



# Оглавление

<b>Предисловие.</b> Чем эта книга отличается от других .....	6
<b>Лекция первая.</b> Что такое физика, и возможное ее место в твоей жизни .....	8
<b>Лекция вторая.</b> Величины в физике .....	29
<b>Лекция третья.</b> Законы и процессы .....	51
<b>Лекция четвертая.</b> О физике вообще и о некоторых других науках в частности .....	76
<b>Лекция пятая.</b> Кое-что о преподавании .....	109
<b>Лекция шестая.</b> Петр Леонидович Капица .....	141
<b>Лекция седьмая.</b> Гамов: Георгий Антонович, Джордж, «Джо» .....	170
<b>Лекция восьмая.</b> Ричард Фейнман .....	198

# Предисловие. Чем эта книга отличается от других

Первое, что надо понять, стоя у прилавка книжного магазина или находясь на соответствующем сайте, – нужно ли вам читать эту книгу. Ответ зависит от многих факторов (например, стоимости и объема книги, скорости чтения и наличия времени на это), но главный фактор – чем эта книга отличается от других. Хвалебные отзывы, которые иногда помещают на книгах, даже если они и спереди, и сзади, не говорят ни о чем – тем более что вы не знаете, как они получены. Нужна информация по существу. Вот она.

Понимание того, что такое физика (химия, социология, иная наука...), приходит к человеку, когда он уже работает в этой науке, причем не первый год. И не первое десятилетие. А в жизни некоторых людей бывает такой период, когда они фактически выбирают путь. Обычно это старшая школа – середина института (конкретно у меня – от начала 9-го класса до начала 2-го курса). Многим людям было бы полезно иметь в этом периоде некоторое представление о том, куда его толкают или втягивают обстоятельства. А не просто плыть по течению, время от времени вяло шевеля хвостом.

Совершенно не очевидно, что мой рассказ о физике поможет вам иметь такое представление и в итоге улучшить свой выбор. Но можно попытаться. Тем более что мои многочисленные ученики, которым я что-то из всего этого рассказывал, иногда задавали разумные вопросы. Именно разумные вопросы говорят о том, что им было интересно (а вовсе не ритуальное «ой, как интересно»).

Так что, если при прочтении у вас будут возникать вопросы – это о чем-то негромко говорит. Наверное, стоит прислушаться. Книга состоит из пяти «лекций» о физике и трех – о трех физиках. Это не записанные реальные лекции, а тексты, созданные специально для книги. Но они написаны после многих занятий и используют собранный для этих занятий материал. Такой путь более трудоемок, но результат, как мне кажется, получается интереснее, чем «говорящая голова» на YouTube. А почему я выбрал для рассказа именно этих трех физиков... об этом я спрошу вас в самом конце.

Немного информации по структуре текста. В нем есть **вопросы**, они выделены **жирным шрифтом**. Вопросы внутри лекций пронумерованы

в квадратных скобках, например [1.2] – первая лекция, второй вопрос. После вопросов вы увидите – где ответы, где комментарии, где новые вопросы, а где и ничего. То есть кое-где после моих вопросов вас ждет полная свобода творчества. Да, школа большинство из вас от нее отучила, и это самое плохое, что она сделала. Попробуем это немного исправить?

Выбор разделов и тем при нормальном преподавании зависит от вкусов преподавателя, а они – от его личного опыта работы в физике. Но есть вещи, которые упомянуть для расширения кругозора читателей хочется, а подробно рассмотреть их на школьном уровне не получится из-за ограничений по времени или объему издания. Чтобы читатель, интересующийся физикой, знал, что именно искать в интернете и бумажных книгах, в этих случаях приводятся *ключевые слова*, которые надо использовать при поиске информации; они-то и выделены в этом тексте *курсивом*. Приведение ключевых слов целесообразнее ссылок на конкретные странички, потому что ссылки устаревают, да и обычно полезно ознакомление с несколькими источниками. Если мне не удалось подобрать запрос, выводящий на достоверные и содержательные материалы, или имеется в виду конкретный источник, то даны прямые ссылки, они для удобства вынесены в отдельную строку. Учтите, что в русскоязычной «Википедии» в половине статей по физике и технике есть ошибки. Ниже мы эту ситуацию обсудим немного подробнее.

А теперь – цитата!

*Попытки объять необъятное в трети случаев приводят к успеху.*

Эта шутка – из интернета, там можно найти много интересного и полезного. И еще больше ошибочного и поэтому – вредного. И об этом мы тоже немного поговорим.

И еще: некоторые отличия этой книги от других книг по физике названы в начале четвертой лекции. Если хотите, можете прямо сейчас туда ненадолго заглянуть.

# ЛЕКЦИЯ ПЕРВАЯ

---

## ЧТО ТАКОЕ ФИЗИКА, И ВОЗМОЖНОЕ ЕЕ МЕСТО В ТВОЕЙ ЖИЗНИ

### ЧТО ТАКОЕ ФИЗИКА

Вот некоторые общие сведения о физике и об обучении, которые могут пригодиться тебе, а также твоим родителям и преподавателям. Когда-то я учился в МИЭМе, Московском институте электроники и математики, а потом одновременно с работой в области физики и электроники в нем преподавал (пока его не поглотила Высшая школа экономики). И как-то раз после окончания курса студенты мне сказали: «С вами было интересно». Это был пятый курс факультета прикладной математики, наша тогдашняя элита, и, учитывая то, что мой предмет – метрология – был им, по сути дела, не нужен, я ощутил себя так, будто с того света вернулся Ричард Фейнман и подмигнул мне. Вот он сам, на рис. 1.1.



Рис. 1.1

Физика есть средство поступления в институт и причина вылетания из него, способ заработка, язык описания мира, основа инженерии, комедия, драма, трагедия, источник экстаза и крутейшего кайфа. Физика рулит миром и взаимодействует со всеми остальными науками. С математикой – потребляя ее как язык и метод и ставя перед ней задачи. С естественными науками – отвечая на их вопросы и черпая в них свои задачи. С гуманитарными – иногда используя их методы, иногда осторожно предлагая им что-то свое. С инженерией – обеспечивая возможность прогресса. Самолет и корабль, смартфон и плеер, суперкомпьютер и GPS-навигатор, MRT-сканер и хирургический робот – это средоточие всего новейшего, что сделали инженеры, опираясь на все, что поняла и создала физика. Беря в руку любую вещь сложнее лопаты, падая в любой транспорт сложнее телеги, входя под любую крышу, кроме крыши шалаша, пользуясь любой цивилизованной медициной, вы потребляете современную физику. Или – самую современную.

А теперь – цитата!

*Нью-Йорк был единственный город, который заставлял его думать не о прошлом, а о прогрессе науки и техники. Этот город был построен из материалов, извлеченных прямо из пробирок, реторт и вакуумных камер; он возникал не на кальке, а прямо на университетских досках, где в первый раз писались новейшие формулы деформации и сопротивления материалов.*

Правда, поэтично сказано? С нами были Митчелл Уилсон и его книга «Встречи на далеком меридиане».

Напоминаю, что *курсив* – это отсылка к Всемирной сети интернет. Набираете то, что дано *курсивом*, и – вперед, наслаждайтесь. Только не забудьте вернуться к тексту книги. Хотя бы под утро...

Физика – это очень много разного. Потому что любая естественная наука и техника (а также искусство, которое, как и техника, создает объекты) состоит из:

- (1) продуктов, т. е. накопленных знаний (если это наука) или изготовленных объектов (если это техника);
- (2) словаря области – терминов, посредством которых изъясняется область, их интерпретаций и связей, т. е. определений;
- (3) формальных знаний о том, как эти продукты получить и формальных к ним требований;
- (4) неформальных знаний и требований к продуктам, т. е. навыков;
- (5) продуктов, поставленных соседями и используемых здесь, например для естественных наук это будут научные приборы, созданные техникой;

- (6) формального описания методов применения продуктов;
- (7) неформального описания методов применения продуктов, т. е. навыков;
- (8) стиля и норм поведения участников;
- (9) знаний и навыков, относящихся к самой области, – законов ее развития, истории и прогнозов ее развития, методики преподавания;
- (10) знаний и навыков, относящихся к взаимодействию области с другими областями;
- (11) знаний и навыков, относящихся к другим областям, если это методическая или иная метаобласть;
- (12) эмоций в людях науки (кайфа от достижений, огорчений от неудач) и во всех остальных людях (благодарности за спасение от болезни, радости от познания мира, ужаса из-за смертей).

