

Приложение к журналу

КВАНТ

№6/2004

А.А.Леонович

ФИЗИЧЕСКИЙ КАЛЕЙДОСКОП

Выпуск 2

Бюро



Квантум

А.А.Леонович

**ФИЗИЧЕСКИЙ КАЛЕЙДОСКОП,
или Фрагменты из жизни
замечательных людей, идей
и понятий**

Выпуск 2



Москва 2004
Бюро Квантум

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721
Л77

Приложение
к журналу «Квант»
№6/2004

Л77 Леонович А.А. **Физический калейдоскоп**. Выпуск 2. – М.:
Бюро Квантум, 2004. – 128 с. – (Прил. к журналу «Квант»
№6/2004)

ISBN 5-85843-053-8

Книга представляет собой сборник материалов раздела «Калейдоскоп «Кванта» по физике», опубликованных в журнале «Квант» в течение последних десяти лет. Включает в себя множество фрагментов из жизни замечательных людей, идей и понятий.

Для учащихся и преподавателей средних школ, лицеев и гимназий, для членов и руководителей физических кружков и факультативов, а также для всех тех, кому просто интересна физика.

ББК 22.3я721

ISBN 5-85843-053-8

© Бюро Квантум,
«Квант», 2004

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Время	5
Относительность	9
Плотность	12
Трение	16
Деформации	19
Вес и невесомость	23
Равновесие и устойчивость	27
Центр масс	31
Соударения	35
Резонанс	39
Движение жидкостей и газов	43
Идеальный газ	46
Теплота и работа	50
Явления переноса	54
Электрический заряд	58
Закон Кулона	62
Потенциал	66
Электрохимия	70
Электричество и теплота	74
Световые лучи	78
Преломление и отражение света	81
Оптические построения	85
Оптические приборы	89
Фотометрия	93
Энергия связи	97
Ответы	101

ПРЕДИСЛОВИЕ

В этой книге собраны материалы раздела «Калейдоскоп «Кванта» по физике» за последние десять лет.

«Калейдоскоп «Кванта» – авторская форма, полностью придуманная и воплощенная в реальность одним человеком, Александром Анатольевичем Леоновичем, который оставался ее автором все двадцать лет существования этого раздела. Выпуски «Калейдоскопа» за первые десять лет составили содержание одного из первых Приложений к журналу «Квант», которое вышло в 1994 году.

Каждый выпуск «Калейдоскопа» посвящен одной конкретной теме – иногда достаточно узкой, но порой сформулированной так, что она захватывает многие разделы физики. Этой теме посвящены все разнообразные калейдоскопические «стеклышки» – эпитафьи, введение, вопросы и задачи, микроопыт, любопытные исторические сведения. Все вместе они образуют причудливую и яркую картинку, позволяющую глубже понять и прочувствовать предложенную тему. В свою очередь, собранные в одну книгу калейдоскопы, посвященные различным вопросам физики, образуют большой и яркий физический калейдоскоп, знакомство с которым несомненно доставит нашему читателю огромное удовольствие.

Заметим, что книга эта не совсем обычная. Ее можно читать с любой страницы, перескакивать с места на место, выбирать только то, что покажется интересным, короче говоря, вертеть как хочешь. Одним словом – калейдоскоп...

ВРЕМЯ

Абсолютное, истинное и математическое время течет само по себе и является по собственной природе неизменно равномерным, независимо к чему-либо внешнему.

Исаак Ньютон

Быть может, следует признать тот факт, что время – это одно из понятий, которое определить невозможно, и просто сказать, что это нечто известное нам: это то, что отделяет два последовательных события!

Ричард Фейнман

«Вопрос, что такое время, конечно, интересный, – может сказать читатель. – Даже выдающиеся ученые не могли толком на него ответить. Если полистать научно-популярные книги, то натолкнешься на «четырехмерное пространство – время», «стрелу времени», «волны времени», «необратимость времени», «машину времени» и тому подобное. Или встретишь такое «определение»: «время – это то, что меняется, когда больше ничего не изменяется». Голову сломаешь, прежде чем разберешься. Чего ж вы от нас, бедных школьников, хотите?»

Признаемся, и мы приступали к этой теме с замиранием сердца, настолько она может показаться сложной и бескрайной. Но выход подсказывают сами ученые. Так, Ньютон от абсолютного, данного «свыше» времени отделял понятие «времени относительного, кажущегося и обыденного», под которым подразумевал время, измеряемое приборами. И Фейнман предлагает не мучиться над поисками определений времени, а научиться как следует его измерять.

Изобрели же люди часы, да еще какие! Водяные, солнечные, песочные, механические, кварцевые, атомные... Обнаружили подходящие периодические процессы, ввели эталоны времени, наловчились измерять ничтожно малые его промежутки. Значит, можно быть со временем «на ты»?

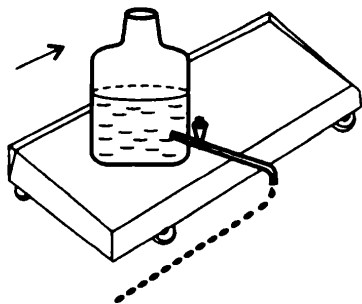
Опубликовано в «Кванте» №1 за 1999 год.

Не будем торопиться с выводами – у этого понятия еще много секретов. С их раскрытием ученые связывают новый взлет науки. Пока же, не теряя нашего «обыденного» времени, поразмышляем, таким ли уж заурядным предстает оно даже в школьных задачах. Вспомните Наума Коржавина:

Время? Время дано.
Оно не подлежит обсуждению.
Подлежишь обсуждению ты,
Разместившийся в нем.

Вопросы и задачи

1. Какому требованию должны отвечать солнечные часы, чтобы давать верные показания в любое время года?

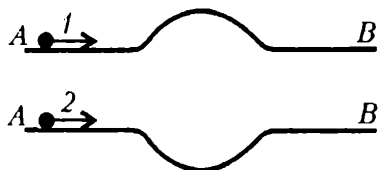
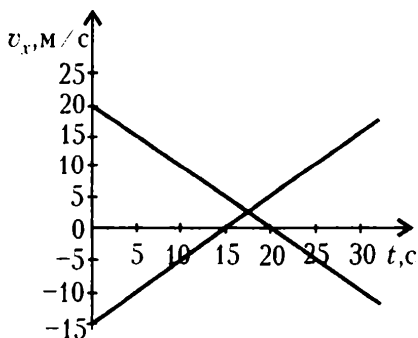


2. Расположатся ли на одинаковом расстоянии друг от друга чернильные капли (вспомните известный школьный опыт), падающие из капельницы при равномерном движении тележки?

3. Два катера идут по реке в одном направлении, но с разными скоростями. Они одновременно поравнялись с плывущим по течению плотом, затем через полчаса повернули и с прежними относительно воды скоростями направились обратно. Какой из них достигнет плота раньше?

4. На рисунке приведены графики зависимости проекции скорости от времени для двух тел, движущихся вдоль оси X . Какой физический смысл имеет точка пересечения графиков? Можно ли по графикам узнать, в какой момент времени встретятся тела?

5. Два шарика начали одновременно и с одинаковыми скоростями двигаться из точек A по поверхностям, изображенным на рисунке. Одновременно ли они достигнут точек B ? Трением пренебречь.



6. Из окна вагона падает тело. Будут ли равны между собой времена его свободного падения (с одной и той же высоты) для случаев: а) вагон неподвижен; б) вагон движется с постоянной скоростью; в) вагон движется с постоянным ускорением?

