

*Памяти Наташи Кленецкой,  
многие годы – первого читателя и лучшего критика*

# Оглавление

<b>Предисловие</b> .....	<b>9</b>
Несколько технических замечаний.....	11
<b>Лекция первая. Модели в физике и в школе</b> .....	<b>16</b>
Попытка классификации .....	16
Приближение к оси абсцисс.....	19
Примеры моделей из школьных учебников .....	20
Теперь поговорим о задачах.....	21
Фразы, разрешающие применить тот или иной закон (и что делать, если их нет) .....	23
Допущения, позволяющие не учитывать параметр, который мы могли бы учесть.....	24
Допущения, позволяющие не учитывать параметр, который мы учесть не можем – разве что ценой сильного упрощения модели. ....	25
<b>Лекция вторая. Как физики рисуют графики</b> .....	<b>28</b>
<b>Лекция третья. Массоперенос</b> .....	<b>47</b>
Весь мир – массоперенос .....	47
Катодное распыление .....	52
Диффузия .....	54
Самодиффузия.....	56
В природе и технике .....	61
Полировка и шлифовка.....	63
Теперь про диффузию ртути в воде .....	66
<b>Лекция четвертая. Удар и его звук</b> .....	<b>72</b>
Прямой и центральный.....	72
Разные варианты .....	75
Другие характеристики.....	78
Бум и шшш .....	80
Что при трении .....	82
<b>Лекция пятая. Тепло и обмен</b> .....	<b>85</b>
Сначала – о Максвелле и о среднем .....	85
Выведем несколько формул.....	88
Механизмы теплообмена.....	91
Трубы для тепла .....	95
Теперь обсудим излучение .....	99
Все ли при нагреве расширяется .....	105
Почему еще изменяются размеры .....	107
Отрицательные давления .....	110
Теплоизоляция и электроизоляция.....	112

<b>Лекция шестая. Ускоряя испытания</b> .....	<b>116</b>
Это общетехническая задача .....	116
От чего зависит срок службы .....	118
Сложности с экстраполяцией .....	121
<b>Лекция седьмая. Что происходит при контакте</b> .....	<b>126</b>
Проблемы с поверхностью .....	126
Сопротивление и нагрев .....	128
Теперь о сложном .....	130
Проблемы эксплуатации .....	131
Выбор материала .....	135
Дребезг, ртуть, «свинка», градусник .....	137
<b>Лекция восьмая. Электризация трением</b> .....	<b>140</b>
Немного истории .....	140
Причина явления .....	142
Процесс при раскалывании .....	143
<b>Лекция девятая. Электрический пробой</b> .....	<b>146</b>
Свет и звук между тучей и землей .....	146
Как бьет молния .....	147
Неустойчивость и пробой в твердых и жидких диэлектриках .....	149
Самый лучший изолятор – вакуум .....	151
Пробой по поверхности и неустойчивость .....	154
<b>Лекция десятая. Зачем нам свет</b> .....	<b>161</b>
Чтобы видеть .....	161
Почему оптика .....	164
Нам повезло .....	168
Неоднородные среды .....	170
Преломление .....	174
Расширяя диапазон .....	177
Проблемы оптоволокну .....	182
<b>Лекция одиннадцатая. Механика вокруг нас</b> .....	<b>186</b>
Подчинение законам механики .....	186
Счетчик Гейгера .....	187
Окно для энергии .....	188
Опять окно – для микроскопа .....	189
Выпусти электрон на волю .....	190
Сколько атомов может поместиться на острие иглы? .....	191
Вакуумный пробой .....	192
Еще два микроскопа: сканирующий туннельный и атомно-силовой .....	193
Механотрон .....	194
Изотопный мотор .....	195
Нано: электроника и трение .....	196
Если не будет прочности .....	196
Прочность и жесткость .....	197