Дочитали? А теперь забавное: пункты 1–11 существуют только благодаря пункту 12. Так же как альпинизм – ради остроты эмоций восхождения и возвращения. И вообще: жизнь – ради кайфа любви и работы.

В физике есть надежное, многожды на практике проверенное знание и область его применения. Большая часть современной физики сто и сто тысяч раз воплощена в современной технике и подтверждена еще и этим. С использованием законов теории относительности работают телецентры, радиолокаторы и глобальное позиционирование. В первых двух используют электронные лампы, при расчете которых применяют формулу для релятивистской массы электрона, глобальное позиционирование использует зависимость хода времени от гравитации и ускорения. Поэтому те, кто ищут ошибки в теории относительности, каждый раз, когда берут в руки содовый или садятся к телевизору, убеждаются, что она права. Бедные дети, какой же у них, наверное, лютей *когнитивный диссонанс*.

Кроме освоенной области, в физике есть область развития, фронтир. До него не 7, а 7777 верст, и по большей части не лесом и не пехом, а вплавь. Там, где контакт с миром непознанного, в основном и работает любая наука – она познает, она заточена под эту задачу. Само непознанное бывает нескольких типов. Если говорить о физике, то мы можем не знать, или не знать с нужной точностью (1) значения каких-то параметров (например, заряда электрона), (2) связи параметров, т. е. физических законов (например, закон гравитации на малых расстояниях). Мы можем не знать (3) существуют ли какие-то объекты или зависимости, рассматриваемые теорией (например, магнитный монополь или тренд мировых констант), или (4) какими параметрами эффективно характеризовать тот или иной объект.

## Возможность знать

В математике есть понятие «теорема существования». То есть бывают ситуации, когда можно доказать, что задача имеет решение, не получив самого решения. В естественных науках бывает наоборот – возможно доказательство несуществования. Например, если мы попросим предсказать движение отдельной молекулы при турбулентном течении жидкости. Если под задачей понимать задачу прикладную, создание некоего объекта, то в естественных науках – в физике, химии, биологии, геологии – есть множество объектов, которые, очевидно, существуют, но мы не можем их создать. Большие алмазы, малые планеты и средних размеров кошки (а вот кошки это умеют!).

Накопленное наукой знание, причем не только в физике, но и в любой области, – это система последовательного доступа: чтобы начать изучать нечто, нужно знать то-то и такие-то математические методы. Знание, понимание – это умение пользоваться. Человек, понимающий физику, строит адекватные физические модели, решает физические задачи. То, что возникает в человеке при чтении научно-популярной литературы, пониманием в этом смысле почти никогда не является.

Есть три подхода к познаваемости мира вообще. Первый – согласиться, что мир непознаваем. Психологически это для некоторых комфортно – раз непознаваем, то можно расслабиться, лечь под банановое дерево и ждать, пока банан сам задумчиво отделится и плавно залетит в рот, на лету ошкурившись и нарезавшись на кусочки.

Второй вариант: мир познаваем, но уже познан – тут импозантный дядя с хорошо наетым животом и тренированным бархатным голосом говорит, что знает вообще все и ничего, кроме этого, вам знать не надо и думать не надо, а лучше всего просто его слушать, верить и пополнять его карманы. И вообще, физика, биология и геология – обман, потому что все было не так, а гораздо проще и быстрее. И не 14 млрд лет, а примерно 7000 лет. Результат, как ни странно, тот же – можно расслабиться, делать ничего не надо. Разница в том, что многие проповедники «уже познаннысти» гораздо упитаннее проповедников непознаваемости, следовательно – успешнее ведут свой немаленький бизнес.

Третий подход таков: мир познаваем и частично познан, наши действия могут привести к большей познаннысти, познавать интересно, процесс познания приятен сам по себе плюс позволяет посредством инженерии, базирующейся на физике, сделать жизнь людей лучше. Хотя бывают и ошибки, и уродства, но это уж от нас самих зависит. Хотя бы частично.

У человека, серьезно занимающегося физикой, через несколько лет возникает такой эффект: когда он смотрит на любой объект, у него сама собой в поле зрения, немного сбоку, всплывает подсказка – «облачко» с формулами курса физики, относящимися к данному объекту – фото 1.2 и 1.3, 1.4 и 1.5, 1.6 и 1.7.



Рис. 1.2



Рис. 1.3



Рис. 1.4

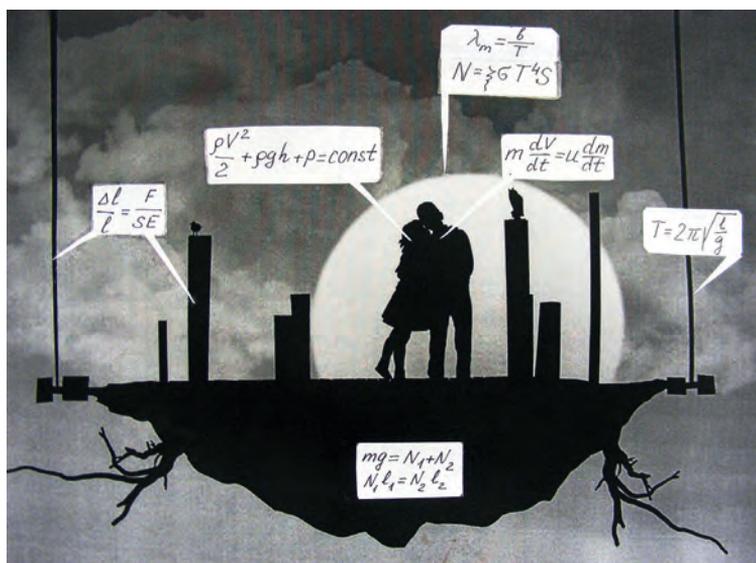


Рис. 1.5



Рис. 1.6

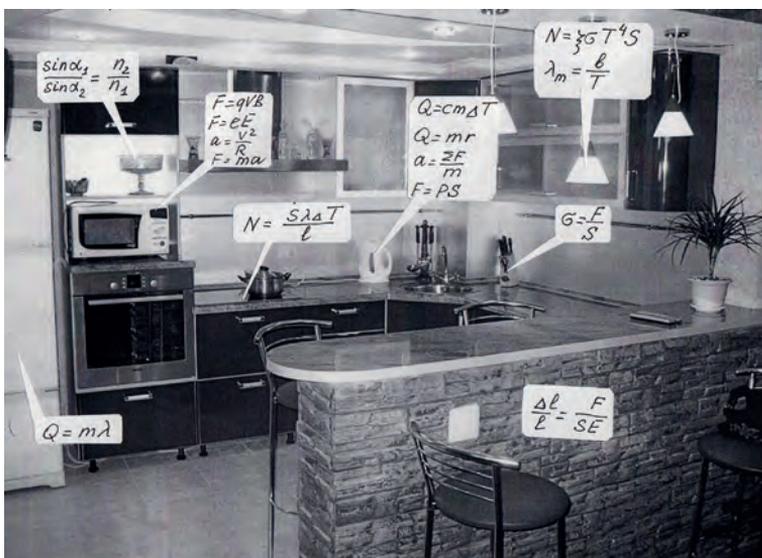


Рис. 1.7

А когда вы станете гуру, то формулы... тссс... формулы начнут сами собой подставляться друг в друга! Только врачу об этом не говорите, а то справку для ГИБДД не даст. Кстати, у химиков тоже имеет место аналогичный эффект – но с химическими формулами. Они мне сами говорили. Не, не формулы говорили, а химики.