7. Тело брошено под углом к горизонту. Что займет больше времени – подъем или спуск, если не пренебрегать сопротивлением воздуха?

8. На дне закрытой пробирки сидит муха. Пробирка свободно падает, оставаясь в вертикальном положении. Как изменится длительность падения, если муха за это время перелетит из нижней части пробирки в верхнюю?

9. Через неподвижный блок переброшен длинный канат, на концах которого неподвижно висят на одной высоте над землей два гимнаста с одинаковыми массами. Первый гимнаст начинает подниматься с постоянной относительно каната скоростью, второй – опускаться тоже с постоянной скоростью, но в два раза меньшей. Кто из них раньше достигнет блока?

10. Зависит ли вес песочных часов от того, течет в них песок или нет?

11. Мальчики, разогнавшись до некоторой скорости, переезжали на коньках по тонкому льду с одного берега реки на другой. Когда один из них остановился, лед под ним проломился. Почему это произошло? Толщину льда считать везде одной и той же.

12. Определите период колебаний математического маятника в космическом корабле после выключения двигателей.

13. Груз совершает колебания на резиновом шнуре. Во сколько раз изменится период вертикальных колебаний груза, если его подвесить на том же шнуре, сложенном вдвое?

14. Для чего при радиолокации электромагнитные колебания излучаются короткими импульсами, а не непрерывно?

15. Отчего молнию мы видим короткое время, а гром от нее слышен долго?

Микроопыт

Перекиньте через какой-нибудь крючок в потолке шнур, привяжите к одному его концу небольшой груз и, слегка раскачав, понемногу поднимайте груз, «выбирая» другой конец шнура. Как при этом изменяется период колебаний груза?

Любопытно, что...

...известны солнечные часы с линзой и пушкой. Увеличительное стекло фокусировало солнечные лучи на запале пушки и

поджигало его в определенный момент – к примеру, в полдень. Пушка стреляла, возвещая всем в округе время.

...в древнегреческих водяных часах (клепсидре) время отсчитывалось по уровню воды в сосуде с небольшим отверстием. Чтобы вода вытекала равномерно, форма сосуда должна определяться уравнением четвертой степени.

...в одной альпийской деревне в мастерской часовщика висел плакат «Эти часы показывают точное время». Хозяин каждый день проверял часы по колоколу из обсерватории монастыря. Выяснилось, что тамошние монахи определяли время не по наблюдениям за звездами, а именно по этим часам в деревне.

...в средние века повсюду употреблялись песочные часы, а в Нюрнберге, например, местные щеголи носили их, прикрепив к колену.

...лишь в 1659 году Гюйгенсу удалось решить важную задачу создания часов, ход которых регулировался одним только изменением длины маятника.

...на работу над уникальными часами в форме яйца российский изобретатель-самоучка И. Кулибин потратил два года. Часы состояли из 427 деталей, различимых только в лупу, отбивали каждые четверть часа и ежечасно «давали» представление крохотного театра с музыкой и колокольным звоном.

...расчеты, проведенные с помощью радиоактивных часов, основанных на оценке количества распавшихся атомов радиоактивного изотопа, позволяют узнать возраст Земли и всей Солнечной системы.

...пузырьковые камеры, служащие для детектирования элементарных частиц, позволили уже в пятидесятые годы нашего века определять среднюю продолжительность жизни частиц до величины порядка 10^{-11} секунды.

...кратчайший интервал времени, который еще хоть как-то проявляется в экспериментальных результатах, равен $3 \cdot 10^{-27}$ секунды. Столько нужно свету для прохождения вдоль «диаметра» электрона, не превышающего, по оценкам, 10^{-18} метра.

...настоящей «машиной времени» вполне можно считать современный крупный телескоп – ведь с его помощью можно наблюдать за событиями, произошедшими миллиарды лет назад.

...до недавнего времени самыми точными атомными часами были американские – они не должны отстать или уйти вперед даже на секунду за ближайшие три миллиона лет. Однако в Германии готовы побить рекорд – погрешность новых часов составит одну секунду за миллиард лет.

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ

В море из порта идем и отходят и земли, и грады.

Вергилий (I в. до н.э.)

Два события, одновременные при наблюдении из одной координатной системы, уже не воспринимаются как одновременные при рассмотрении из системы, движущейся относительно данной системы.

Альберт Эйнштейн

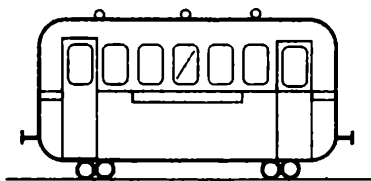
Понятие относительности будоражило умы ученых и в древности, и в средние века, и сегодня. Касается оно как самых привычных, обыденных, земных, явлений, так и вопросов, связанных с устройством нашего мира в целом. Более того, возникнув при попытках описания простейших видов движения, оно «проросло» в самые, фундаментальные проблемы современной науки, заставив пересмотреть многие, казалось бы, незыблемые ее положения. Можно смело сказать, что относительность красной нитью проходит через всю историю физики. А таких понятий, согласитесь, немного.

Что ж, попробуем проверить, насколько это понятие уже укоренилось в вашем сознании.

Вопросы и задачи

1. Так все-таки что же движется: Земля вокруг Солнца или Солнце вокруг Земли?
2. Какую форму имеет траектория центра Луны?
3. Какова траектория движения точек винта самолета по отношению: а) к летчику; б) к земле?
4. На рисунке показана траектория капли дождя на окне вагона поезда. Можно ли сказать, куда движется поезд?
5. Камень, брошенный вертикально вверх, первую половину пути движется замедленно, а вторую – ускоренно. Означает ли

Опубликовано в «Кванте» №1 за 1996 год.



это, что в первом случае его ускорение отрицательно, а во втором – положительно?

6. Из труб идет дым. Подхваченный ветром, он тянется длинным шлейфом от каждой трубы.

Могут ли два дымовых шлейфа пересекаться?

7. В каком случае летчик реактивного самолета может рассмотреть пролетающий мимо от него артиллерийский снаряд?

8. Эскалатор метро движется вверх со скоростью $0,75 \text{ м/с}$. С какой скоростью должен передвигаться по нему пассажир, чтобы опускаться вниз со скоростью пассажиров, неподвижно стоящих на встречном эскалаторе?

9. Мяч бросили вертикально вверх со скоростью v_0 . Когда он достиг высшей точки подъема, из того же начального пункта с той же начальной скоростью бросили вверх второй мяч. Какова скорость мячей друг относительно друга?

10. Могут ли две точки A и B двигаться в одной системе отсчета по параллельным прямым, а в другой – по пересекающимся?

11. По реке плывут рядом с одной и той же скоростью плот и лодка. Что потребует от гребца лодки меньших усилий: отстать от плота на 15 метров или обогнать его на 15 метров?

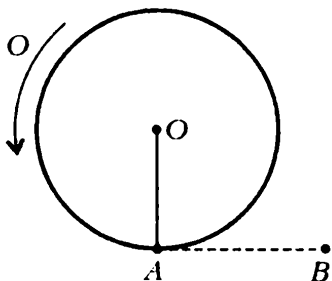
12. Почему самолеты почти всегда взлетают и садятся на взлетную полосу против ветра?

13. Самолет летит по замкнутому маршруту Москва – Курск – Москва на побитие рекорда скорости. В течение всего полета дует постоянный ветер по направлению Москва – Курск. Улучшится или ухудшится рекорд из-за ветра?