Про плотность.....	200
Пластичность и ее братец Пуассон.....	202
Условия жизни.....	203
Очень коротко и очень долго.....	205
Размер тоже бывает важен.....	206
В космос – на безвоздушном шаре?.....	209
И в заключение – обсудим лестницу.....	212
<b>Лекция двенадцатая. Композиты.....</b>	<b>217</b>
Про что можно сказать «это новое».....	217
Новые материалы.....	219
Кого называют композитами.....	222
Несколько примеров композитов.....	224
Еще одна группа – активные материалы.....	225
<b>Лекция тринадцатая. Что такое поверхность.....</b>	<b>230</b>
И кто ее придумал.....	230
Параметры и описания.....	233
Пример ситуации – термокатод.....	237
Проявить твердость.....	238
Трение.....	240
Адгезия.....	243
<b>Лекция четырнадцатая. Откуда давит атмосфера.....</b>	<b>248</b>
Почему $N = mg$ .....	248
Щель под вещами.....	249
Визит в историю.....	251
Как они работают.....	253
Трение качения.....	256
<b>Лекция пятнадцатая. МГД-генератор.....</b>	<b>258</b>
На мосту через Темзу.....	258
Принцип и параметры.....	259
Как обеспечить проводимость.....	261
Проблема канала.....	263
Перспективы применения.....	264
<b>Лекция шестнадцатая. Свеча, которая не светит.....</b>	<b>267</b>
Зачем она нужна.....	267
Проблемы и решения.....	267
Несколько – лучше.....	270
Немного о радиотехнике.....	271
<b>Лекция семнадцатая. Источники электричества.....</b>	<b>273</b>
Сначала – кое-что о силах.....	273
Эквивалентная схема – что это?.....	274
Об устройстве батарейки.....	277
Необычные источники.....	279
В кабинете физики.....	284

<b>Лекция восемнадцатая. Кто нас хранит</b> .....	<b>288</b>
Зачем нужны предохранители .....	288
Наверное, самый древний .....	291
Биметаллический, то есть из двух металлов .....	293
Теперь – электромагнит .....	294
Зазор для искры .....	295
Самовосстанавливающийся, но медленно .....	296
И наконец – цифровое царство .....	297
Вишенка на торте .....	297
<b>Лекция девятнадцатая. Сильные магнитные поля</b> .....	<b>299</b>
Зачем это нужно .....	299
Как их получают .....	300
Проблема прочности .....	301
Проблема теплоотвода .....	302
Криогенные соленоиды.....	304
Сверхпроводящие соленоиды .....	305
Коротко, но сильно .....	306
<b>Лекция двадцатая. Проблемы резистора</b> .....	<b>312</b>
Зачем вообще нужны резисторы.....	312
Как и почему рисуют сопротивления.....	316
Из чего нам делать резисторы .....	319
Любимая формула .....	322
Хочется независимости.....	324
Еще шесть проблем .....	327
Управление резистором.....	331
Механически управляемые резисторы .....	332
<b>Лекция двадцать первая. Проблемы конденсатора</b> .....	<b>338</b>
Насколько мал должен быть зазор .....	338
Неправильно заряженный конденсатор.....	341
Технические проблемы .....	345
<b>Лекция двадцать вторая. Переменность и индуктивность</b> .....	<b>353</b>
Устройство этой лекции .....	353
Переменность конденсаторов .....	353
Цилиндрические конденсаторы.....	361
Лампа с переменными параметрами.....	363
Переменные индуктивности .....	366
Чуть-чуть о проблеме контакта .....	370
Проблемы индуктивностей.....	371
<b>Лекция двадцать третья. Проблемы электровакуумных</b> .....	<b>375</b>
О чем эта лекция.....	375
Поле управляет током .....	377
Куда летит электрон .....	378
Проблемы с вакуумом .....	379

---

Проблемы сетки .....	382
Проблемы катода .....	384
Проблемы КПД .....	386
Принцип «собратиться в кучку» .....	388
Принцип «взаимодействовать с полем» .....	389
О новых принципах .....	390
Когда не вмещается .....	391
А теперь о втором направлении .....	394
Автоэмиссия .....	395
Немного о мрачном .....	396
Когда остриев много .....	397
<b>Лекция двадцать четвертая. Да будет свет .....</b>	<b>400</b>
Человек и источники света .....	400
Что такое белая бумага .....	402
Физика ламп накаливания .....	404
Галогенки .....	406
Цена включения .....	411
Экскурс в минералогию .....	413
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>420</b>

# Предисловие

Будь электриком – тяни кабель.  
И надейся, что твои ученики включают свет.