А теперь – цитата!

– Можно я спрошу кое о чем? Вспомните, как были ребенком. В вашем случае не придется напрягаться. Когда вы были ребенком, вам нравилась наука? Была она вашей страстью?

Я кивнул:

– Сколько себя помню.

– И мне, – сказал он. – Помните: это потеха.

Это мнение Ричарда Фейнмана. Ему можно верить – я за него ручаюсь.

## ЗАКОНЫ И ТОЧНОСТЬ

Физика – это понимание мира, решение задач, конкретнее – предсказание природных процессов и результатов экспериментов («Машина пришла в движение от пальца в отверстии пятом и от пальца в отверстии сорок седьмом», – Стругацкие). Способ решения задач – применение физических законов, но для этого требуется их установить. Законы – это связи параметров, поэтому в физике выживают параметры, входящие в те законы, которые позволяют решать задачи. Любой закон установлен (экспериментально или теоретически) в каких-то условиях и с какой-то точностью. Если никаких отклонений от него не обнаружено, учебник (особенно школьный) будет подавать его как универсальный и точный. Но всегда может оказаться, что в каких-то иных условиях или при увеличении точности обнаружатся отступления, и теории придется дополнять. Далее, точность одних законов ограничивает точность других, например точность соблюдения законов сохранения энергии и импульса (чудовищная точность!), вытекающая из однородности пространства и времени, ограничена точностью этих утверждений. А она ограничена конечным временем существования и конечными размерами Вселенной, по крайней мере – в сегодняшних физических моделях. Законы не всегда дают значение, они могут давать значения вероятностей, с которыми некоторая величина принимает те или иные значения, они могут давать – для ансамблей – функции распределения. Например, молекул в газе по энергиям или скоростям.

В физике часто употребляются выражения «много меньше» и «много больше». Что они означают? Поскольку складывать и вычитать можно величины только одной размерности, то говорить о какой-то величине «много больше» (или меньше) можно, лишь сравнивая ее с другой величиной такой же размерности. А насколько меньше и больше? – это можно сказать, только зная и решаемую задачу, и требуемую точность. Тогда «немного» будет означать «в той степени, что не влияет на решение сильнее, чем допустимая погрешность». Хороший пример приведен в учебнике физики Г. Я. Мякишева – горизонтальный диск, подвешенный на нити. Если надо определить натяжение нити, то радиус диска должен быть мал по сравнению с радиусом Земли, если период маятника – то по сравнению с длиной

подвеса, если частоту крутильных колебаний – то радиусом диска, наоборот, нельзя пренебрегать. А что делать, если надо исследовать колебания при вертикальном ударе?

Деление параметров на существенные и несущественные отчасти воплощено в делении явлений на разделы – механические явления, тепловые, электрические и т. д. Но вообще-то оно связано с конкретной задачей и в зависимости от конкретной задачи может изменяться и на противоположное. Например, при измерении напряжения в розетке тепловой шум не существен, в аудиотехнике бывает существенен, а при работе с предельно слабыми источниками сигнала он принципиально важен.

Сюда же относится вопрос о выборе обозначений. Их можно разделить на фактически фиксированные, употребляемые всеми справочниками (например, скорость света, заряд электрона, постоянная Планка), систематически употребляемые (например, напряжение –  $U$  или  $E$ , ток –  $I, J, i, j$ , скорость –  $V, v, U$ ) и чаще всего употребляемые, например расстояния –  $S, L, l, a, d$ . Проверять обозначения на каждом шагу невозможно, надо читать книги и решать задачи, и соответствующая информация сама сконденсируется у вас в голове. На экзамене надо пользоваться обозначениями из условия задачи – у проверяющих будет легче жизнь, у вас лучше оценка; и вообще, все обозначения надо «вводить», т. е. расшифровывать. Это уменьшает количество ошибок.

«Ответ» в школьной физике – это формула, выражающая величину, про которую прямо сказано, что ее надо найти через величины, данные в условии. А если даны значения, то и значение искомой величины. Но что делать, если дано столько величин, что искомое можно выразить разными способами, или дано меньше величин, чем надо, и решающий должен вводить в ответ еще какие-то (универсальные константы, справочные данные), а их можно ввести по-разному? Должен ли я выражать высоту *геостационарной орбиты* через массу Земли или через ее радиус и « $g$ »? Универсального ответа нет, но чем больше разных задач вы решите, тем реже будет возникать у вас этот вопрос. В серьезной физике тоже существуют традиции и нормы, и, если вы когда-нибудь будете жить именно физикой, у вас будет возможность с ними познакомиться. И впитать их в себя. И – чем Ньютон не шутит – внести свой вклад.

## Могла ли физика быть другой?

Физика едина во всей Вселенной (иначе мы не могли бы ее изучать), но степень развития разных ее разделов и структура курса зависят от того, в каком мире живут те, кто ее развивает и преподает. Законы Кеплера на планете двойной звезды выглядели бы иначе и были бы открыты позже (относительно общего естественнонаучного потока), закон всемирного тяготения – соответственно, тоже. На Юпитере физика вряд ли уделяла бы такое внимание идеальному газу – там это был бы мелкий частный случай. В мире, где температура на улице около  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  (денек-то сегодня прохладный...), нет ферромаг-

нетизма. В мире, где нет хороших проводников или хороших диэлектриков, иначе выглядит и вся электротехника, и раздел «Электричество» в учебнике.

В естественных науках альтернативность может относиться к нескольким группам объектов, это: (1) сами величины, (2) их связи, т. е. законы, (3) параметры и константы в законах, (4) параметры объектов, (5) параметры материалов.

Вопрос о самих величинах возникал при освоении физикой той или иной части природы: понятия массы, силы и ускорения появились раньше, энергии и импульса – позже и т. д. Какие-то понятия и величины рождаются сейчас и будут возникать впрямь. Однако выживают только величины, которые нужны для решения задач, т. е. входящие в законы, которые нужны для решения задач.

Некоторые законы физики изменять до какой-то степени можно, пока мы не вступаем в противоречие с чем-то принципиальным, например с законом сохранения энергии. Скажем, заменить закон Ома – «ток пропорционален напряжению» – на закон «ток пропорционален корню из напряжения» можно, и ничего принципиально не изменится. Более того, можно придумать и создать условия, в которых этот закон будет в некотором диапазоне величин соблюдаться. А вот сделать (без использования внешних источников энергии), чтобы в законе Ома сменился знак, – нельзя. **А почему [1.1]? (Напоминаю – это вопрос. Подсказка – противоречие с законом сохранения энергии. А почему [1.2]? Напоминать, что это вопрос, не надо?)**

При изменении системы единиц во всех физических законах должны измениться коэффициенты. Есть законы, которые действуют только при определенных условиях, например закон Ома. Можно придумать такую хитрую среду, что в законе Кулона заряд окажется не в первой степени, хотя привычнее сказать, что это нелинейная среда с зависимостью диэлектрической проницаемости от напряженности поля. Однако ни при каких условиях не могут при зарядах (как и при массах в законе всемирного тяготения) оказаться разные степени – это означало бы, что результат вычислений может зависеть от того, какой заряд мы назовем «первым», а какой «вторым».

Любой физический закон выполняется в некоторых условиях и с некоторой точностью, причем эти пределы либо проверены экспериментально, либо следуют из каких-то связей с другими законами. И во многих случаях мы вправе спросить: а что будет, если в следующем знаке будет обнаружено то-то и то-то? Спросить это можно и про самые фундаментальные законы. Например, можно спросить, что случится, если закон сохранения энергии будет нарушаться в каком-то далеком знаке. Что будет, если сменить знак коэффициента трения, инертной и/или тяжелой массы; если увеличить размерность пространства или времени? Фантазии на эту тему есть в художественной литературе –

[http://fan.lib.ru/a/ashkinazi\\_l\\_a/text\\_4920.shtml](http://fan.lib.ru/a/ashkinazi_l_a/text_4920.shtml)

[http://fan.lib.ru/a/ashkinazi\\_l\\_a/text\\_1050.shtml](http://fan.lib.ru/a/ashkinazi_l_a/text_1050.shtml), –

но физики и не такое обсуждают.