14. Круглая горизонтальная платформа вращается вокруг своей оси, как показано на рисунке. На платформе стоит наблюдатель A , на земле – наблюдатель B , причем OB вдвое больше OA . В момент, когда наблюдатель A занимает указанное положение, он движется на наблюдателя B со скоростью 1 м/с .

С какой скоростью движется в этот момент наблюдатель B относительно наблюдателя A ?

15. Мальчик стреляет из пневматического ружья, находясь на платформе поезда, движущегося со скоростью 30 м/с . Скорость вылета пули из ружья также 30 м/с . Будет ли пуля обладать кинетической энергией?



16. Груз, висящий на длинной нити (отвес), притягивается не только к Земле, но и к Солнцу. Не должен ли он утром слегка отклоняться к востоку, а вечером – к западу?

17. При движении друг относительно друга двух расчесок с различной частотой зубьев можно наблюдать перемещающиеся темные и светлые полосы. Способно ли это перемещение происходить со скоростью, большей скорости света?

18. Квазар удаляется от Земли со скоростью, равной половине скорости света. Он испускает регистрируемый на Земле свет. Чему равна скорость этого света относительно нас?

Микроопыт

Сидя в вагоне поезда, понаблюдайте за встречным поездом. Почему сразу после его прохождения кажется, что ваше движение резко замедлилось?

Любопытно, что...

...своим классическим принципом относительности Галилей отвечал на критику перипатетиков – последователей Аристотеля, которые считали, что Земля неподвижна, поскольку летящие птицы не отстают от нее, дальность стрельбы орудий на запад не больше, чем на восток, тяжелые тела падают по вертикали, а не наклонно, и т.д.

...в кабине поднимающегося с ускорением лифта горизонтальный луч света испытывает параболическое искривление, как если бы на него действовало только гравитационное поле. Это лишь один из примеров, приведших к сомнениям о всеобщности применимости евклидовой геометрии и построению теории относительности.

...Лоренц, автор уравнений, положенных в основу специальной теории относительности, так и не смог воспринять основную мысль Эйнштейна об относительном характере одновременности. До конца жизни он пытался отстоять возможность существования абсолютного времени.

...поразительный пример замедления времени представляет распад космического мюона. (Мюон – отрицательно заряженная частица с массой, в 207 раз превышающей массу электрона.) Времена его жизни в собственной системе отсчета и в системе земного наблюдателя отличаются в несколько раз.

ПЛОТНОСТЬ

...плотность Земли оказывается в 5,48 раза больше плотности воды.

Генри Кавендиш

...отношения между давлением, температурой и плотностью в идеальном газе могут быть объяснены, если предположить, что частицы движутся с постоянной скоростью по прямолинейным путям.

Джеймс Клерк Максвелл

Вроде бы, интуитивно ясная, не стоящая в первом ряду физических величин плотность всякий раз приходит ученым на помощь, когда заходит речь о серьезных вопросах: строении вещества, различии в свойствах тел, плавании и летании, тяготении... Список вопросов можно продолжить, так же как и добавить к именам упомянутых известных ученых многих пока незнакомых современников. Они исследуют микромир и устройство звезд, где приходится сталкиваться с чудовищно большими плотностями, необъятный космос и расширяющуюся Вселенную, будущее которой зависит от изменений ничтожно малой плотности материи.

Но даже не забираясь столь далеко, можно обнаружить, как многолика плотность. И действительно, помимо плотности вещества говорят о плотности заряда, тока и энергии; кроме объемной бывает поверхностная и погонная (линейная) плотность. Так что вокруг нас есть много любопытного, связанного с этим понятием, в чем мы вам и предлагаем еще раз убедиться.

Вопросы и задачи

1. Чем поддерживается непрерывное движение воды в системе водяного отопления?
2. Что тяжелее: ящик мелкой дроби или такой же ящик крупной дроби?

Опубликовано в «Кванте» №1 за 1997 год.

3. Выходя из последнего шлюза Панамского канала, корабли медленно wypлывают в океан, не включая ходового двигателя. Какие же силы заставляют их двигаться?

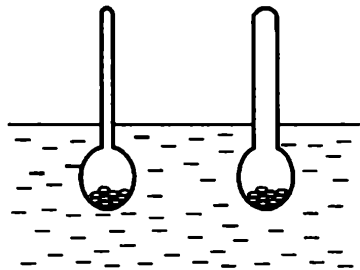
4. Кусок дерева плавает в воде, погрузившись на $3/4$ своего объема. Какова плотность дерева?

5. В сосуде с водой плавает брусок льда. На нем лежит деревянный шар, плотность которого меньше плотности воды. Изменится ли уровень воды в сосуде, если лед растает?

6. Посередине большого озера сделали прорубь. Толщина льда оказалась равной 10 метрам. Какой длины нужна веревка, чтобы зачерпнуть ведро воды?

7. Как, не дожидаясь затвердевания расплавленного вещества, предсказать, что произойдет с его плотностью, если у вас есть кусочек того же вещества в твердом состоянии?

8. Какой из двух изображенных на рисунке ареометров (приборов для измерения плотности жидкости) следует выбрать, чтобы следить за изменениями плотности жидкости с большей точностью?



9. На точных аналитических весах, находящихся под стеклянным колпаком, взвешивают тело. Изменятся ли показания весов, если выкачать из-под колпака воздух?

10. К пружинным весам подвешено тело, погруженное в сосуд с водой при комнатной температуре. Как изменятся показания весов, если жидкость вместе с телом нагреть?

11. На дне сосуда с жидкостью (или газом) лежит тело, плотность которого лишь немного превышает плотность жидкости. Можно ли, увеличивая давление на жидкость, заставить тело подняться вверх? Тело к дну сосуда не прижато.

12. Смешали две равные массы воды с температурами 1°C и 7°C . Изменится ли общий объем воды, когда установится тепловое равновесие? Теплообменом с окружающими телами пренебречь.

13. Внешнее давление на воду увеличивают. Что при этом нужно делать — нагревать или охлаждать воду, чтобы сохранить ее объем неизменным?

14. Внутри воды при комнатной температуре плавает полый стеклянный пузырек. В сосуд подливают воду, и пузырек поднимается вверх. Затем еще подливают воду, и пузырек тонет. Как это объяснить?

15. Начертите графики изменения плотности идеального газа в зависимости от температуры при изотермическом, изобарном и изохорном процессах.

16. На весах установили два одинаковых сосуда. Один заполнен сухим воздухом, другой — влажным при одинаковых давлениях и температурах. Какой из сосудов тяжелее?

17. Как зависит подъемная сила аэростата от температуры, при которой производится его подъем?

18. Почему заряженный проводник, покрытый пылью, быстро теряет свой заряд?

19. В раствор медного купороса опущены два цилиндрических угольных электрода, на одном из которых отлагается медь. Почему наиболее толстый слой меди получается на той части его поверхности, которая обращена к другому углю?

Микроопыт

Попробуйте определить среднюю плотность Вашего тела. Что Вам для этого потребуется?

Любопытно, что...

...знаменитый греческий врач Гиппократ отмечал в своих сочинениях, что дождевая вода легче всякой другой воды. Удивительно, что древние греки отличали дождевую воду по плотности даже от колодезной и пользовались ею для определения меры емкости.

...для определения плотности твердых веществ с XVII века использовали так называемую биланцетту, изобретение которой приписывали Галилею. Этот прибор был подобен пружинным весам, позволяющим сравнивать вес тел в воде и в воздухе.