*Из интернета*

Главная идея этой книги – показать, как работает физика, причем используя в качестве основы школьный курс физики и окружающий мир. Если вы будете понимать, как физика работает и зачем она нужна, то ваше удовольствие увеличится: сейчас – от ее изучения, а в будущем – от деятельности, связанной с ней. Или от ее применения в химии, биологии, инженерном деле и вообще везде, где вы будете работать. Потому что одно из самых сильных удовольствий, которое может получить человек, – это удовольствие от работы в науке и инженерии.

Поговорите с теми, кто занят в этих областях, и вы все поймете.

Темы занятий по физике можно разделить на три группы. Первая группа – **законы физики и их применение для решения задач**. Это основной материал любого учебника физики. Он обширен и доступен, в том числе через интернет, а потому в этой книге такого материала практически нет. То есть будем считать, что школьную физику вы в общих чертах знаете. По крайней мере формально, то есть фóрмульно – на уровне «знать формулу в лицо». То есть помнить смысл формулы и отдельных букв и уметь своими словами поведать об этом смысле не только преподавателю, но и сиблингу.

В некоторых учебниках сделана попытка показать связь законов физики и реального мира, и законы постоянно иллюстрируются применением к реальным объектам. Это учебники по общей физике: Э. Роджерс, «Физика для любознательных»; «Физика» группы авторов, перевод под ред. А. С. Ахматова; Л. Эллиот и У. Уилкокс, «Физика»; Дж. Б. Мэрион, «Общая физика с биологическими примерами»; А. В. Бармасов и В. Е. Холмогоров, «Курс общей физики для природопользователей». Попутно заметим, что именно так были построены русскоязычные и переводные и оригинальные учебники по физике XVIII и начала XIX века.

Далее, известны книги, в которых основа рассмотрения – объекты и процессы, причем их можно несколько условно разделить на три группы. Одна группа – это природные явления. Известны книги, содержание которых – рассмотрение применения физических моделей и законов к явлениям

природы. Например, Л. В. Тарасов, «Физика в природе» и книги К. Ю. Богданова «Прогулки с физикой», «Физик в гостях у биолога», «Не только о физике яйца». Это полезные и замечательно интересные книги. Другие две группы объектов – это всякого рода бытовые устройства, то, что стоит у вас на кухне и в ванной, и разного рода технические устройства. Между этими двумя группами нет резкой границы, поэтому в книге Луис А. Блумфилд «Как это работает» есть и бытовые объекты, и технические, причем первые преобладают. Что вполне гармонирует с детским языком и «разжевыванием». В книге, которая предлагается вашему вниманию, разжевывания меньше, а преобладают технические объекты. Можно несколько условно сказать, что это книга для старших школьников, а перечисленные выше в этом абзаце – для младших. Но на самом деле надо просто попробовать. И кстати, скорее всего обнаружится, что какие-то разделы вам понравятся в одной, а какие-то в другой.

Итак, вторая возможная группа тем занятий по физике – это **объекты окружающего мира, естественные и искусственные, и процессы окружающего мира, тоже естественные и искусственные**. Объектам и процессам мы уделим примерно одинаковое внимание. Этого материала мало в учебниках, а у нас он как раз будет основным. В начале каждой лекции будет говориться о том, какие объекты или процессы здесь выступают основной темой. И концентрация на показе работы физики сделает эти лекции непохожими на другие учебники.

Однако при таком подходе сложнее установить связь с законами физики. Объект и процесс часто связаны с несколькими законами, поэтому хорошо бы, чтобы школьная физика была у вас «в оперативной памяти». Возможно, иногда вам будет полезно освежать в памяти какие-то части школьного курса. Этого не надо стесняться. Потому что книги для того и предназначены – чтобы их читали.

Что касается объектов и процессов, которые мы будем рассматривать, то приоритет будет отдаваться **знакомым объектам и процессам** – в книге их примерно втрое больше, чем тех, с которыми вы встретитесь впервые. Но мы, наверное, обнаружим нечто новое и в знакомых вещах.

Кстати, вопрос (а в физике содержательный вопрос всегда кстати): *если знакомых объектов/процессов втрое больше, чем незнакомых, то какую долю от общего числа составляют знакомые?* Никаких подсказок, решайте сами!