Что произошло бы, если какая-то из мировых констант была бы другой – например, масса электрона или постоянная Больцмана? Сильно изменить константы нельзя – в измененном мире, например, не будут образовываться атомы и молекулы. Если такой мир возможен и если собственно законы физики там окажутся те же, то в нем не останется сложных систем, значит, не будет и человека, наблюдателя. Отсюда делается вывод: возможно, последовательных Вселенных было более одной, но мы видим именно такую, потому что другие некому видеть. Подобное рассуждение лежит на границе области сегодняшней человеческой науки, хотите углубиться – спросите «*фундаментальные константы*» и «*антропный принцип*». Впрочем, не понятно, относятся ли эти вопросы вообще к науке; об этом мы еще поговорим.

Параметры объектов и материалов изменять можно в довольно широких пределах – принципиальные противоречия возникают не скоро. Как изменится мир, если в десять раз увеличатся (уменьшатся) у всех или некоторых материалов: прочность, *модуль Юнга*, электропроводность, *теплопроводность*, *электропрочность*, коэффициент преломления, температура плавления и т. д.? Вполне интеллектуальное физическое и инженерное, а также преподавательское и ученическое развлечение. Можно побаловаться не с константами, а со связями, отключив их или, наоборот, добавив. Например, отключаем влияние магнитного поля на сверхпроводимость или включаем какую-то связь плотности тока и проводимости – и получаем новую электротехнику.

При определении реальных вариаций величин, законов и констант надо следить за непротиворечивостью. Прогноз развития невозможной по существующим взглядам ситуации может и сам оказаться неосуществимым, потому что законы науки, аппарат понимания и прогнозирования создавались путем исследования возможных ситуаций. Однако не во всех системах это так – например, в шахматных задачах можно анализировать и позиции, которые не могли получиться в реальной игре: нам и девять пешек по плечу.

А теперь – цитата!

*Еще одно очень интересное развлечение – спрашивать себя, что бы произошло, если бы я мог как-то изменить природу, изменить физический закон? Прежде всего, если бы я мог что-то изменить, это изменение должно согласовываться с кое-какими другими вещами. А еще придется продумать все последствия такого измененного закона и понять, что произойдет в результате с миром. Интересная работа. Большая. Я разок попробовал – захотел посмотреть, какая вышла бы физика, если бы она была двухмерная, а не трехмерная. Два измерения – евклидова плоскость, плюс время. <...> А потом я вот так еще развлекался. Представьте, что существует два времени. Два пространственных измерения, два временных. Что это будет за мир – с двумя временами?*

С нами был Ричард Фейнман. С удовольствием работал человек, правда?

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МИРЫ

В научно-фантастической литературе есть примеры альтернативности географии и геологии; мир без нефти (*Евгений и Любовь Лукины*, «Миссионеры», «Благие намерения»); разнообразные многочисленные миры Хола Клемента; мир с жизнью, построенной не на кислороде, а на фторе (*Иван Ефремов*, «Сердце змеи»), не на углероде, а на кремнии (несколько произведений разных авторов); миры с разными почти вечными источниками энергии;

[http://fan.lib.ru/a/ashkinazi\\_l\\_a/text\\_2930.shtml](http://fan.lib.ru/a/ashkinazi_l_a/text_2930.shtml)

[http://fan.lib.ru/a/ashkinazi\\_l\\_a/text\\_5570.shtml](http://fan.lib.ru/a/ashkinazi_l_a/text_5570.shtml)

[http://fan.lib.ru/a/ashkinazi\\_l\\_a/text\\_6000-1.shtml](http://fan.lib.ru/a/ashkinazi_l_a/text_6000-1.shtml).

Альтернативная география Земли – особенно альтернативная география распределения нефти или мест произрастания конопли – влечет альтернативную политику; важно также распределение урана и алмазов. Большинство авторов рассматривает социальные последствия, нас же интересует физика и инженерия.

Насчет жизни, построенной не на углероде, – осторожнее. Кроме честной и более или менее интересной «научной фантастики», в интернете полно дикого бреда, который авторы излагают всерьез, претендуя для начала не на Нобелевскую по литературе, а лишь на беседу с кем-то добрым, все понимающим и прикидывающим, в какой палате будет комфортнее данному пациенту, где найдутся ему хорошие собеседники...

Имеющаяся человеческая цивилизация для передачи энергии использует перевозку топлива либо электричество. Для работы с информацией ныне применяют электричество, механические компьютеры (арифмометры) были в реальности и осуществляли простейшие операции. Есть ли основания для рассуждений об альтернативной цивилизации (1) без электричества вообще, (2) без мощной электроэнергетики, но с информационным электричеством (связь и компьютеры), (3) с электроэнергетикой, но без информационного электричества?

Первое – это цивилизация без проводников (металлов, углерода). Энергетика – механическая и тепловая, информационная сфера – механическая, в фантастике (*стимпанк*) этот путь рассматривается (как варианты – пневмо- и гидромеханическая). Второй вариант – проводники есть, но только плохие – например, углерод. Энергию по углеродным проводам не прокачаешь, но компьютер или приемник сделать можно. Правда, с передатчиком будут проблемы, разве что применить *генератор Ван-де-Граафа* и *искровой разряд*? Третий вариант – проводниковые материалы есть, но за окном непрерывно шарашат молнии раз в секунду. Электромагнитная помеха такая, что котлеты разогреваются без СВЧ-печи, ни о какой электромагнитной информатике речи нет. Мягкий вариант – без ферромагнетизма за счет проблем с Fe, Ni, Co или просто из-за жаркой погоды.

## ВЫ УЧИТЕСЬ – А ЗАЧЕМ?

Очень полезно вовремя задавать себе вопросы: «Что я делаю?» и «Зачем я это делаю?» Одиннадцать лет, долгих одиннадцать лет своей единственной и конечной жизни пять, а то и шесть дней в неделю с обидно короткими перерывами на праздники и каникулы вы ходите в школу – рис. 1.8.



Рис. 1.8

Хорошо, если вам повезло и в школе вас окружают милые люди, с которыми интересно и приятно находиться рядом. Но везет не всем, так зачем же – потому что «надо», потому что «все»? Потому что без аттестата о среднем образовании трудно получить работу, а продолжить образование так и почти невозможно? Все так, но одиннадцать лет, одиннадцать лет... уж проведите время с пользой – получите помимо аттестата и знания.

Открою вам секрет, только преподавателям не говорите. Из того, чему вас учат – что в школе, что в институте, – вам потребуется одна десятая; при большой удаче – треть. Спрашивается, зачем остальное? Затем, что – поверьте мне на слово – без всего остального эту треть не познать. Вот простой пример – ты можешь выучить коротенькую последовательность букв: в, е, у, о, и, а, ь, л, ч, а, л, с, о, а, о, л, з? Не можешь? А «в лесу родилась елочка, в лесу она росла, зимой и летом...»?

Что же до «поверь мне на слово», то это лишь мое слово, но за ним – опыт тысяч лет и миллионов людей, которые создали то, что вокруг тебя. И котлету в микроволновке, и смартфон в кармане, и след ботинка в лунной пыли, и Пионер-10, летящий к звездам.

## ГДЕ БРАТЬ ИНФОРМАЦИЮ?

Первый источник – школьный учебник. Изучайте его тщательно, с начала до конца, потом в обратном порядке, потом вразбивку, потом положив вверх ногами. Далее – в интернет, штудировать книжки и учебники, можно и в хорошую библиотеку, книжки бывает приятно подержать в руках. Хороший учебник должен быть таким – понятным, но трудным. То есть понятным и легким в начале параграфа или главы и где-то до середины. Если в магазине, стоя у полки и просматривая учебник, вы затыкаетесь на четверти параграфа или главы – это нормально, вы же собираетесь его использовать не неделю и не месяц, а за полгода можно и поумнеть. Все это относится и к задачникам – если сложность задач нарастает, как обычно, по ходу раздела, то начало раздела должно быть легким, но где-то с трети сопротивление должно становиться заметным. И не спешите покупать – почти все можно скачать из интернета. Не мне вас учить, да?

