение динамики проточной системы** записывается не так, как в непроточной системе. Аргументом этого уравнения является не координата состояния системы  $q$ , а координата состояния процесса движения  $q_i$ . В этом уравнении отсутствует противодействие жесткости  $U_D$ , так как значение координаты состояния  $q$  в проточной системе не изменяется. Поэтому уравнение динамики проточной системы имеет вид:

$$Rq_i + I(dq_i/dt) + \dots = \mathbf{U}_R + \mathbf{U}_I + \dots = -\mathbf{U}_i. \quad (7)$$

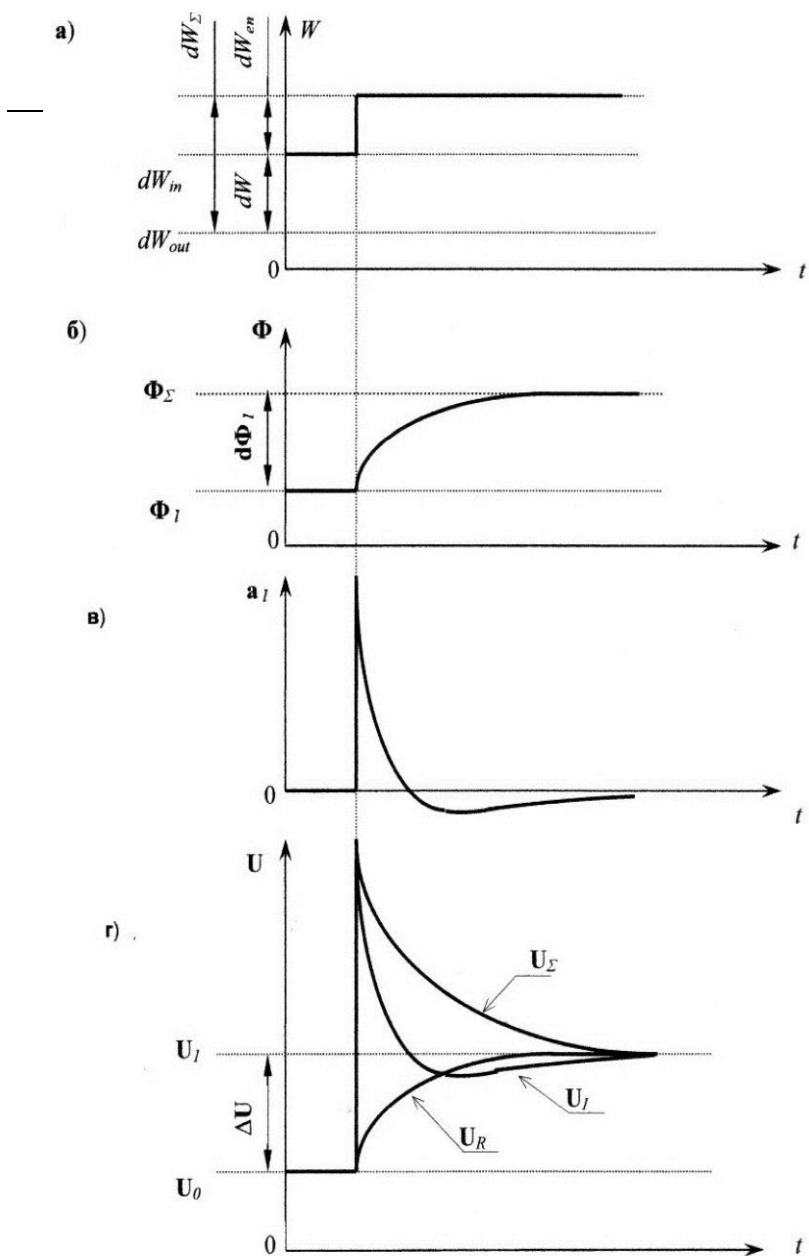
В уравнении (7)  $R$  и  $I$  – такие же сопротивление и инертность, что и в уравнении динамики непроточной системы. Разве что в проточной системе сопротивление  $R$  может включать в себя дополнительно сумму диссипативных сопротивлений тех участков **системы-источника, системы-стока и проточной системы**, которые примыкают к контрольным поверхностям проточной системы.