Именно так, курсивом, в этой книге будут оформлены вопросы. Их у нас будет много, потому что от них удовольствие.

Психологически важно увидеть физику в знакомой вещи. Конденсаторы и резисторы – не только рисуночки на доске и не задачи ЕГЭ для дрессировки школьников. Сотни этих вещей обитают у вас в кармане, а вам даже не рассказывали, что они там делают и зачем вообще они нужны. Выключатели и предо-



хранители живут вместе с нами, включают нам свет и чайник, защищают нас от неприятностей, а иногда спасают нам жизнь. Мир полон физики.

Наконец, третья группа тем занятий по физике – **связи окружающего мира и мира физики**. Это примеры **физических моделей и способов представления данных**. Такой материал еще реже попадает в учебники, а вот у нас он будет. Правда, в небольшом объеме, поскольку мы решили не слишком далеко уходить от школьного уровня.

**Идею лекций, в которых исходным является не закон физики в виде буковок на доске, а реальный объект, мне предложили ученики нашей школы FMSH.RU.**

## Несколько технических замечаний

Как уже было сказано выше, вопросы в тексте оформлены *курсивом*. Вы можете пытаться на эти вопросы отвечать – и получать дополнительное удовольствие от формулирования ответа.

В книге ответы приводятся не всегда, и их может не быть по нескольким причинам. Во-первых, вопрос может быть столь прост, что мне стыдно обижать вас приведением ответа. Во-вторых, я могу знать ответ, но не понимать, как сделать его компактным и понятным для вас. В-третьих, я могу не знать ответа. В-четвертых, мне кажется правильным, чтобы вы сами иногда добывали ответ. Потому что я знаю, какое это удовольствие – самому найти ответ. И хочу, чтобы вы тоже получили это удовольствие.

В некоторых случаях после вопросов в тексте приводятся не ответы, а подсказки. А еще – внутри ответов могут крыться очередные вопросы. Так уж устроена физика.

Кроме того, у вас самих могут возникать вопросы. Это очень хорошо, потому что возникновение вопроса свидетельствует о том, что вы достигли важного уровня понимания. Лучшее, что я могу для вас сделать, – показать, как возникают вопросы. В надежде, что они начнут возникать и у вас. А потом вы придете к ответам – и ответы неожиданно придут к вам.

Вся книга, за исключением предисловия, делится на лекции; их 24 – чтобы при серьезной работе их все можно было усвоить за сутки (шутка! далее по тексту шутки тоже есть, и, в отличие от этой, они особым образом не помечаются). Слово «лекции» употреблено условно – по плотности вопросов материал местами напоминает семинар, а может, и развлечения перипатетиков. Насколько я помню, в Древней Греции всегда была хорошая погода. Зато не было интернета, где вы всегда можете найти значение неизвестного вам термина; а такие термины в тексте могут попадаться – но

пугаться этого не надо. Впрочем, реальный стиль занятий зависит и от материала, и от преподавателя, и от вас. *Не хотите попробовать построить модель явления?* Для начала подумайте, от каких параметров материала, преподавателя и вас самих зависит итоговый стиль. Именно так часто начинают строить физические модели – с размышления о параметрах. А этот мой вопрос – пример вопроса, на который не удастся дать короткий ответ. Что, впрочем, не делает вопрос менее интересным.

Объем текста по разным темам различен, есть лекции подлиннее и покороче. Использование этого материала зависит от вас и ваших преподавателей. В особенности – от ваших вопросов к преподавателям. Любая тема может быть расширена, любая информация может быть дополнена – опять же, в зависимости от проявленного интереса. В книге даются многочисленные ссылки на дополнительную литературу. Любую из этих публикаций вы легко найдете по автору, названию и выходным данным; в ряде случаев, если поиск может быть затруднен, приводятся ссылки на интернет-источники.