...размышляя о существовании пустоты, Отто Герике решил на опыте проверить теорию Декарта, по которой все пространство должно быть заполнено материей. Идея первых экспериментов по получению «пустоты» привела в конечном счете к созданию воздушного насоса.

...оригинальность опытов Кавендиша по определению средней плотности Земли заключалась в том, что они проводились в лабораторных условиях по наблюдениям взаимодействия сравнительно небольших масс. До этого все оценки искомой плотности базировались на измерениях отклонения отвеса от вертикали под действием расположенной поблизости горы.

...в Италии, вблизи Неаполя, есть знаменитая «собачья пещера». В ее нижней части непрерывно выделяется углекислый

газ, плотность которого в полтора раза больше плотности воздуха. Газ стелется понизу и медленно выходит из пещеры. Человек беспрепятственно может войти в пещеру, для собаки же такая прогулка кончается печально.

...плотность янтаря близка к плотности морской воды. Это приводит к тому, что янтарь десятилетиями может находиться в море как бы во взвешенном состоянии, не давя на дно и не истираясь о песок.

...загадка аномального поведения плотности воды при изменении температуры от 0 до 4 °С связана с ее квазикристаллическим строением. Повышение температуры в этом диапазоне приводит, помимо увеличения средних расстояний между атомами, к эффекту ломки структуры и более плотной упаковке самих молекул.

...наличие у веществ критической точки показывает, что между газом и жидкостью нет принципиального различия (и не только при температурах выше критической). Оказывается, изменяя температуру и давление, возможно перевести жидкость в газообразное состояние без всякого подобия кипения, непрерывным образом.

...если мысленно равномерно «размазать» вещество, сосредоточенное в звездах, по всему объему Галактики, то средняя плотность материи в ней окажется равной примерно $5 \cdot 10^{-24}$ г/см³.

...через одну десятитысячную долю секунды после начала расширения Вселенной ее средняя плотность равнялась приблизительно 10^{14} г см³, т.е. была равна плотности атомных ядер!

...нынешнее значение средней плотности Вселенной определяет сценарий ее дальнейшей эволюции: либо процесс расширения будет продолжаться неограниченно долго, либо сменится сжатием. Поскольку материя во Вселенной, возможно, существует и в труднодоступных наблюдению формах, окончательно установить нынешнюю ее плотность не удастся, и вопрос о будущем Вселенной пока открыт.

ТРЕНИЕ

Хотя в природе не встречается другого сопротивления, кроме того, которое пропорционально квадрату скорости, но я рассмотрел еще некоторые другие виды сопротивлений...

Леонард Эйлер

При скольжении дерева по дереву без смазки с некоторой скоростью сила трения также пропорциональна нормальному давлению...

Шарль Огюстен Кулон

Не стоит перечислять все области нашей жизни, где знание законов трения крайне необходимо. А сложность самого явления хорошо демонстрирует, например, такой факт, что до сих пор никому не удалось теоретически рассчитать коэффициент трения между материалами, определяемый лишь экспериментально. Анализ же поведения жидкости, обтекающей движущееся тело, при учете вязкости и турбулентности становится устрашающе трудным.

Вот и сегодня наша подборка позволит обнаружить лишь верхушку огромного айсберга по имени «трение». Надеемся, работа с ней раззадорит вас и побудит к дальнейшему знакомству с этим удивительным явлением.

Вопросы и задачи

1. Может ли сила трения по величине превышать вес тела?
2. Для чего смычок перед игрой на скрипке натирают канифолью?
3. Одинаковая ли механическая работа совершается при забивании гвоздя в бревно и при вытаскивании его из бревна?
4. Два одинаковых полых шара заполнены один водой, а другой песком и подвешены на нитях одной и той же длины. Шары отклонили на одинаковые углы. Будут ли равными периоды колебаний таких маятников? Одинаково ли долго они будут колебаться?

Опубликовано в «Кванте» №5 за 1994 год.

5. Как лучше тормозить при движении на велосипеде, если перед вами возникает неожиданное препятствие, – скольжением (так называемый юз) или качением (колеса заторможены, но проворачиваются)?

6. Почему у гоночных велосипедов руль опущен так низко?

7. Равно ли время подъема камня, брошенного вертикально вверх, времени его падения?

8. В каких точках траектории камень, брошенный вертикально вверх, будет иметь максимальное ускорение, если считать, что сила сопротивления воздуха растет с увеличением скорости камня?

9. Капля дождя, падая с большой высоты, испаряется. Как это влияет на ее движение?

10. Если одновременно с одной высоты отпустить монету и такой же величины кружок из бумаги, то они будут падать с разными скоростями. Однако если этот кружок положить на монету, они упадут вместе. Отчего?

11. Ветер уносит воздушный шар на север. В какую сторону при этом отклоняется флажок, прикрепленный к вершине гондолы?

12. Отчего, спускаясь на лодке по реке, плывут посередине реки, а поднимаясь, стараются держаться берега?

13. Изменится ли скорость движения судна относительно воды при переходе из реки в море, если мощность, развиваемая двигателями, не меняется?

14. Почему уровень подъема воды в фонтане никогда не достигает уровня воды в емкости, питающей фонтан, даже если струя направлена вертикально вверх?

Микроопыт

Положите на стол стопку из десяти одинаковых книг. Попробуйте одним пальцем сдвинуть пять верхних книг или вытолкнуть из стопки четвертую сверху книгу. Что легче? Почему?

Любопытно, что...

...на некоторых древних рисунках, найденных в пирамидах, изображены египтяне, подливающие молоко под полозья саней, на которых волокли каменные глыбы.

...между канатом и причальными тумбами при швартовке развиваются значительные силы трения. Раньше, когда тумбы делали из дерева, они, нагреваясь, иногда начинали дымиться, и их обливали холодной водой. А связь между натяжением каната, трением и углом охвата тумбы канатом удалось установить Леонарду Эйлеру.

...законы сухого трения Амонтона – Кулона в строгом смысле вовсе не законы, а эмпирические правила. Так, французский ученый П. Пенлеве показал в 1895 году, что возможны случаи, когда эти законы приводят к противоречию с основными законами динамики.

...разрыв молекулярных связей – вот главное, что отличает силы сухого трения, имеющие электромагнитное происхождение. Картина же мира без трения, часто изображаемая в научной фантастике, фактически означает уничтожение электрических сил, что повлекло бы полный распад вещества.

...увеличение силы сопротивления при росте скорости приводит к установившемуся равномерному движению тела при падении с большой высоты в жидкости или газе. Так, парашютист до раскрытия парашюта может приобрести скорость около 50 м/с, а капли дождя, в зависимости от их размеров, достигают скоростей от 2 до 7 м/с.

...в газах среднее расстояние между молекулами столь велико, что молекулярное притяжение не может вызвать трения между слоями газа, движущимися друг относительно друга. Если бы тепловое движение не выбрасывало молекулы за границы слоев, приводя к их замедлению либо ускорению, не было бы и трения.

...существование «пограничного слоя» жидкости или газа, движущегося вместе с предметом, иллюстрирует такой факт. Лист или камешек сметаются с крыши едущего автомобиля, а мелкие частицы пыли, недостаточно возвышающиеся над поверхностью, чтобы на них воздействовал движущийся навстречу воздух, остаются на кузове.

...если у движущегося поезда одновременно открыть все окна, то обтекание его воздухом настолько ухудшится, что сила сопротивления возрастет примерно на четверть.

...когда приливная волна движется по океанскому дну, силы трения приводят к замедлению вращения Земли и удлинению суток.