Что касается производных по времени более высокого порядка, замененных многоточием, то на практике ими обычно пренебрегают.

#### **4.10. Переходный процесс в проточной системе**

**Переходный процесс** в проточной системе происходит после того, как **изменится разность энергетических воздействий**  $dW = dW_{in} - dW_{out}$ , и независимо от того, что именно при этом изменится:  $dW_{in}$  или  $dW_{out}$ . В промежуток времени, когда проходит переходный процесс, **уравнение непрерывности** потока в проточной системе  $i = \int_S \mathbf{j}_i dS = \text{const}$  не соблюдается. Это не означает **разрыв сплошности среды**, а означает **отсутствие постоянства интеграла**.

Схематично изменения величин при переходном процессе в проточной системе показаны на рисунке.



При разности энергетических воздействий  $dW = \text{const}$  процесс переноса энергии через проточную систему равномерный. Допустим, что в



какой-то момент времени возникла скачкообразно дополнительная разность энергетических воздействий, равная  $dW_{en}$  (см. рис. а). Стационарность переноса энергии через проточную систему (то есть, постоянство значения потока энергии через систему) при этом нарушится, и суммарная разность воздействий станет равной  $dW_{\Sigma} = (dW + dW_{en})$ , что и приведет к переходному процессу изменения потока энергии через систему. Переходный процесс протекает до тех пор, пока при новом значении  $dW_{\Sigma}$  не установится новое значение потока координаты состояния  $\Phi_2 = \Phi_1 + d\Phi_1$  (см. рис. б).

Рассмотрим изменение ускорения потока координаты  $a_l = d\Phi/dt$ . Обычно оно асимптотически приближается к нулевому значению. Если же ускорение  $a_l$  приобретает только один знак (все время положительный или все время отрицательный), то речь может идти о двух особых случаях.

**Первый случай** наступает при очень малых значениях сопротивления проточной системы (например, при  $R \rightarrow 0$ ). В этом случае происходит нарастание значения потока 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 (например, 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**.

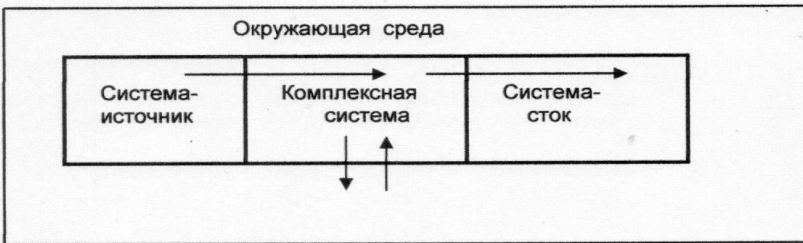
Из сказанного следует, что для нормального протекания технологического процесса **усредненное во времени значение ускорения потока координаты  $a_l$**  должно быть **равно нулю**, что обычно и обеспечивается техническими средствами. По этим же причинам производная по времени от потока координаты (ускорение потока) не может быть использована в качестве аргумента уравнения динамики.

Наконец, следует обратить внимание на то, что на рисунке г отсутствует противодействие жесткости  $U_D$ , что вытекает из **уравнения динамики в проточной системе**.

#### 4.11. Особенности комплексных физических систем

На рисунке показана модель комплексной системы, которая сочетает в себе свойства и проточной, и непроточной систем. Комплексная система как бы состоит из двух компонент: непроточной части и проточной части.

При этом процессы в проточной и непроточной частях комплексной системы можно рассматривать независимо друг от друга. В комплексной системе учитывается дисбаланс энергообмена на всех ее границах, в том числе, и на границе с окружающей средой.



Соответственно, суммарное энергетическое воздействие на комплексную систему  $dW_{\Sigma\Sigma}$  является суммой энергетических воздействий на обе компоненты комплексной системы: энергетического воздействия на непроточную часть  $dW$  и разности энергетических воздействий на проточную часть  $dW_{\Sigma}$ , или

$$dW_{\Sigma\Sigma} = dW + dW_{\Sigma}. \quad (1)$$

В выбранной  $i$ -ой форме движения в комплексной системе могут одновременно протекать два переходных процесса: процесс изменения координаты состояния  $q$  в непроточной части комплексной системы под влиянием динамического воздействия  $U$  и процесс изменения перемещаемой координаты  $q_i$  в проточной части комплексной системы под влиянием разности динамических воздействий  $U_{\Sigma}$ . Поэтому динамическое воздействие на комплексную систему  $U_{\Sigma\Sigma}$  состоит из двух слагаемых:

$$U_{\Sigma\Sigma}=(dW/dq+dW_{\Sigma}/dq_i)e_{dW}. \quad (2)$$

Физическая природа координаты состояния и в непроточной, и в проточной частях комплексной системы, естественно, одна и та же. Поэтому уравнение динамики комплексной системы является суммой уравнений динамики в обеих компонентах системы:

$$D\Delta q+R(v+q_i)+I(dv/dt+dq_i/dt)+\dots=-U_{\Sigma\Sigma}. \quad (3)$$

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 объем 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.

Примером комплексной системы может служить **проводник**, по которому течет электрический ток, если проводник обладает **большой электрической ёмкостью**.

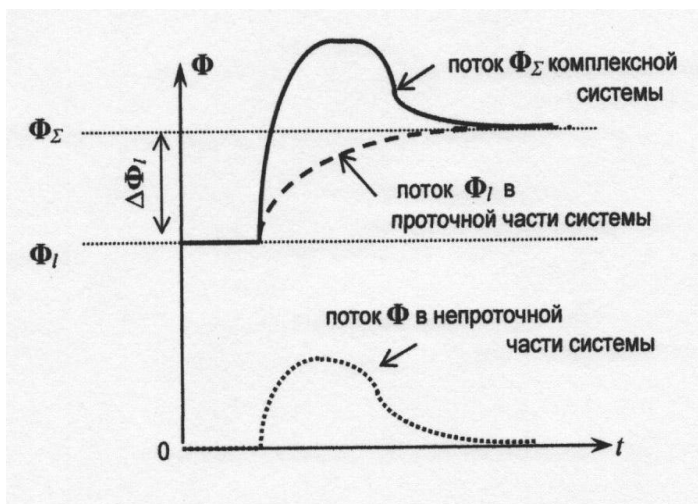
Наконец, комплексными системами являются любые проточные системы, в которых течет **сжимаемая жидкость**. Это и **течение газа в трубе, и распространение звуковых волн** в любой упругой среде, а также **движение теплового заряда** ввиду того, что каждое теплопроводящее тело обладает собственной теплоёмкостью.

Сочетание различных свойств в одной и той же системе приводит к вынужденному расширению объема **таблиц ЭСВ**.

## 4.12. Переходные процессы в комплексной системе

### Графики переходных процессов в комплексной 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 разделе, посвященном переходному процессу в проточной системе.



На рисунке показан процесс приращения суммарного потока координаты состояния  $\Phi_{\Sigma}$  в комплексной системе при переходном процессе. В непроточной части комплексной системы (пунктирная линия) характер приращения потока координаты аналогичен характеру изменения потока координаты в непроточной системе, что поясняется в разделе, посвященном переходному процессу в непроточной системе. А в проточной части комплексной системы (штриховая линия) характер приращения потока координаты аналогичен характеру изменения потока перемещаемой координаты в проточной системе, что поясняется в разделе, посвященном переходному процессу в

проточной

системе.

Из рисунка видно, что при переходном процессе в обеих частях комплексной системы приращения потоков суммируются друг с другом.

### **Примеры переходных процессов в комплексной 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 энергии 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) изменяется поток координаты состояния, то есть изменяется скорость перемещения тела. С другой стороны, приращение потока энергии приводит к приращению силы, действующей на тело, и тогда в непроточной части комплексной системы (в теле, как деформируемой среде) это приращение приводит к дополнительной 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 координаты 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 энергетических воздействий  $\Delta W_{\Sigma}$  по обе стороны проточной части системы и приращение этой разности друг от друга не зависят. Всё зависит от свойств технологического процесса.

### Диссипация энергии в комплексной системе

В итоге в комплексной системе **поток координаты состояния, входящий в систему**, может быть **не равен в течение переходного процесса потоку координаты состояния, выходящему из системы**. Причиной этого является то обстоятельство, что часть входящего в систему потока координаты состояния изменяет суммарное значение координаты состояния в системе.