Порядок расположения лекций таков. Первые две – как раз самые редкие в этом комплекте лекции о физических моделях и способах представления данных. Первая наиболее близка к школьной физике, а вторая наиболее далека от нее. Это нарочно, чтобы вы сразу ощутили широту диапазона. Далее следуют восемь лекций о процессах – примерно в традиционном порядке: механика, тепло, электричество, оптика. Порядок соблюдается не жестко, потому что многие процессы затрагивают несколько разделов. Следующие 14 лекций об объектах расположены примерно в том же порядке. Он и тут не отчетлив – в физике это постоянно. Но какой-то порядок все же надо было соблюдать, не правда ли?

Часть материала этой книги может показаться вам знакомой, и это не случайно. Кое-что было опубликовано ранее в журнале «Квант», но в сокращенном виде.

А теперь для разогрева посмотрите на эти картинки, вспомните формулы из школьного курса и сообразите, к чему на рисунках относится каждая формула. Картинки расположены попарно: первая – исходная, вторая – с формулами. По первым картинкам из каждой пары ни у кого вопросов не возникнет, но что вы скажете по поводу вторых?.. Занятия физикой могут привести к тому, что при взгляде на окружающий мир вы всегда будете видеть нечто подобное. Нет, это не глюки, это отблески параллельного мира – мира Физики.