А теперь – цитата!

*Не бойтесь... серьезных книг – не вечно же сидеть за изучением азбуки. Прочтете раз – не поймете. Прочтете два – вам кое-что прояснится. Читая серьезную книгу в третий раз, вы убедитесь, что сделали большой шаг вперед: и много новых знаний приобрели, и дело уразумели.*

С нами был С. Ф. Клусье и его книга «Настольная книга для радиолюбителей и профессионалов». Л.: Товарищество «Начатки знаний», 1929. Прошел почти век, радиотехника изменилась радикально, в мир пришло, как полагают демографы, четыре новых поколения, а вот это – это верно по-прежнему.

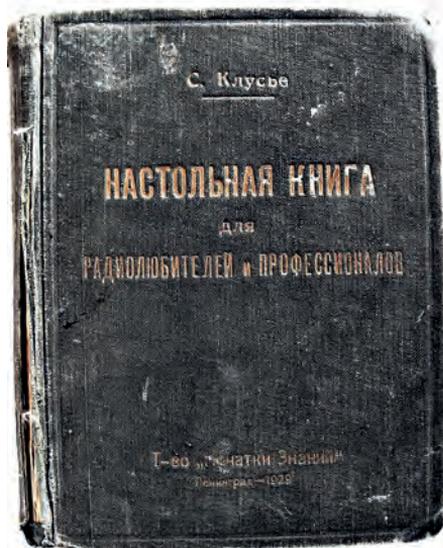


Рис. 1.9

Решение задач всегда производится в рамках какой-то модели, но при устном или графическом представлении ответа человек иногда делает уступку интуиции. Пример – при ступенчатом задании зависимости ускорения от времени решающий ищет зависимость скорости от времени и рисует плавный переход от одной линейной функции к другой. Делать так не надо, решение должно идти в рамках одной модели, и лишь после предъявления ответа может быть сделано дополнение – но только в том случае, если вы можете ясно объяснить, почему вы его делаете. «Интуицию» экзаменатору лучше не предъявлять, тем более что интуиция может иногда подсказывать ответ, более близкий к правильному, а иногда и нет. Впрочем, если отметка в зачетке уже стоит и вы не обижены... а работать на кафедре с этим человеком вы бы не отказались... то почему бы и не предъявить?

Человек, интересующийся физикой, не ограничивается учебниками и задачками, а пользуется разной степени серьезности и популярности литературой – книгами, журналами, интернетом. Количество дезинформации сегодня сильно превосходит количество достоверной информации. Существуют два главных способа отличить правду от вранья – знание основ предмета и общая логика. Причем пользование логикой, умение заметить противоречия или неполноту в тексте вырабатывается опять же только на базе знания предметов, причем желательно нескольких, прежде всего – математики, физики, других естественных наук. Поэтому, если вы только начинаете изучать предмет или предметы, на «общую логику» лучше не закладываться, а просто хорошо знать школьный курс. Аргументами за добросовестность информации в русскоязычном издании, называющем себя «научно-популярным», являются: (1) год издания – лучше, если до 90-х годов прошлого века, (2) автор – лучше, если это человек, сделавший что-то реальное в науке или технике, а не «научный журналист», «знаменитый спикер», «популярный популяризатор» и т. д., (3) формат – лучше, если статьи длинные, (4) оформление – малое количество картинок и их размер, достаточный для понимания, но не более. Следует очень осторожно относиться к русскоязычной «Википедии» – там полно бреда, да и в ней самой честно написано, что она «не гарантирует». Об этом мы еще поговорим.

## **КАК РЕШАТЬ ЗАДАЧИ И СДАВАТЬ ЭКЗАМЕНЫ**

Задачи по физике бывают разные, ни универсального алгоритма, ни великого секрета решения нет. Есть правила, они тривиальны и общеизвестны (типа «сначала нарисовать систему координат, потом все силы, а системе выбрать так, чтобы...»), их вам наверняка рассказали в школе. Чтобы они стали привычны, надо решить три десятка задач из каждого раздела, итого – три сотни. Нет другого способа освоить минимальный школьный курс.

Есть общие технические советы, правильные лишь потому, что они корректируют распространенные ошибки. Внимательно читайте условие два раза, номер задачи пишите так, чтобы его нельзя было не заметить, слово

«Ответ» пишите тоже четко и ясно, а вообще, полезайте-ка в машину времени, дуйте в первый класс – и точки, палочки, кружочки. «Мелкая моторика» мозги развивает, а хороший почерк на контрольной и экзамене в среднем отметку поднимает. Если у вас решение написано так, что его прочесть – проблема, то убедиться, что ошибок нет, проверяющему будет труднее.

На обычном экзамене вы получаете не одну задачу, и если вы не можете решить ту, на которую упал ваш первый влюбленный взгляд, то попробуйте другую. Как долго надо сидеть над одной задачей – сказать трудно. Сколько бы вы их ни решили и как бы хорошо ни были подготовлены, ситуация, когда вы чего-то не можете сделать, возможна. Но, справившись со многими задачами, вы вырабатываете в себе навык не только решения, но и общения с задачами – с какой начинать (некоторые советуют с простых, чтобы найти ответ и воодушевиться), долго ли сидеть, когда отступить и возвращаться ли потом.

Многие задачи по физике формулируются на неформальном языке. Если спрашивают, какое ускорение будет у тела такой-то массы при действии на него такой-то силы, то это язык формальный (и то, что нет других сил, лишь подразумевается), а если сказано «тележка катится по поверхности» или «шайба скользит по льду»? Это неформальный язык, надо понимать так – трением пренебречь. Усвоить этот неформальный язык школьной физики можно, только практикуясь. Не запрещено, конечно, слазить сюда: *«Задачи по физике – смысл условий»*, но решить много задач – лучшая идея.

«Психологи» любят рассказывать о стрессе и что с ним делать, и где-то рядом ненавязчиво указывают свой телефон. Жизнь показала, что стресс вызывают две вещи – плохое знание физики и рассказы о стрессе. Вывод – учиться и не слушать рассказов о стрессе. Работать, решать задачи, ходить на олимпиады и «пробные экзамены» – и польза, и развлечение, – читать хорошие книжки, нормально питаться, высыпаться, не входить в комнату, где включен зомбоящик, и меньше тратить времени на соцсети. Полезно заниматься физкультурой, а профессиональным спортом – вредно. Если, конечно, вы не решили посвятить свою жизнь мордобою с последствиями для мозгов или беганию за мячиком под звуки трибун, знакомые некоторым биологам.

На многих сайтах долго и вдумчиво рассказывают, как именно надо готовиться да как вести себя на экзамене, в начале идти или в конце и т. д. Все это ерунда, никаких полезных психологических советов нет. Ни в журналах, ни на сайтах, ни на небесах, ни выше. Потому что если ты задачи решал, то и тут решишь, если экзамены сдавал, то про то, как их сдавать, и так все знаешь. А если нет – то нет.

Есть немало людей (это математики, физики, химики, биологи, инженеры, компьютерщики, строители, врачи...), которым нравится решать задачи. Этот мир, что вокруг тебя, создали они. Может быть, в решении задач есть некий кайф? А там, глядишь, и мир создавать начнешь...

## ВЫБОР ПУТИ

У родителей свои доводы, у тебя свои желания, учитель что-то там про бизнес, приятели говорят вот это, а подруга или друг собирается поступать вот туда, а мечтаешь ты вообще о чем-то сто тридцать седьмом. Тяжела жизнь подростка. Личные твои аргументы, мысли, склонности и пристрастия нам не ведомы, подавляющее большинство «тестов», выложенных в интернете, сляпаны на колене персонажами, которые вообще не понимают, сколько времени занимает и сколько стоит разработка серьезного психологического теста (ответ – годы и миллионы). Поэтому слушай сюда.