Суммарный поток заряда диссипации  $\Phi_{R\Sigma}$  в комплексной системе определяется по уравнению

$$\Phi_{R\Sigma} = -U_{R\Sigma}/R, \quad (1)$$

где  $U_{R\Sigma} = U_R + \Delta U_R$  – суммарное диссипативное противодействие;  $U_R$  – диссипативное противодействие проточной части комплексной системы;

$\Delta U_R$  – дополнительное диссипативное противодействие при переходном процессе в непроточной части системы.

Суммарный поток энергии диссипации определяют по уравнению

$$P_{R\Sigma} = U_{R\Sigma} \Phi_{R\Sigma}. \quad (2)$$

## 4.13. КПД процесса в физической системе и уравнение переноса

### Поток энергии диссипации

При исследовании любых физических систем особую роль играет неизбежный перенос энергии из любой формы движения в **энергию тепловой формы движения диссипации**. В непроточных системах он происходит только в **течение переходного процесса**, в проточных системах он происходит **постоянно**. **Физическую величину**, характеризующую процесс переноса энергии в энергию тепловой формы неупорядоченного движения диссипации, назовем **потоком энергии диссипации** и обозначим его символом  $P_R$ .

Поток энергии диссипации  $P_R$  в непроточной системе обычно не подсчитывают ввиду того, что поток координаты состояния, входящий в систему или выходящий из нее имеет место только при переходном

**процессе** изменения координаты состояния, и зависимость потока координаты состояния от времени сугубо **нелинейна**. Расчет же потока энергии диссипации  $P_R$  в проточной системе или в проточной части комплексной системы имеет очень важное значение.

В реальных проточных системах **диссипативное противодействие**  $U_R \neq 0$ . Поэтому внутри проточной системы существует поток энергии диссипации  $P_R$  из упорядоченных форм движения в тепловую неупорядоченную форму движения диссипации, модуль которого  $P_R$ , называемый в физике **мощностью**, равен:

$$P_R = dW_{in}/dt - dW_{out}/dt = P_{in} - P_{out}, \quad (1)$$

где  $P_{in}$  – модуль потока энергии на входе в проточную систему (**входная мощность проточной системы**);  $P_{out}$  – модуль потока энергии на выходе из проточной системы (**выходная мощность проточной системы**).

**Поток энергии диссипации  $P_R$  является важнейшей характеристикой любой проточной системы** (например, линии электропередач или водопроводной трубы).

### **Коэффициент полезного действия процесса в физической системе**

Коэффициент полезного действия  $\eta$  процесса в физической проточной системе (**кпд**) определяют в физике и, особенно, в технике по-разному. Иногда таким образом, что **кпд** становится больше 1.

Мы полагаем, что **кпд** следует определять **только по потоку энергии на входе в систему (по входной мощности системы)  $P_{in}$  и по потоку энергии диссипации  $P_R$** . При этом следует учитывать любые потоки энергии, увеличивающие энергию всех форм движения системы, в том числе, и те, которые возникают вследствие уменьшения энергии связи, сконцентрированной в системе (например, **спонтанный радиоактивный распад**). Исходя из уравнения (1), можно записать **обобщенное уравнение для определения КПД** процессе в проточной системе:

$$\eta = P_R / P_{in}. \quad (2)$$

Впрочем, **кпд** процесса присущ и непроточным системам тоже. Разница в том, что в непроточных системах говорить о **кпд** можно

лишь при переходном процессе, а в проточных диссипация энергии присутствует постоянно.

В метрологическом справочнике А.Чертова кпд определяется, как “*величина, равная отношению энергии, полезно использованной системой, к энергии, полученной системой*“. Поскольку поток энергии  $P=dW/dt$ , то небольшая разница между процитированным определением и уравнением (2) заключается в следующем. Уравнение (2) относится к элементарным приращениям энергии, а процитированное определение – к конечным приращениям.