...линейная скорость спутника, движущегося в разреженных слоях атмосферы, из-за сопротивления воздуха увеличивается. Парадокс объясняется тем, что уменьшается радиус орбиты и часть потенциальной энергии спутника преобразуется в кинетическую

...при определенных условиях жидкий гелий обладает свойством сверхтекучести – протекает через узкие щели и капилляры без трения. Это явление, открытое академиком П. Л. Капицей, получило объяснение только в рамках квантовой механики.

ДЕФОРМАЦИИ

...сила любой пружины пропорциональна ее растяжению.

Роберт Гук

Конечно же, в утверждении Гука речь идет об одной из самых наглядных деформаций – об упругой деформации. Однако в школе дается представление и о других видах деформаций, изучение которых играет огромную роль. Вспомните задачи об упругих и неупругих ударах, о равновесии тел, об изменении формы и объема тел, о механических колебаниях... Список настолько велик, а понимание связанных с деформациями механических свойств тел столь важно для науки и техники, что можно без преувеличения говорить об исследовании этих свойств как об одной из главных задач современной физики.

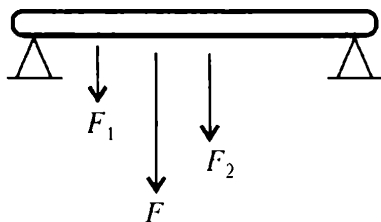
Получается, что и в школьном курсе к понятию деформации приходится обращаться не раз и в различных его частях. На макроскопическом уровне – в механике и при изучении тепловых явлений; при объяснении взаимодействия атомов и молекул – в кинетической теории вещества; при выявлении природы упругих сил – в электромагнетизме. Поэтому так разнообразны ситуации, в которых вы сегодня встретитесь с этим отнюдь не второстепенным понятием.

Вопросы и задачи

1. В каком случае веревка сильнее натягивается – если человек тянет ее руками за концы в разные стороны или если он тянет обеими руками за один конец, привязав другой к стенке? В обоих случаях каждая рука действует с одной и той же силой.

2. Тяжелый цилиндр свободно падает. Какие силы действуют на каждый его горизонтальный слой со стороны соседних?

Опубликовано в «Кванте» №3 за 1994 год.



3. К доске, лежащей на опорах, приложены силы \vec{F}_1 и \vec{F}_2 . Изменится ли прогиб доски, если их заменить одной силой $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$?

4. Железная и медная проволоки одинаковых размеров подвешены вертикально и соединены внизу горизонтальным невесомым стержнем. Сохранится ли горизонтальное положение стержня, если к его середине прикрепить весомый груз?

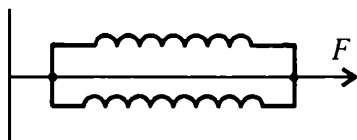
5. Как отличаются относительные удлинения двух проволок из одного и того же материала при одинаковых нагрузках, если длина и диаметр первой проволоки в 2 раза больше, чем второй? А абсолютные удлинения?

6. При волочении металлический стержень многократно протягивается через ряд отверстий с уменьшающимся диаметром. Какие деформации он испытывает при этом?

7. Зачем у динамометров делают ограничители растяжения пружин?

8. Для чего рыболовы используют удилища с тонкими упругими концами?

9. Почему быстро летящая пуля в мягком пластмассовом стакане с водой пробивает лишь два маленьких отверстия, а стеклянный стакан разбивает вдребезги?



10. Концы двух невесомых спиральных пружин разных длин скреплены, как показано на рисунке.

Как будет выглядеть график зависимости растягивающей силы F от перемещения x ее точки приложения?

11. Как изменится период вертикальных колебаний груза, висящего на двух одинаковых пружинах, если их последовательное соединение заменить параллельным?

12. На нити висит тело A . К нему на пружине подвешивают тело B и нить пережигают. С одинаковыми ли ускорениями начнут падать тела?

13. Почему кварцевый стержень выдерживает резкие охлаждения, не разрушаясь при этом?

14. Чтобы разорвать кусок проволоки, требуются значительные усилия, однако раскаленную проволоку разорвать намного легче. Почему?

15. Как изменится напряжение в стержне, если его нагревать, препятствуя его расширению?

16. Как изменяется энергия тела при пластических деформациях?

17. Сжатая стальная пружина обладает потенциальной энергией. Куда девается эта энергия при растворении сжатой пружины в кислоте?

18. Какая из двух одинаковых по размерам невесомых пружин – стальная или медная – приобретает большую потенциальную энергию под действием одной и той же нагрузки?

Микроопыт

Поставьте вертикально резиновую трубку, на которую предварительно туго надето металлическое кольцо, и растяните трубку. Что при этом произойдет с кольцом? Почему?

Любопытно, что...

...научные интересы Гука были столь широки, что он часто не успевал доводить свои исследования до конца. Это давало повод к острейшим спорам о приоритете в открытии тех или иных законов с крупнейшими учеными (Гюйгенсом, Ньютоном и др.). Однако «закон Гука» был настолько убедительно обоснован многочисленными экспериментами, что тут приоритет Гука никогда не оспаривался.

...в начале XVIII века участились аварии на рудниках, связанные с разрывом железных цепей, применяемых в шахтных подъемниках. Попытки модернизировать цепи предпринимали многие ученые, в том числе и знаменитый математик и философ Г. Лейбниц. Но – безуспешно. А вот старшему горному советнику, юристу по образованию, В. Альберту пришла в голову идея заменить цепи проволочными канатами или тросами. Это позволило использовать такое важное свойство железа, как прочность на растяжение.

...побеление мокрого песка при ходьбе по нему впервые удалось объяснить в 1885 году английскому физiku и инженеру О. Рейнольдсу. Он показал, что под действием возникающей под ногой деформации сдвига объем, занимаемый песчинками, увеличивается и песок некоторое время находится выше уровня воды.

...одиночные кристаллы многих металлов, выросшие из расплава, оказываются настолько мягкими, что их легко согнуть пальцами. А вот разогнуть – уже не удастся. Это – пример замечательной способности пластически деформируемых тел упрочняться.

...объяснение пластической деформации возникло лишь тогда, когда физики (уже в нашем столетии) открыли так называемые дислокации – дефекты кристаллической решетки твердого тела. С современной точки зрения, этот вид деформации есть «движение беспорядка» вдоль кристалла.

...на сегодняшний день получены особые сверхупругие сплавы, напоминающие поведением резину и способные выдерживать огромные упругие деформации – на два порядка больше, чем обычные металлы. С другой стороны, многие сплавы можно привести в сверхпластичное состояние, когда они при очень низких напряжениях текут, подобно разогретому стеклу.

...совместить противоположные механические характеристики удастся в композитах – «сборных» материалах, включающих легкую и пластичную основу и наполнители из тонких волокон очень прочного вещества.

...можно измерить деформации, меньшие диаметра атома, правда, если они носят колебательный характер – тогда их легко преобразовать в электрические сигналы. Кстати, ухо человека способно «измерить» столь же малые деформации барабанной перепонки.

...при деформации кварца и некоторых других диэлектриков на их поверхности возникают электрические заряды, а поляризация диэлектриков в электрическом поле может привести к их деформации. Эти явления называют прямым и обратным пьезоэлектрическим эффектом.

...если достаточно долго облучать свинец нейтронами, в нем происходит внутренняя перестройка и он становится настолько упругим, что изготовленный из него колокол мог бы звучать не хуже отлитых из лучшей колокольной бронзы.