Рис. 1а

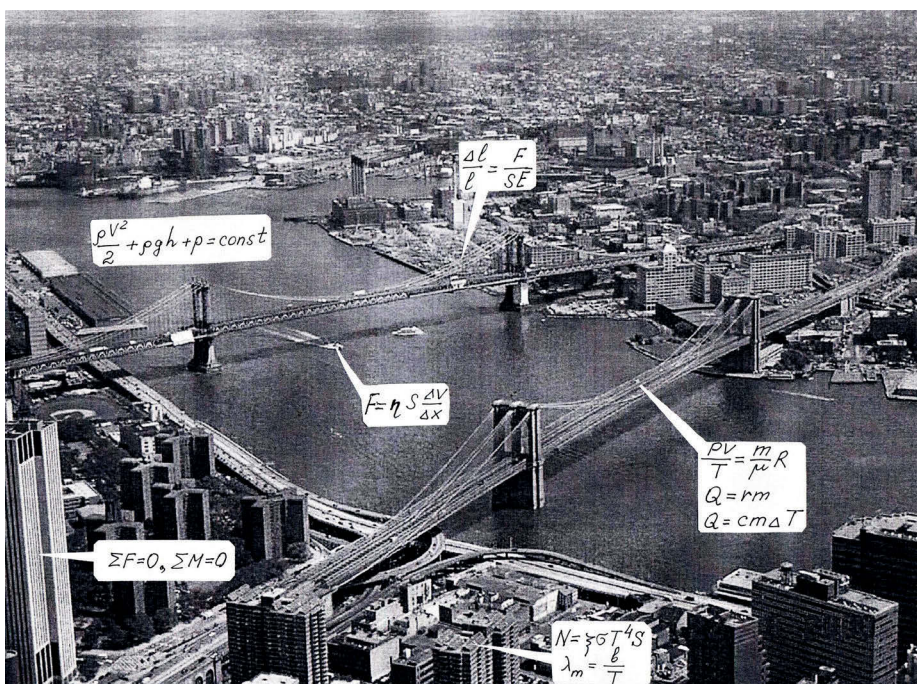


Рис. 16





Рис. 2а



Рис. 2б



Рис. 3а

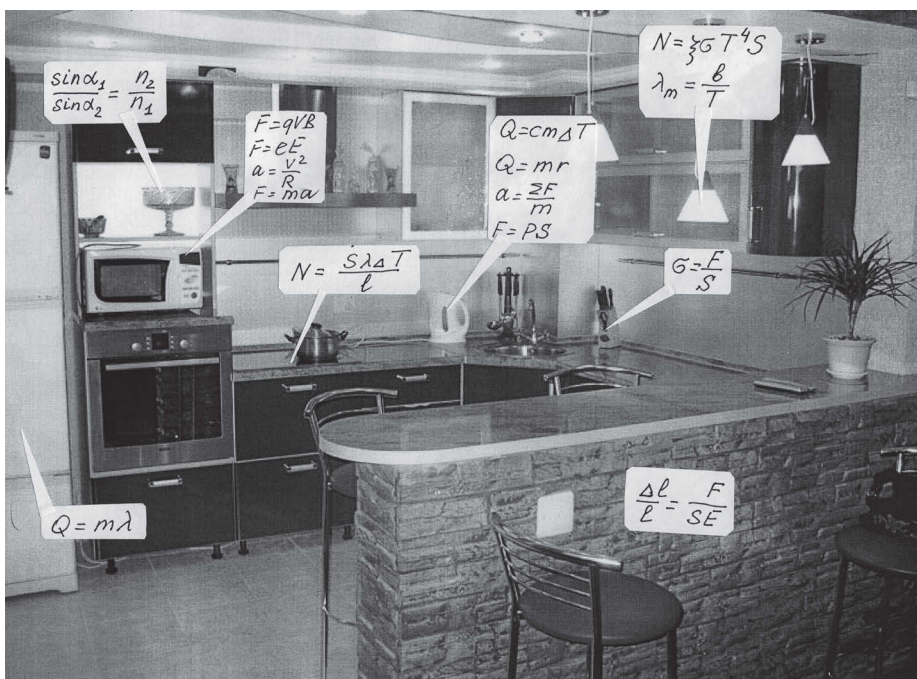


Рис. 3б

# ЛЕКЦИЯ ПЕРВАЯ

---

## МОДЕЛИ В ФИЗИКЕ И В ШКОЛЕ

В этой лекции в основном рассказывается о том, какие модели применяются в школьных учебниках.

На какие упрощения мы идем ради того, чтобы у задач было решение, притом единственное. Всеми этими упрощениями и приближениями вы будете пользоваться – но желательно пользоваться ими осознанно, и вот почему. Если вы будете прибегать к ним автоматически, привычно и бездумно, это может осложнить ваше дальнейшее продвижение, то есть изучение физики на более серьезном уровне.

Итак, приступим...

### Попытка классификации

Физика отличается от математики тем, что в ней нельзя быть уверенным, что задача решена до конца. Скорее, можно быть уверенным в обратном. Потому, что физика – одна из так называемых естественных наук (*можете назвать другие естественные науки?* Да, например, химия и биология. *А еще?* А еще сами), то есть наука, относящаяся к природе. Наука, которая рассматривает объекты и процессы, наблюдаемые (или предположительно наблюдаемые) в природе. Или созданные человеком – впрочем, такие объекты и процессы ведь тоже наблюдаются в природе.

Математика отчасти относится к природе – но опосредованно, через естественные науки. Реальные физические задачи могут быть решены только для некоторых условий и с некоторой точностью – хотя бы потому, что физические законы имеют ограниченную точность. Если же мы изначально оговорим, какие законы считаем соблюдающимися точно, и договоримся пренебрегать всем остальным, то есть сведем физику к некоторой ограниченной модели, то тогда станут возможными точные и окончательные решения. Именно так почти всегда поступают в школе с физикой и химией, создавая неправильное представление о науках.

Задачи, имеющие отношение к физике, можно разделить на «задачи по физике» и «физические задачи». Задачи по физике – учебные: те, которые встречаются в задачнике, на экзамене, в том или ином задании. Физические задачи – те, которыми занимается «практикующий физик» или кото-

рые ему интересны. Для обучения физике можно применять и те и другие, но надо понимать разницу.

Деление это не вполне строгое; например, есть два задачника – Джирла Уокера и Петра Леонидовича Капицы, – где существенная часть задач вполне заслуживала внимания физиков, в том числе их авторов. Другое дело, что многие из опубликованных там задач не были Серьезными Научными Задачами, а были, скорее, приятным развлечением. Но если приглядеться повнимательнее, то мы увидим в них важную черту, которая объединяет их с теми самыми «всерьез серьезными» задачами. С которыми вы встретитесь, когда войдете в эту великую игру – Физику. На первый уровень.

Эта черта – не очевидность модели. Решая любую задачу, мы что-то учитываем, а что-то – нет. Школьные задачи таковы, что мы всегда знаем, что можем учитывать: кроме задачника есть учебник, там все написано. Школьная задача – это задача на определенный закон, на определенное правило, они и в задачнике группируются по законам. В серьезной физике все иначе, здесь мы ничем не ограничены – кроме нашего сегодняшнего знания. Есть, впрочем, традиции: например, при рассмотрении движения Земли и даже Луны мы не учитываем давление солнечного света и даже это не обосновываем и не упоминаем. Но при меньших размерах объекта это давление придется учитывать – хоть оно и стало меньше. *Кстати, как вы думаете, при каких размерах?* Это вы даже можете посчитать.