### **Поток заряда диссипации и обобщенное уравнение переноса**

**Поток энергии диссипации является следствием переноса энергии упорядоченно движущихся материальных носителей в энергию неупорядоченно движущихся материальных носителей.** Этот перенос энергии характеризуется так называемым **потокм заряда диссипации  $\Phi_R$** , являющемся модулем **векторной величины  $\Phi_R$** , пропорциональной **вектору диссипативного противодействия  $U_R$** . Поток заряда диссипации определяется по **обобщенному уравнению переноса:**

$$\Phi_R = -U_R/R, \quad (3)$$

где  $U_R$  – диссипативное противодействие системы. Название величине  $\Phi_R$  было дано А.Вейником. **Поток заряда диссипации  $\Phi_R$**  характеризует скорость переноса энергии из любой формы движения с упорядоченным движением в энергию тепловой формы движения диссипации с неупорядоченным движением. Знак “–“ в уравнении (3) отражает противоположность направлений потока  $\Phi_R$  и диссипативного противодействия  $U_R$ .

Размерность **потока заряда диссипации  $\Phi_R$**  совпадает с размерностью **потока координаты состояния  $\Phi$**  в непроточных системах и **потока координаты состояния  $\Phi_i$**  в проточных системах, но эти три физические величины имеют разные определяющие уравнения и разные значения, хотя у них одна и та же природа. Поток  $\Phi_R$  определяется только **диссипативным сопротивлением  $R$** , а потоки  $\Phi$  и  $\Phi_i$  зависят еще и от значений всех **параметров уравнения динамики** системы. При переходном процессе в проточной системе поток энергии диссипации  $P_R$  получает приращение  $dP_R$ , и новое значение



потока заряда диссипации  $\Phi_R$  рассчитывается уже с учетом нового значения  $P_R$ .

### **Принятая форма записи обобщенного уравнения переноса энергии**

Уравнение (3) является **обобщенным уравнением переноса** энергии из **любой формы движения в тепловую форму движения диссипации**. Но это уравнение в современной физике записывается в другой форме. Противодействие  $U_R$  относят к длине переноса материальных носителей  $l$ , представляя это отношение в виде **градиента противодействия**  $dU_R/dl$ , а также включая в уравнение переноса площадь поперечного сечения  $S$  потока материальных носителей через проточную систему. Тогда обобщенное уравнение переноса (3) приобретает вид:

$$\Phi_R = -k_R(dU_R/dl)S, \quad (5)$$

где коэффициент  $k_R = l/RS$  называется **обобщенным коэффициентом переноса**.

Конкретные значения и размерности коэффициента переноса в различных формах движения в современной физике часто не совпадают с теми значениями и размерностями, которые требует систематизация физических величин. Причины этого несоответствия и примеры уравнений, определяющих коэффициент переноса в различных физических науках, будет рассказано в разделе, посвященном **явлениям переноса**. Чаще всего эти причины имеют историческую подоплеку.

Следует обратить внимание на то, что коэффициент переноса  $k_R$  является удельной физической величиной, на которые условие показателей степеней не распространяется.

## **4.14. Обобщенное уравнение переноса энергии**

### **Поток заряда диссипации и обобщенное уравнение переноса**

Поток энергии диссипации является следствием переноса энергии упорядоченно движущихся материальных носителей в энергию неупорядоченно движущихся материальных носителей. Этот перенос энергии характеризуется так называемым **потоком заряда диссипации**

$\Phi_R$ , являющимся модулем векторной величины  $\Phi_R$ , пропорциональной вектору диссипативного противодействия  $U_R$ . Поток заряда диссипации определяется по **обобщенному уравнению переноса**:

$$\Phi_R = -U_R/R, \quad (1)$$

где  $U_R$  – диссипативное противодействие системы. Название величине  $\Phi_R$  было дано А.Вейником (1968). Поток заряда диссипации  $\Phi_R$  характеризует скорость переноса энергии из любой формы движения с упорядоченным движением в энергию тепловой формы движения диссипации с неупорядоченным движением. Знак “–“ в уравнении (3) отражает противоположность направлений потока  $\Phi_R$  и диссипативного противодействия  $U_R$ .