ВЕС И НЕВЕСОМОСТЬ

*Тяжести, уравновешивающиеся на равных
длинах, будут тоже равны.*

Архимед

*Мы ощущаем груз на наших плечах, когда
стараясь мешать его падению.*

Галилео Галилей

*...веса тел на всякой планете при одинако-
вых расстояниях от ее центра пропорциональ-
ны массам этих планет.*

Исаак Ньютон

*Сколько весит тело – это одно, а насколько
трудно его разогнать – совсем другое.*

Ричард Фейнман

Понятия веса и невесомости, интуитивно близкие человеку с незапамятных времен – достаточно вспомнить перетаскивание тяжестей или прыжок с высоты, – постепенно обрели статус строго определяемых физических величин. Потребности практики побуждали к изобретению весов и для гигантских грузов, и для крохотных тел; фундаментальные же идеи о неразличимости инертной (весомой) и гравитационной масс легли в основу общей теории относительности.

Великие умы, как видно, размышляли и фантазировали о проявлениях веса и невесомости в условиях, порой весьма далеких от земных. Непосредственно проверить хотя бы часть этих предположений удалось не столь давно. Запуск спутников в околоземное пространство повлек за собой множество исследований, связанных с поведением в космосе различных материалов и конструкций. А высадка астронавтов на Луну, постройка орбитальных станций и возможный пилотируемый полет на Марс форсировали изучение влияния на живые организмы невесомости, искусственной тяжести и тяготения других небесных тел.

Опубликовано в «Кванте» №5 за 2004 год.

Вот почему эта тема, изобилующая открытиями и парадоксами, постоянно притягивает внимание ученых и инженеров, конструкторов и медиков. Надеемся, что она окажется в кругу и ваших интересов, а может быть, и внесет *весомый* вклад в копилку ваших знаний.

Вопросы и задачи

1. На одной чашке уравновешенных рычажных весов лежит брусок мыла, на другой – $3/4$ такого же бруска и еще гиря массой $3/4$ кг. Какова масса целого бруска мыла?

2. Два одинаковых ведра наполнены водой до краев, в одном из них при этом плавает кусок дерева. Какое из ведер перетянет, если их разместить на рычажных весах?

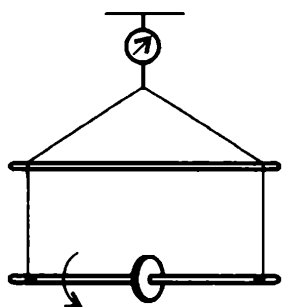
3. В сосуд, подвешенный к динамометру и доверху наполненный водой, погружают, не касаясь дна, стальную гирю, висящую на нити. Изменится ли показание динамометра?

4. Почему в задачах о движении тел, связанных нитью, как правило, оговаривается, что нить невесома?

5. Можно ли правильно взвесить груз на неверных весах?

6. Одно и то же тело взвешивают на пружинных и рычажных весах сначала на Земле, затем – на Луне. Одинаковы ли показания весов между собой?

7. На внутренней стенке закрытой банки, уравновешенной на чувствительных рычажных весах, сидит муха. Что произойдет с весами, если муха станет летать внутри банки?



8. Изображенный на рисунке маятник Максвелла подвешен к динамометру. Как будут меняться показания прибора при движении маятника?

9. В лифте находится ведро с водой, в котором плавает мяч. Как изменится глубина погружения мяча, если лифт будет двигаться с ускорением, направленным: а) вверх; б) вниз?

10. В лифте установлены пружинные весы, на которых подвешено тело массой 1 кг. Что покажут весы, если лифт движется вверх с ускорением, равным $g/2$ и направленным вниз?

11. Песочные часы уравновешены на рычажных весах. Нарушится ли равновесие во время падения песчинок?

12. Опрокинутая пробирка укреплена над сосудом с водой. Изменится ли уровень воды в пробирке, если вся система начнет свободно падать?

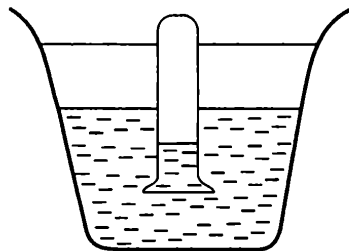
13. Три одинаковых шара, связанных двумя одинаковыми пружинами, подвешены на нити. Какими будут ускорения шаров сразу после пережигания нити?

14. Каким барометром – ртутным или anerоидом – следует пользоваться внутри искусственного спутника, движущегося по орбите вокруг Земли?

15. На все тела на Земле действует сила притяжения Солнца. Ночью эта сила складывается с силой притяжения Земли, днем – из нее вычитается. Следует ли из этого, что ночью все тела должны быть тяжелее, чем днем?

16. Как отразится невесомость на процессе кипячения воды?

17. Как создать искусственную тяжесть на космическом корабле?



Микроопыт

Приведите в горизонтальное положение игрушку Ваньку-Встаньку, держа ее в руках, а затем отпустите с небольшой высоты (предварительно постелив на стол что-либо мягкое). Будет ли игрушка поднимать голову во время падения? Почему?

Любопытно, что...

...весы, как считают историки науки, – наиболее древний измерительный прибор. Они были изобретены более чем за три тысячи лет до новой эры. Позднее их конструкцию совершенствовали такие ученые, как, например, Аристотель, создавший теорию неравноплечих весов с передвижной гирей, или Архимед, добившийся небывало высокой для своего времени точности взвешивания.

...книга с описанием рычажных весов, появившаяся в 1211 году, называлась «Весы мудрости».

...задачу под номером одиннадцать без малого 400 лет назад фактически сформулировал Галилей, сконструировавший тогда же гидростатические весы для определения плотности твердых тел. Предварительно он поставил эксперимент, в котором роль песка играла вода.

...хотя знаменитый опыт Кавендиша называют «взвешиванием Земли», в нем ученый только измерил постоянную все-

мирного тяготения, с помощью которой действительно можно вычислить массу нашей планеты.

...издавна для получения дробы капали расплавленный свинец с большой высоты в бак с водой. Оказавшиеся во время падения практически в невесомости, дробинки принимали естественную – шарообразную – форму.

...путем взвешивания определяется масса тел в очень широком диапазоне – от 10^{-9} до 10^5 килограмма. При сравнении эталонов массы достигается точность в одну миллиардную.

...нарушения невесомости из-за неоднородности поля тяготения приводят во время свободного полета тел, например космических кораблей, к их растяжению вдоль радиуса орбиты.

...долгое время казалось парадоксальным, что ощущение весомости любого предмета и в обычных земных условиях, и во время космического полета имеет одну природу и полностью определяется только внешней силой – либо «пассивной» реакцией опоры или подвеса, либо «активной» силой тяги двигателя ракеты.

...даже если бы герои фантастического романа Жюль Верна «Из пушки на Луну» смогли построить орудие с длиной ствола 300 метров, то при разгоне в нем они испытали бы чудовищные перегрузки – снаряд должен был бы двигаться с ускорением, в несколько тысяч раз превышающим ускорение свободного падения.

...древняя мечта о левитации – свободном парении тел в гравитационном поле Земли – была успешно реализована в XX веке благодаря разного рода неконтактным подвесам с помощью электрического и магнитного полей. Так, пятитонную антенну для приема гравитационных волн удалось «подвесить» без опор, используя сверхпроводники, в так называемом криогенном подвесе.

...испытательный полет межпланетного парусника «Cosmos-1», разгоняемого давлением солнечного излучения, постоянно откладывался. Одна из причин – риск, связанный с непредсказуемым поведением сверхтонкого материала паруса большой площади, которое невозможно проверить на Земле.

РАВНОВЕСИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ

Равновесие получается в результате уничтожения нескольких сил, которые борются и взаимно сводят на нет действие, производимое ими друг на друга; статика имеет своей целью дать законы, согласно которым происходит это уничтожение.

Жозеф Луи Лагранж

Исходным пунктом для меня была... устойчивость материи, которая, с точки зрения прежней физики, предстает подлинным чудом.

Нильс Бор

Ядро урана, которое мы предполагаем шарообразным, сплющивается от удара нейтрона, и форма ядра испытывает периодические изменения, в результате чего оно становится менее устойчивым и иногда совсем выходит из равновесия...

Энрико Ферми

Эти два понятия – равновесие и устойчивость, – сведенные вместе, призваны продемонстрировать, насколько важно выявление условий и характера самых разных состояний равновесия. Возникнув в статике и гидростатике, эта проблема со временем проявилась во всех областях физики. Разве не об этом свидетельствует появление таких терминов, как «динамическое равновесие» и «неравновесный газ», «гидродинамическая неустойчивость» и «равновесное излучение», «устойчивая орбита» и «стабильный изотоп»?

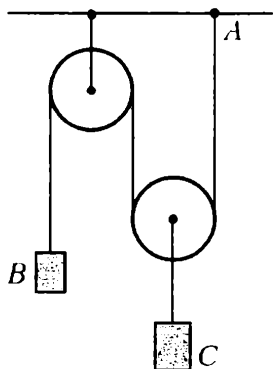
Более того, понятия-ветераны постоянно расширяли сферу своего «влияния», давно уже выйдя за рамки решений чисто физических или инженерных задач. Так, химию интересуют условия протекания колебательных реакций; биологию волнуют проблемы устойчивого существования сложных органических

соединений; в математике возникла теория катастроф, исследующая конструктивную роль неустойчивых процессов; появилась молодая наука – синергетика, занимающаяся изучением упорядоченных структур, рождающихся в неустойчивых системах. Таким образом, неравновесные состояния и различного вида неустойчивости, приводящие к образованию качественно новых объектов и явлений, *устойчиво* привлекают внимание и силы современных исследователей.

Мы же пока обратимся к более простым, близким к школьным, ситуациям, связанным с равновесием и устойчивостью. Возможно, они вызовут у вас интерес – а ведь это самое что ни на есть *неравновесное* (в хорошем смысле слова!) состояние.

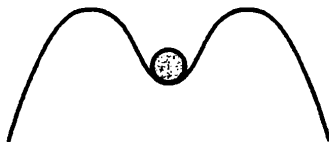
Вопросы и задачи

1. Почему значительно легче удерживать на пальце половую щетку, чем палку той же длины?

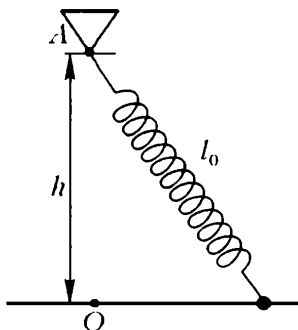


2. Система из подвижного и неподвижного блоков, показанная на рисунке, находится в равновесии. Сохранится ли оно, если точку закрепления каната А сместить вправо?

3. Каков характер равновесия шарика, находящегося на поверхности, изображенной на рисунке?



4. Бусинка, способная двигаться по гладкой горизонтальной спице, соединена с пружиной длиной l_0 , закрепленной другим концом в точке А, отстоящей от спицы на h . Каковы по характеру положения равновесия бусинки?

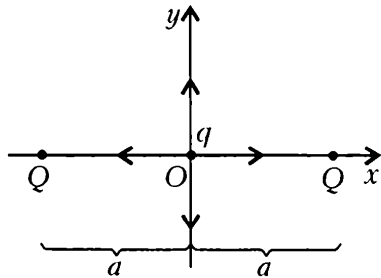


5. Для чего к воздушному змею приделывают хвост?

6. Почему доска обычно плавает в воде широкой гранью, а не вертикально, хотя оба положения доски равновесные?

7. Может ли корабль устойчиво плавать на водной поверхности, если его центр тяжести лежит выше центра вытесненной им воды (центра давлений)?

8. Почему пузырьки газа в воде имеют форму шара?
9. Отчего струя воды, вытекающая из водопроводного крана или пипетки, распадается на отдельные капли?
10. Почему сливаются вместе две или несколько коснувшихся друг друга капель?
11. Равны ли между собой температуры жидкости и ее насыщенного пара – ведь при испарении из жидкости вылетают наиболее «энергичные» молекулы?
12. Точечный заряд q может двигаться по двум перпендикулярным прямым x и y между двумя одинаковыми точечными зарядами Q . Будет ли точка O положением равновесия заряда q ?
13. Почему α -частицы самопроизвольно вылетают из радиоактивных ядер?
14. Все ли виды радиоактивности изменяют химические свойства вещества?



Микроопыт

Погрузите в мыльный раствор проволочное кольцо, по диаметру которого предварительно расположите нитку с петлей посередине. Затем осторожно проколите мыльную пленку внутри петли. Какую фигуру образует при этом нить? Почему?

Любопытно, что...

...в своем знаменитом сочинении «О плавающих телах» Архимед рассматривал не только условия плавания, но и вопрос об устойчивости равновесия плавающих тел различной геометрической формы.

...законы гидростатики, установленные Архимедом, не были оценены по достоинству, и их пришлось «открывать» заново. В конце XVI века голландский ученый Стевин при изучении равновесия тяжелой жидкости ввел новый принцип – принцип отвердения, с помощью которого получил изящное доказательство закона Архимеда, вошедшее в учебники.

...в 1788 году французский математик и механик Лагранж доказал теорему, определяющую достаточность условия устойчивого равновесия системы тел через минимум потенциальной энергии.

...горизонтальное положение тел четвероногих животных гораздо устойчивее, чем вертикальное положение человеческого

тела «о двух ногах». В какой-то степени природа скомпенсировала этот недостаток, снабдив человека большими ступнями.

...в некоторых задачах теории упругости вопросы устойчивости приобретают принципиальное значение. Например, тонкие оболочки при слишком большой нагрузке внезапно, «хлопком», выгибаются, что говорит о переходе устойчивого равновесия в неустойчивое.

...если в некотором слое морской воды ее плотность заметно возрастает по глубине, то возникает эффект «жидкого грунта», когда подводная лодка, находясь в этом слое, может продолжительное время сохранять равновесие.

...помимо первого, второго и третьего начал (законов), термодинамика содержит и так называемое нулевое начало: «для каждой термодинамической системы существует состояние термодинамического равновесия, которого она достигает самопроизвольно при фиксированных внешних условиях».

...минимум энергии взаимодействия молекул, составляющих твердое тело, достигается при их строго периодическом расположении. Иными словами, устойчивому равновесию твердого тела соответствует его кристаллическое состояние.

...условия равновесия трех фаз вещества – твердой, жидкой и газообразной – могут выполняться только в одной, так называемой тройной, точке. Например, тройной точке воды соответствуют температура 273,16 К и давление 609 Па.

...электрический заряд, находящийся под действием лишь электростатических сил, не может находиться в устойчивом равновесии, если рассматривать перемещения по всем направлениям (теорема Ирншоу).

...для сохранения устойчивости движения заряженных частиц, разгоняемых в ускорителях, создают специальные конфигурации магнитного поля, стремящегося вернуть частицы на расчетную орбиту при малейшем ее возмущении.