Первое – надо заниматься любимым делом. Нелюбимая работа иногда оплачивается лучше, но представьте, что вам предлагают за хорошие деньги жить с нелюбимым человеком. А ведь на работе мы проводим времени больше, чем общались бы с этим человеком дома. Кроме того, если работа нравится, то лучше будут и здоровье, и личная жизнь. Прикинь: кому понравится дружить и жить с человеком, который уходит на работу злой, а приходит – очень злой. И разряжается на том, с кем дружит или живет.

Если ты школьник, то выбор конкретной специальности тебе, может быть, делать рано; постарайся поступить в серьезный институт с хорошим преподаванием математики и компьютерных дисциплин. Это пригодится всегда и всем. Если тебя уже интересует какая-то область, про которую можно сказать, к чему она ближе, то иди в серьезный институт, причем на факультет с хорошим преподаванием соответствующей дисциплины. Можно сменить место жительства, фамилию, можно расстаться с человеком, но полученное образование с нами останется навсегда, и на получение этого образования после школы потребуется пять-шесть лет молодой и почти взрослой жизни. Счастлив тот, кто уже в юном возрасте знает, чего хочет. А кто не знает – что делать ему? Отложить выбор? Доверить его родителям? Если они сами работают в области, которая нравится тебе, – да, это разумно. Попробуйте найти среди их друзей того, кто работает в такой области, а лучше – двух или трех, и посоветуйтесь с ними. Если же душа ни к чему не лежит, то поступай на хороший естественно-научный (физика, химия) или инженерный факультет. Человек с таким образованием сможет стать и инженером, и экономистом, и преподавателем, и еще много кем.

Можно попытаться учесть свою психологию. Жизнь в целом устроена согласно закону сохранения – чем больше человек работает и чем дольше он готов терпеть в надежде на результат, тем больше (в эмоциональном смысле) этот результат будет. Вот последовательность: программинг – инженерия – прикладная физика – прикладная математика – теоретическая физика – теоретическая математика. Чем левее – тем в среднем чаще достигаются результаты, но чем правее – тем больше приз (эмоциональный). Поэтому выбор должен быть согласован не только со способностями и склонностями, но и с психологией. Чем дольше вы способны работать, не получая результата, но надеясь, – тем ближе к концу списка можете искать свою судьбу.

## Физика и психология

Эффективность деятельности человека в любой области зависит, упрощенно говоря, от внешних обстоятельств и от его внутренних свойств, в частности – от его психологии. Упрощение здесь состоит в том, что внешние обстоятельства и психология связаны, причем и в смысле выбора, и в смысле эволюции. Человек может в какой-то мере выбирать, в какой стране жить, в какой области работать, в какой организации и чем именно заниматься. Страны и организации также выбирают, а потом переделывают людей, примеров множество. Насчет переделки людьми стран и организаций – тут немного сложнее... Было бы интересно всерьез исследовать, как психология влияет на успешность работы в физике. Пример такого исследования (причем весьма интересного!) – у химиков; спросите «Химические способности и возможность их диагностики».

На некотором примитивном уровне (можно сказать тривиальность) важны три вещи: стремление (1) понять, как нечто устроено, (2) найти связь между явлениями и (3) построить общее правило. Впрочем, не общее ли это для всех естественных наук? Хотя как раз третье именно в физике особенно сильно...

Эксперимент – можно сказать, жизненный эксперимент – может строиться так. Если вы уже студент, то вы знакомитесь через интернет с лабораториями родного вуза, выбираете несколько, где вам кажется интересным, что они там делают, осторожно знакомитесь с людьми, начинаете что-то там делать и через несколько месяцев спрашиваете, стоя перед зеркалом, хотите вы идти туда сегодня? Если ответ «да» очевиден – мышеловка захлопнулась. Конечно, это идеализированная и примитивизированная картина. Скажите еще спасибо родителям, что вы не живете в обществе, где неوفиту вручают метелку и совок и разрешают подметить зал для тренировок. И он, лопааясь от гордости, приступает. Или, например, происходит нечто такое:



Рис. 1.10

В физике психология человека «работает» и на более глубоком, более частном уровне, она может влиять на успешность работы, причем совершенно по-разному для разных задач. Исследовал ли кто-либо это? Вот несколько примеров.

Сколько измерений нужно делать? Обычно пишут, что измерения должны проводиться многократно, и обсуждают, достаточно ли двадцати, или лучше тридцать. Школьников часто учат, что их три. Почему? И почему школьники не спрашивают, почему именно три, а не три с половиной?! Любому практикующему инженеру и физику известно, что большинство измерений делается один раз. Но когда человек все-таки решает, что измерения надо повторить? А проделать третий раз? А четвертый? Когда человек начинает подозревать зависимость от времени, и какую? Когда простой линейный тренд, а когда что-то более сложное? И как он это расшифровывает, какие гипотезы клубятся в его голове, и как это влияет на его дальнейшие действия? Заметим, что многократное повторение измерений может как раз увеличить погрешности, если само измерение влияет на объект. В реальной ситуации поведение зависит от того, что мы измеряем, что мы об этом уже знаем, какие гипотезы имеем, ну и от нашей психологии.

Далее. Мы делаем эксперимент, провели измерения, получили сколько-то пар значений  $(x, y)$  и собираемся интерполировать, экстраполировать, искать зависимость. Прежде всего – а зачем мы это делаем? Проще понять, зачем мы экстраполируем, остальное зависит от того, кто и как будет использовать эти данные – человек или компьютер. И главное – будет ли человек пытаться на основании этих данных что-то понять, построить модель явления. Причем подбор аналитической зависимости может являться попыткой именно понять, а может и быть лишь чистой формальностью ради упрощения дальнейших вычислений.

Далее – сами зависимости, среди которых ищется интерполяция, определяются гипотезой или классом гипотез, которые у нас уже имеются. При этом традиционно упоминают принцип Оккама, поиск простейшего объяснения, не понимая, что это может проканать за отмазку как философия, но не как физика. Например, с формальной точки парабола и синусоида равны, т. е. имеют три подгоночных параметра. Но идея их эквивалентности при подборе интерполяции вызовет смешок даже, наверное, у многих школьников. Кроме того, надо понимать, что все значения получаются с какими-то погрешностями, и при подборе интерполяции (т. е. при попытке понять!) мы можем ограничиться меньшей точностью, но получить более простую и потенциально более понятую зависимость, а можем исходить из большей точности и получить более «точное», но непонятное выражение.

## **В ЗАКЛЮЧЕНИЕ – О ПРЕПОДАВАНИИ**

Преподаванию помогает ясное объяснение целей и задач обучения, это способно сделать часть школьников сознательными союзниками. Осознание хотя бы частичной добровольности обучения – начало разрушения школьного стереотипа, мешающего учебе. Не стесняйтесь быть широко образованным и терпимым, не бойтесь задавать учащимся вопросы об их жизни – ваш интерес, конечно, искренен, и они это оценят. Психология школьников не является обычно областью непосредственных интересов преподавателя, но два-три хороших учебника по психологии соответствующего возраста прочесть полезно. Они интересны, это улучшает наше поведение со школьниками, и вообще, знание самых простых вещей из психологии прибавляет уверенности в себе.

Преподаватель – такой же традиционный объект изучения для школьников, как вообще взрослый – для детей. Это можно и нужно не только учитывать, но и разумно использовать. Одна из составляющих нашего мастерства – умение создать в классе рабочую атмосферу или атмосферу творчества, а лучше всего – коктейль из этих двух атмосфер, закон *Дальтона* вам в помощь. Необходимый элемент атмосферы творчества – получение удовольствия от достигнутого понимания материала. Надо ловить этот момент просветления, поддерживать, подчеркивать его и добиваться, чтобы слушатели запоминали эти моменты. Правда, все это – тяжелая работа, и ее не удастся делать, если она вам не в радость. Не нужно говорить школьникам, как надо относиться к работе. Надо относиться к ней именно так, и они это прекрасно увидят. Не надо говорить им, что наука и инженерия интересны, – если они интересны вам, это будет видно. Вы не сможете это скрыть!