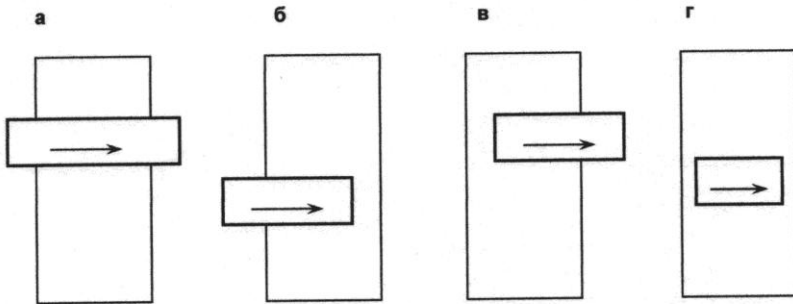
Размерность потока заряда диссипации  $\Phi_R$  совпадает с размерностью потока координаты состояния  $\Phi$  в непроточных системах и потока координаты состояния  $\Phi_I$  в проточных системах, но эти три физические величины имеют разные определяющие уравнения и разные значения, хотя у них одна и та же природа. Поток  $\Phi_R$  определяется только диссипативным сопротивлением  $R$ , а потоки  $\Phi$  и  $\Phi_I$  зависят еще и от значений всех параметров уравнения динамики системы. При переходном процессе в проточной системе поток энергии диссипации  $P_R$  получает приращение  $dP_R$ , и новое значение потока заряда диссипации  $\Phi_R$  рассчитывается уже с учетом нового значения  $P_R$ .

### **Принятая 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 в другой форме. Противодействие  $U_R$  относят к длине переноса материальных носителей  $l$ , представляя это отношение в виде градиента противодействия  $dU_R / dl$ , а также включая в уравнение переноса энергии площадь поперечного сечения  $S$  потока материальных носителей через проточную систему. Тогда обобщенное уравнение переноса (1) приобретает вид:

$$\Phi_R = -k_R(dU_R/dl)S, \quad (2)$$

где коэффициент  $k_R = l / RS$  называется **обобщенным коэффициентом переноса**.



Конкретные значения и размерности обобщенного коэффициента переноса в различных формах движения в современной физике часто не совпадают с теми значениями и размерностями, которые требует систематизация физических величин. Причины этого несоответствия и примеры уравнений, определяющих коэффициент переноса в различных физических науках, рассказано в разделе, посвященном явлениям переноса. Чаще всего эти причины имеют историческую подоплеку.

Следует обратить внимание на то, что коэффициент переноса  $k_R$  является удельной физической величиной, на которые условие показателей степеней не распространяется.

## 4.15. Перемещение и вращение тела, как частные случаи процесса в проточной системе

### Прямолинейное перемещение тела

Ранее мы приводили наглядные примеры непроточных и проточных систем в гидравлических и электрических формах движения. Значительно сложнее проиллюстрировать классификацию физических систем на примерах механических форм движения. Покажем это на примере прямолинейного движения тела.

На рисунке механической системой, изображенной в виде большого прямоугольника, является участок пространства, через которое перемещается тело. Перемещение центра масс тела является перемещаемой координатой состояния механической проточной

системы. Масса проточной системы будет определяться той частью массы тела, которая находится внутри проточной системы (внутри прямоугольного участка), а скорость прямолинейного перемещения тела будет не чем иным, как поток координаты состояния.

На рис. **а** показан тот случай, когда внутри проточной системы находится только часть перемещаемого тела. В этом варианте при перемещении тела через участок масса, входящая в систему слева, такая же, как и та, что выходит справа. Так что мы имеем дело с проточной системой с механической прямолинейной формой движения, в которой количество координаты состояния не изменяется.

На рис. **б** и **в** показаны варианты, когда внутри физической системы находится только часть перемещающегося тела. В этих двух случаях мы имеем дело с комплексной системой и механической прямолинейной формой движения. На рис. **б** окружающая среда слева от системы является системой-источником массы для той части тела, которая находится внутри непроточной части комплексной системы. В этой части системы наблюдается увеличение массы тела, а центр масс той части тела, которая находится внутри комплексной системы, перемещается вправо. Это изменяет количество координаты состояния внутри комплексной системы, так как центр масс этой части тела перемещается вглубь комплексной системы.

На рис. **в** окружающая среда справа от комплексной системы является системой-стоком для проточной части комплексной системы, и в непроточной части комплексной системы наблюдается уменьшение координаты состояния, так как центр масс тела перемещается в сторону выхода из комплексной системы.

Наконец, в случае, показанном на рис. **г**, физическую систему **классифицировать невозможно**. Она находится в равновесии относительно перемещающегося тела, так как 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.