Некоторые из школьных упрощений радикально облегчают решение задач, причем при каких-то условиях эти упрощения не приводят к принципиальным противоречиям. Примеры общеизвестны – пренебрежение сопротивлением воздуха при движении тела в атмосфере, постоянство удельного сопротивления при изменении тока, независимость коэффициента трения от давления и скорости, равенство максимального трения покоя и трения движения, идеальность газов, бесконечная жесткость и прочность опор, нерастяжимость и невесомость веревок и т. д. *Все эти примеры вы сами знаете, но объясните, при каких условиях они не приводят к противоречиям. И попробуйте вспомнить другие школьные примеры.* Подсказывать не буду.

Некоторые из школьных упрощений могут не использоваться, и задача не сильно усложнится. А может, даже упростится. Например, если не равны максимальное трение покоя и трение движения, некоторые задачи упрощаются. Иногда возможно рассмотрение какого-то частного случая, иногда – построение компьютерной модели. В любом случае попытка избавиться от того или иного упрощения полезна для расширения кругозора.

Однако среди школьных упрощений есть такие, которые в принципе нарушают логическую связность курса. Можно спросить, почему мы не учитываем излучение энергии при решении задач с коммутацией (пере-

ключением) или при рассмотрении колебательного контура, хотя об излучении ускоренно движущегося заряда в учебнике упоминается. *Почему мы не учитываем давление атмосферы при определении реакции опоры (взвешивании)?* Она же сверху и давит со страшной силой! Иногда рассмотрение потребует учета тех свойств объекта, которыми мы обычно пренебрегаем. *Почему мы не учитываем перепад давления по высоте при рассмотрении гидравлических задач (сообщающиеся сосуды разного сечения, два поршня, сравнить силы и работы)?* Почему не учитываем архимедову силу при определении реакции опоры (взвешивании)? Иногда потому, что учесть это трудно, а на практике эффект мал, вот им и пренебрегаем. *Действительно ли он несуществен и что в данном случае значит «эффект мал»?* Попробуйте разобраться сами.

Однако, при всем уважении к первому закону Ньютона, действовать «по инерции», без понимания, не стоит – хотя бы потому, что упрощение, допустимое в одних условиях и для одних задач, может оказаться недопустимым в других условиях или для других задач. Есть такие упрощения, которые применяются в школьном курсе физики, но при попытке разобраться оказываются достаточно сложными. Однако рассмотреть их может быть полезно и интересно.

*Почему мы прикладываем гравитацию, то есть « $mg$ », в центре тяжести, то есть в точке?* Точки бывают только в математике, в физике их не бывает. Далее, при приложении конечной силы к маленькой площадке возникают большие механические напряжения. Так, при приложении  $mg$  к центру тяжести человека, причем даже не к «точке», а площадке, например,  $1 \text{ мм}^2$ , механические напряжения будут больше прочности материала. И эта «точка» прорежет ваше туловище, вывалится между ног и со свистом полетит к центру Земли. А туловище, лишившись веса, перестанет давить на пол, ваши ноги от него отделятся и вы неспешно полетите вверх. *Кстати, это простая задача – с какой скоростью полетите?* Посчитайте сами. *А что будет, если центр тяжести оказался не в материале, а в пустом месте? Пустое место со свистом полетит к центру Земли?* Странно...

Разумеется, не к точке приложены и реакция опоры, и трение, и капиллярные силы. Этим последним повезло – рисуя капилляр, их изображают все-таки две, а не одну, как бедную гравитацию. *Почему бы вам не рассмотреть, что такое распределенные силы?* Кстати, у строителей и специалистов по сопротивлению материалов, которые живут и мыслят балками, фермами и мембранами, предложение приложить собственный вес элемента в центре тяжести вызовет смехок. На самом деле ситуация такова: есть задачи, где модель «сила приложена к точке» позволяет получить правильный ответ, но есть и другие задачи. Задачи строителей – другие.



Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)