А теперь – цитата!

*Тому, кто воспитывает детей, суждено быть не только наставником, мэтром, но и первым спарринг-партнером, на котором растущий интеллект пробует свои зубки.*

С нами был В. С. Зяблов, автор статьи «Как стать химиком?», опубликованной в журнале «Химия и жизнь» (1982, № 12). По моему скромному опыту, это относится к преподаванию не только химии, но и физики, инженерии и социологии.

Физика – это способ мышления, способ восприятия мира, выражаясь возвышенно – способ жить. Антидогматический, антиавторитарный, опирающийся на логику и знание. В идеале школа должна сформировать активное отношение к миру, человек не должен тупо сидеть и ждать, когда мир свалится ему на голову. Жить интереснее, если активно пытаться интерпретировать, осмысливать, понимать мир.

Мы обязаны – и не кому-нибудь, а просто себе – предоставить возможность учащимся ощутить красоту физики, прелесть задачи, экстаз ощущения приближения к решению. Потому что эти переживания не слабее двух других максимумов мира чувств человека: мира спорта и мира любви. Уж можете мне поверить... Причем переживания, связанные с работой, «гарантированнее» – экстаз достигается с большей надежностью, в спорте и любви больше роль случайности. Физика и химия, в отличие от женщины, всегда отвечают любовью на любовь, а в горах и пещерах может того... случайный камень. Или подземный водопад. Из тех трех, кто учил меня, из моих инструкторов двое позже погибли. Работа физика, как правило, безопаснее и не менее интересна. Да и кайф не меньше.

# ЛЕКЦИЯ ВТОРАЯ

---

## ВЕЛИЧИНЫ В ФИЗИКЕ

### ЧИСЛА И РАЗМЕРНОСТИ

Люди придумали числа потому, что это удобный способ описания окружающего мира. Я один шел по тропе, навстречу мне двое из другого племени, тремя ударами дубины я решил четыре проблемы. Это – числа, причем физические, т. е. имеющие размерность. Не просто один, два и три, а один, два и три чего-то. Это «что-то» – размерность. Вы знаете, что складывать, вычитать и сравнивать можно только числа одной размерности; однако школьники частенько это нарушают – с очевидными последствиями. Кроме того, даже при правильно решенной задаче потеря размерности при записи ответа карается. И еще, контроль размерности – мощный способ проверки и ответов, и промежуточных выражений. **Вспомните, как это делается [2.1].**

#### [2.1]

1. Разумеется, размерности промежуточных выражений и ответа должны быть правильными. Но это не все, можно еще что-то поверять. Что именно?
2. Если между какими-то величинами или выражениями стоит знак плюс или минус – их размерности должны быть одинаковы.

Напоминаю – в этой книге именно так обозначены, выделены и пронумерованы вопросы и шаги (шажки... ползки?..) к ответу. Наслаждайтесь.

В физике есть и безразмерные величины, обычно это отношения величин одинаковой размерности, например КПД и коэффициент преломления. **Знаете ли вы еще какие-то безразмерные величины? Должны знать минимум две, а хорошо бы побольше [2.2].** В физике часто применяется для упрощения записи вычислений такой прием – «обезразмеривание» или «нормировка», когда некая переменная величина, имеющая размерность, заменяется новой безразмерной переменной, равной отношению размерной переменной к ее какому-то выделенному значению. Например, максимальному или минимальному. **Сообразите, в каких пределах в этом случае изменяется обезразмеренная величина и какие из перечисленных величин в каких пределах изменяются [2.3].**

**[2.2]**

1. Диэлектрическая и магнитная проницаемость. А еще?
2. Коэффициенты излучения, отражения, поглощения и пропускания.

**[2.3]**

1. Соответственно, от 0 до 1 и от 1 до бесконечности.
2. КПД и коэффициенты излучения, отражения, поглощения и пропускания – от 0 до 1. Коэффициент преломления и обе проницаемости – от 1 до бесконечности. На самом деле, конечно, не до бесконечности... Полезно заглянуть вот сюда – «*Рекорды и пределы, или Введение в экстремальное материаловедение*».

Многие величины характеризуются одним числом, например масса  $m$  или температура  $T$ . Такие величины называют скалярами. Если нас интересует зависимость этой величины от времени  $m(t)$  или  $T(t)$ , это будет скалярная функция, если от пространственных координат – это будет скалярное поле  $m(x, y, z)$ ,  $T(x, y, z)$ . **Попробуйте придумать физическую ситуацию, когда  $m(t) \neq \text{const}$  или  $T(x, y, z) \neq \text{const}$  [2.4].**

**[2.4]**

1. Масса, зависящая от времени, – это полет ракеты. Вообще-то, все зависит от того, с какой точностью измерять массу. При очень высокой точности окажется, что и масса *эталоны массы* зависит от времени.
1. С температурой ситуация такова – проблема однородного нагрева в технике встречается постоянно – нагрев (и охлаждение) как технологическая операция обычно производится через поверхность тела, но само тело должно быть нагрето равномерно. Что же касается быта, то и для воздуха в комнате, и для вашего тела температура зависит от координат. Кстати – зачем при измерении температуры градусник суют подмышку, прижимают руку и довольно долго ждут?

Но есть ситуации, когда для задания величины одного числа недостаточно. Например, на вопрос, что в розетке, обычный ответ – «230 В, 50 Гц», на вопрос, какая погода – «+20 °С, 5 мм/ч, 1 м/с». Представим себе, что нам надо совершать какие-то действия с именно такими величинами, заданными несколькими числами. Например, у нас есть прогноз погоды, есть реальная погода, и мы хотим как-то характеризовать отличие. Например, погода такая, как указано выше, а прогноз был «+22 °С, 3 мм/ч, 2 м/с». Тогда покомпонентные разности будут 2 °С, 2 мм/ч, 1 м/с, а некая величина, зависящая от них – попробуйте сообразить, какая, – будет равна 3. То, что мы сейчас сделали... ничего вам не напоминает? Не похоже ли это на вычитание двух векторов и нахождение модуля разности? Причем компонент могло быть не три, а, например, пять – еще *относительная влажность* и *румб* ветра. Или не пять, а вообще  $n$  (т. е. «эн»). Заметим, однако, что мы совершили операцию, с точки зрения размерностей недопусти-

мую. Характеризовать точность прогноза таким способом можно, но способ это некрасивый.

Математик бы сказал, что вектор – это  $n$ -ка (говорят: «энка») чисел (не обязательно три), причем операции с этими числами определены так: сложение векторов – это получение третьего вектора, компоненты которого... ну и т. д., умножение на число – это... и т. д. Все это есть в школьном учебнике. Физик сказал бы, что у него есть величины, про которые можно спросить не только «сколько» (температура, масса), но и «куда» (скорость, сила). Так вот эти, имеющие направление, ему удобно характеризовать векторами с компонентами, равными, например, для скорости скоростям перемещения вдоль, допустим, трех предварительно выбранных направлений.

Но есть в этом мире вещи и посложнее, и для них тоже нужен аппарат описания. Вот одна из них, логически следующая за вектором. Вспомним закон Кулона – сила  $F$ , действующая со стороны одного заряда на другой, направлена как вектор  $r$ , соединяющий эти заряды. Модуль силы зависит от зарядов и от свойств среды, которые отражены в формуле числом, скаляром  $\epsilon$ , диэлектрической проницаемостью. Что делать, если вектора  $F$  и  $r$  не коллинеарны? – а такие среды есть. На что нам умножить вектор, чтобы результат повернулся на сколько нам хочется? Тут мы пробиваем потолок и попадаем в институтский материал, хотя иногда в школе это рассказывают. Вектор нужно умножить на *матрицу*, а соответствующая физическая величина называется *тензор*. Сильно упрощая ситуацию, можно сказать, что, например, в трехмерном пространстве тензор должен содержать девять чисел, потому что каждая из трех компонент вектора-результата может зависеть от каждой из трех компонент исходного вектора.