Таким образом, сложность восприятия перемещения тела, как процесса механического прямолинейного перемещения тела, на самом деле чисто психологическая. Причиной этого является то, что физическое содержание проточной механической системы не сразу становится понятным **вследствие выбора центра масс тела в качестве**



воздействию на проточную систему, и тогда через нее будет переноситься поток энергии. Проявится это в том, что каждое сечение вала трансмиссии повернется по сравнению с предыдущим сечением на какой-то угол, пусть даже и незначительный, что равносильно угловому деформированию вала трансмиссии.

Как и в случае с прямолинейной формой движения, в роли перемещаемой координаты состояния после незаметных, на первый взгляд, преобразований обычно выбирается угол поворота. И тогда потоком координаты состояния становится **угловая скорость вала трансмиссии**. На практике же перемещаемой координатой состояния при вращении тела становится угловое перемещение центра масс сектора тела. **И в этом случае физическое содержание часто приносится в жертву мнимой наглядности.**

Оба приведенных примера вовсе не говорят 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.

## 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, 368 с.
3. Гомоюнов К.К., 1983, Совершенствование преподавания технических дисциплин. – Л.: Изд. Ленинградского ун-та, 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. Суrowикина С.А., 1998, Многозначные физические термины. – Омск: Изд. ОмГПУ, 34 с.
6. Суrowикина 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](http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/mnogolikayaentropyja.shtml)
8. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
9. Коган И.Ш., 2003, Пути решения проблемы систематизации физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7073.html>
10. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. Хайфа, 207 с.
11. 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.
12. Кулаков Ю.И., 2004, Теория физических структур. – М.: 2004. 847 с.
13. Эткин В.А., 2008, Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). – СПб.: Наука, 409 с.
14. Бондаренко О.Я., 2003, Картина мира в свете теории единого поля. – Сб. “Другая физика”, <http://www.newphysics.h1.ru>.
15. Пакулин В.Н., 2004. Структура материи. – <http://www.valpak.narod.ru>

16. Пакулин В.Н., 2007, Структура поля и вещества. – СПб, НТФ "Истра".
17. Пакулин В.Н., 2010, Структура материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НТФ "Истра".
18. Репченко О.Н, 2008, Полевая физика или Как устроен мир? Изд. 2-е – М.: Галерея, 320 с.
19. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н., 1995, О терминах “единицы величин“ и “единицы физических величин“. – Законодательная и прикладная метрология, 1, с.с. 21-22.
20. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н., 1996, О необходимости исключения прилагательного “физическая“ из метрологической практики. – Метрология, 4, с.с. 30-43.
21. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н., 1999, О “размерностях” безразмерных единиц. – Законодательная и прикладная метрология, 4, с.с. 48-50.
21. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 5, с.с. 30-43.
22. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
23. 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>
24. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
25. Юдин М.Ф., Селиванов М.Н, Тищенко О.Ф., Скороходов А.И., 1989, Основные термины в области метрологии. – М.: Изд. Стандартов.
26. International Standart ISO 31, “Quantities and Units”, 1992.
27. Власов А.Д., Мурин Б.П., 1990, Единицы физических величин в науке и технике. – М., Энергоатомиздат, 176 с.
27. Чуев А.С., 2007, Система физических величин. Текстовая часть электронного учебного пособия. <http://www.chuev.narod.ru/>
28. 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>
29. Коган И.Ш., 2011a, Основные физические величины назначаются



- или продиктованы природой? – “Законодательная и прикладная метрология, **3**, с.с. 55-56.
30. Коган И.Ш. 2011б, Природа размерности и классификация физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология, **4**, с.с. 40-50.
31. Коган И.Ш. 2011в, Метрологические и терминологические проблемы описания периодических процессов и выбора единиц измерений. – “Мир измерений”, **6**, с.с. 12-18.
32. Широков К.П., 1979, Размерность физических величин и их применение в метрологии. – “Измерительная техника”, **6**, с. 13.
33. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, Изд. Рассвет, 207 с.
34. Коган И.Ш. 2011, Природа размерности и классификация физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология, **4**, с.с. 40-50.
35. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (кн. 4). – М.: АСТ: Астрель
36. Эткин В.А., 2005, Альтернатива “Великому объединению“. – [http://zhurnal.lib.ru/e/etkin\\_w\\_a/oputjahvelikogoobiedinenija.shtml](http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/oputjahvelikogoobiedinenija.shtml).
37. Ермолаев Д.С., 2003, Обобщенные законы физики или физика для начинающих. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4959.html>
38. Коган И.Ш., 1993, Основы техники. Киров, КГПИ, 231 с.
39. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, **5**, с.с. 30-43.
40. Коган И.Ш., 2003, Пути решения проблемы систематизации физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7073.html>
41. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, Изд. Рассвет, 207 с.
42. 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.
43. Окунь Л.Б., 1989, Понятие массы (Масса, энергия, относительность). – М.: ”Успехи физических наук”, т. 158, вып.3, с.с.511-530
44. Эткин В.А., 2005, Альтернатива “Великому объединению“. – [http://zhurnal.lib.ru/e/etkin\\_w\\_a/oputjahvelikogoobiedinenija.shtml](http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/oputjahvelikogoobiedinenija.shtml).
45. ди Бартини, Роберт Орос, 1965, Некоторые соотношения между физическими константами. – Доклады АН СССР, т. 163, № 4.
46. Васильев В.А., 2004, Периодическая система физики и биологическая картина мира.-Десногорск, Изд. ООО "Газета Авоська",

- 140 с.
47. Ерохин В.В., 2008, Абсолютная система физических единиц. – <http://new-idea.kulichki.net/?mode=physics&pn=1>
48. Репченко О.Н., 2008, Полевая физика или Как устроен мир? Изд. 2-е – М.: Галерея, 320 с.
49. Трунов Г.М., 2011, О возможности исключения из физики понятия «инертная масса макроскопического тела». – “Мир измерений”, 1.
50. 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/>
51. Ацюковский В.А., 2006, Всеобщие физические инварианты и предложения по модернизации Международной системы единиц СИ. – “Энергетика Сибири”, 3 (8), с.с. 10-11.
52. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н., 1999, Безразмерные единицы и числа. Измерительная техника, 9, с.с. 3-10.
53. Глушков В.М., 1964, О кибернетике как науке. Кибернетика, мышление, жизнь. – М.: Наука,
54. 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.
55. 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
56. Митрохин А.Н., 2005, Качественная единица как элемент размерностного анализа или к вопросу о размерности “безразмерных” величин. – <http://www.metrob.ru/HTML/stati/kachestv-edinica.html>
57. Трунов Г.М., 2004, К вопросу о равенстве инертной и гравитационной массах макроскопического тела. - Законодательная и прикладная метрология, 2. с.с. 60–61.
58. Эткин В.А., 2003, “Классическая” интерпретация фотоэффекта. - <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5905.html>
59. Эткин В.А., 2005, О законе излучения Планка. - [http://zhurnal.lib.ru/e/etkin\\_w\\_a/ozakoneizluchenijaplanka.shtml](http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/ozakoneizluchenijaplanka.shtml).  
parts per million and parts in  $10^n$ . Metrologia, 35, p.p. 807–810
60. Грин Б., 2005, Элегантная вселенная. – УРСС, 285 с.
61. Хантли Г., 1970, Анализ размерностей. - М.: Мир, 175 с.

Научно-практическое издание

**Кононюк Анатолий Ефимович**

**Обобщенная теория моделирования**

**Книга 3**

**Величины как количественные  
характеристики свойств моделей**

Часть 2

**Физические величины**

(Начало)

Авторская редакция

Подписано в печать 25.11.2012 г.

Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 26,5. Тираж 300 экз.

**Издатель и изготовитель:**

Издательство «Освита Украины»

04214, г. Киев, ул. Героев Днепра, 63, к. 40

Свидетельство о внесении в Государственный реестр  
издателей ДК №1957 от 23.04.2009 г.

E-mail: [osvita2005@ukr.net](mailto:osvita2005@ukr.net), [www.rambook.ru](http://www.rambook.ru)

**Издательство «Освита Украины» приглашает**  
авторов к сотрудничеству по выпуску изданий,  
касающихся вопросов управления, модернизации,  
инновационных процессов, технологий, методических  
и методологических аспектов образования  
и учебного процесса в высших учебных заведениях.