**Сообразите, почему ни скалярное, ни векторное умножение вектора на вектор нашу задачу не решит [2.5].**

## [2.5]

1. Скалярное умножение не годится потому, что нам надо в результате иметь вектор, а оно даст нам скаляр.
2. Векторное даст вектор, но только лежащий в плоскости, перпендикулярной исходному вектору, а мы хотим иметь возможность получить любой.

Как в стандартном школьном курсе вводятся векторные величины? Правильный и хороший способ – второй закон Ньютона или «закон Ома в дифференциальной форме» – когда пишется уравнение, которое сразу дает ответ в виде вектора.

Правильный, но нехороший – это способ, которым в школе вводится закон всемирного тяготения или закон Кулона, когда отдельно пишется модуль, а отдельно говорится, куда «это» направлено. Сделано так не потому, что составители учебника не знали, где посмотреть, как надо сделать пра-

вильно и хорошо. А потому, что хорошая запись, дающая ответ сразу в виде вектора, требует некоторого предварительного материала, и не хочется занимать этим материалом место, если таких формул мало. Но в одном случае можно было бы записать хорошо без лишней траты сил. **Как записать закон трения не в виде « $F = \mu N$ , а направлена сила против вектора скорости», а так, чтобы слева сразу стоял вектор  $F$  [2.6]?**

### [2.6]

1. Подсказка – надо умножить модуль силы, т. е.  $\mu N$ , на вектор, модуль которого = 1 и который направлен туда, куда мы хотим.
2. То есть на  $(-\mathbf{v}/v)$ , тут жирным « $\mathbf{v}$ » обозначен вектор скорости, а простым « $v$ » – ее модуль.

## ВРАЩЕНИЯ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Наконец, третий способ – когда вообще про величину не говорится, кто она. Так поступили в некоторых учебниках с моментом силы, угловой скоростью и угловым ускорением. Или говорится что-то странное, например что оно – давление – действует одинаково по всем направлениям. Не скаляр, не вектор, не тензор, а испуганный еж. Что касается трех угловых страдальцев, то направлены эти векторы по оси вращения. Но, чтобы это сказать, надо вводить понятие векторного произведения, тогда момент будет результатом векторного умножения силы на радиус-вектор точки ее приложения. Действительно (вы, конечно, рисуете) – если он ноль или коллинеарен силе, то момент ноль, правда? А дальше все просто – аналог законов Ньютона и законов сохранения для вращения. В серьезном институте вам это все за одну лекцию с хрустом вставят в мозг.

В школе, чтобы избежать возни со всем этим, не вводят понятие *момента инерции* – аналога массы для вращения. Но в результате мы лишаемся динамики и приходится ограничиваться статикой – как если бы мы решили обойтись без понятия массы. Почти такая же история происходит с жидкостью, где в школе тоже ограничиваются статикой, но по другой причине – чтобы не говорить о вязкости, не рисовать зависимость силы сопротивления движению в жидкости от скорости.

При этом статику вращения обычно рассматривают, насадив тело на ось, – наверное, потому, что хотят шашлыка. Да и в остальной школьной физике чаще говорят о теле, которое лежит на столе или на наклонной плоскости, нежели о том, которое летит в почти пустом пространстве вокруг Земли и вовсе покоится относительно *реликтового излучения* вдали от гравитирующих масс. Приводит это к тому, что школьники, попавшие в космос, не сразу там осваиваются – озираются по сторонам, хлопают глазами, ищут наклонную плоскость. Именно наклонную!

Наличие ограничения для движения (плоскости, натянутой нити, оси и т. п.) приводит к тому, что мы не рассматриваем движение перпенди-

кулярно ограничению. С точки зрения законов Ньютона это происходит потому, что ограничение в нашей модели способно, не деформируясь, создать любую силу – реакцию опоры, обращающую в ноль сумму сил в перпендикулярном направлении. Вместе с нулем начальной скорости это означает отсутствие перемещения. В реальном мире деформации и предел прочности существуют всегда. В школе же реакция опоры нужна для определения силы трения. Учтите, что реакция опоры  $N = mg$ , только если нет вертикального ускорения. **Нарисуйте зависимость  $N$  от вертикального ускорения во всем диапазоне оногo [2.7].**

### [2.7]

1. Пусть положительное направление  $N$  и всех ускорений – вверх. Тогда при  $a \geq -g$  зависимость линейна, при  $a = 0$  будет  $N = mg$ , при  $a = -g$  будет  $N = 0$  (свободное падение). А вот что будет при  $a \leq -g$ , т. е. если опора имеет ускорение вниз, причем по модулю большее  $g$ ?
2. Если тело приклеено к опоре, т. е.  $N$  может менять знак, то линейная зависимость продолжится. Если нет – тело отделится от опоры.

Классический вопрос для того, чтобы создать проблему спрошенному, – почему вращается, например, Земля. Ответ «на один шаг в глубину» прост – потому что вращалась секунду назад и потому, что действует закон сохранения момента импульса. Вопрос «Почему действует закон сохранения импульса?» имеет ответ в виде *теоремы Эмми Нётер*. На рис. 2.1 – ее автор; о ней и о ее работах написано достаточно.



Рис. 2.1

Теорема гласит, что это следствие *изотропности пространства* – но это уровень не школы и даже, наверное, не института. Следующий вопрос (по-

чему пространство изотропно) не имеет на сегодняшний день ответа, мы донырнули – по ситуации на сегодня – до дна. Однако можно спросить, почему она начала вращаться и нет ли тут нарушения закона сохранения. Ответ – нарушения нет: если что-то начало вращаться вот так, то что-то другое должно начать вращаться в обратном направлении, причем так, чтобы суммарный момент импульса сохранился. Если он был нулевым, он должен и остаться нулевым. Например, представьте себе два диска, висящих параллельно в пустом межгалактическом пространстве (там, где школьник искал наклонную плоскость – а почему ее там нет?). Мимо пролетает ион  $\text{H}_3^+$  (запрос – «*трехатомный водород*») и с изумлением видит, что между блинами втиснулись два муравья (это мог бы сделать и один, но вдвоем веселее), которые в соответствии с третьим законом Ньютона их расталкивают. Сообразите, как должны расположиться муравьи и как они должны прикладывать силы, чтобы диски, т. е. галактики, начали вращаться и медленно расходиться.

Попутно заметим, что звезды и галактики вращаются не как твердое тело, не в соответствии с  $\omega = \text{const}$  и  $v \sim r$ , они вращаются иначе – линейная скорость звезд не падает с удалением от центра, а почти постоянна, запросы: «*дифференциальное вращение звезд*», «*вращение галактик*». Вращение галактик очевидно связано с распределением массы, поскольку второй закон Ньютона должен выполняться и суммарная сила, направленная к центру, должна соответствовать ускорению. Поэтому сейчас считается, что мы наблюдаем не всю массу, что существует еще «темная материя», проявляющаяся только в гравитации. Есть, как всегда в физике, и другие гипотезы. Недавно, кстати, наблюдали *галактики без темной материи* (судя по параметрам вращения, разумеется).

Заметим, что вращение могут вызвать не только силы, расталкивающие части объекта (что-то типа взрыва, расширения чего-то внутри), но и силы, возникающие при столкновении; **нарисуйте два шарика, радостно летящие навстречу друг другу, но соударяющиеся не центрально [2.8]**, и сообразите, как они будут двигаться дальше.

## [2.8]

1. Сначала вернемся к нашим веселым муравьям. Если они создают силы, направленные вдоль оси дисков, они начнут расходиться, а если силы, лежащие в плоскости дисков, – то вращаться. Что же касается сталкивающихся не центрально шариков, то они разлетятся под углами. А при каком условии они начнут вращаться?
2. Если в момент столкновения будут действовать касательные силы – силы трения, если произведение таких сил на время столкновения будет не равно нулю, возникнет вращение. Заметим, что при этом будет взаимное перемещение шариков, силы трения совершат работу, а значит – соударение будет не вполне упругим.