...когда доля нейтронов в атомном ядре становится слишком большой, «избыточному» нейтрону энергетически выгодно превратиться в протон, после чего пропорция частиц в ядре оказывается более устойчивой.

...если бы ядро бериллия – промежуточного участника термоядерного синтеза углерода из трех ядер атомов гелия – было устойчивым, углерод в звездах синтезировался бы иным путем, причем гораздо быстрее. Звезды практически взрывались бы, вместо того чтобы светить миллиарды лет.

Центром тяжести каждого тела является некоторая расположенная внутри его точка – такая, что если за нее мысленно подвесить тело, то оно остается в покое и сохраняет первоначальное положение.

Архимед

Я заметил удивительный закон природы: «общий центр тяжести двух или трех или скольких угодно тел продолжает двигаться равномерно в ту же сторону по прямой линии как до, так и после удара».

Христиан Гюйгенс

Не удивляйтесь тому, что это словосочетание не встречается в эпитафиях, хотя именно о нем идет в них речь. Просто долгое время исследователям этого понятия не приходилось сталкиваться с обстоятельствами, в которых необходимо отличать «центр тяжести» тела от его «центра масс». В одной из задач мы предложим вам такую ситуацию, однако в подавляющем большинстве случаев один термин безболезненно можно заменять другим.

Изучение замечательных свойств «центров», которому более двух тысячелетий, оказалось полезным не только для механики – например, при конструировании транспортных средств и военной техники, расчете устойчивости сооружений или для вывода уравнений движения реактивных аппаратов. С помощью этих свойств стало возможным доказывать новые математические факты, находить решения некоторых трудных геометрических проблем, а впоследствии – строить плодотворные модели в таких областях знания, как химия, генетика, статистика, металлургия, теория цветного зрения... Вряд ли Архимед мог даже помыслить о том, что понятие центра масс окажется весьма удобным для исследований в ядерной физике или в физике элементарных частиц.

Опубликовано в «Кванте» №3 за 1999 год.

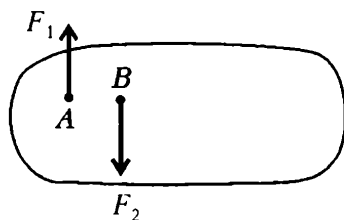
Вопросы и задачи

1. При перемещении тела с экватора на полюс действующая на него сила тяжести меняется. Отражается ли это на положении центра тяжести тела?

2. Можно ли найти центр тяжести «гантели», состоящей из двух массивных шариков, соединенных невесомым стержнем, при условии, что длина «гантели» сравнима с диаметром Земли?

3. Почему при резком торможении автомобиля его передняя часть опускается?

4. Однородное тело находится в покое. К точкам A и B приложили две равные и противоположно направленные силы.



В каком направлении станет двигаться точка B ?

5. Отчего автобус, совершая поворот на относительно большой скорости, наклоняется в сторону, противоположную повороту?

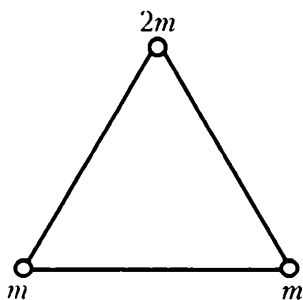
6. Канат длиной L и массой m лежит на земле. Один его конец подняли на высоту L . Какая при этом была совершена работа?

7. Где находится центр тяжести бублика?

8. В цилиндрический стакан понемногу наливают воду. Как будет изменяться положение центра тяжести системы стакан – вода?

9. Какой длины конец надо отрезать от однородного стержня, чтобы его центр тяжести сместился на Δl ?

10. Однородный стержень согнули посередине под прямым углом. Где оказался теперь его центр тяжести?

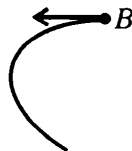
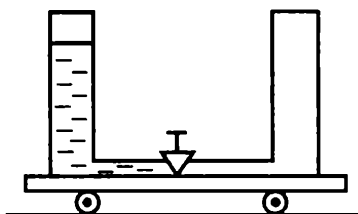


11. Найдите центр тяжести системы шаров, находящихся в вершинах равно-стороннего невесомого треугольника.

12. Невысокий деревянный цилиндр, обточенный с одного конца в форме полушара, остается в покое, если его поставить на горизонтальную плоскость любой точкой закругления. Где находится его центр тяжести?

13. Неподвижная космическая станция представляет собой цилиндр. Космонавт начинает круговой обход станции по ее поверхности. Что произойдет со станцией?

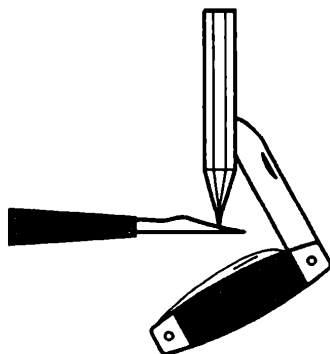
14. Как будет двигаться изображенная на рисунке тележка после открывания крана? Трением колес о плоскость пренебречь.



15. Две заряженные частицы массами m и $2m$, которые взаимодействуют только между собой, одновременно вылетают навстречу друг другу из точек A и B , имея равные по величине импульсы. По траектории частицы массой $2m$, приведенной на рисунке, восстановите траекторию другой частицы.

16. Как объяснить сохранение равновесия системы карандаш – нож?

17. Когда канатоходцу легче удерживать равновесие – при обычном передвижении по канату или при переносе сильно изогнутого коромысла, нагруженного ведрами с водой?



18. Почему трудно передвигаться на ходулях?

19. Глубина лунки в доске, в которую вставлен шар, в два раза меньше радиуса шара. При каком угле наклона доски к горизонту шар выскочит из лунки?

Микроопыт

Поставьте детскую игрушку неваляшку (Ваньку-Встаньку) на шероховатую доску и приподнимите один край доски. В какую сторону отклонится «голова» игрушки при сохранении ее равновесия?

Любопытно, что...

...в своем труде «О равновесии плоских тел» Архимед употреблял понятие центра тяжести, фактически не определяя его. Видимо, оно впервые было введено неизвестным предшественником Архимеда или же им самим, но в более ранней, не дошедшей до нас работе.

...должно было пройти долгих семнадцать столетий, прежде чем наука прибавила к исследованиям Архимеда о центрах тяжести новые результаты. Это произошло, когда Леонардо да Винчи сумел найти центр тяжести тетраэдра. Он же, размышляя об устойчивости итальянских наклонных башен, в том числе Пизанской, пришел к «теореме об опорном многоугольнике».

...выясненные еще Архимедом условия равновесия плавающих тел впоследствии пришлось переоткрывать. Занимался этим в конце XVI века голландский ученый Симон Стевин, применявший, наряду с понятием центра тяжести, и понятие «центр давления» – точку приложения силы давления окружающей тело воды.

...для сохранения в неизменном положении предметов при движении их опоры уже несколько столетий применяется так называемый карданов подвес – устройство, в котором центр тяжести тела располагают ниже осей, вокруг которых оно может вращаться.

...хотя на Луне сила тяжести в шесть раз меньше, чем на Земле, увеличить там рекорд по прыжкам в высоту удалось бы «всего» лишь в четыре раза. К такому выводу приводят расчеты по изменению высоты центра тяжести тела спортсмена.

...помимо суточного вращения вокруг своей оси и годового обращения вокруг Солнца, Земля принимает участие еще в одном круговом движении. Вместе с Луной она «крутится» вокруг общего центра масс, расположенного примерно в 4700 километрах от центра Земли.

...некоторые искусственные спутники Земли снабжены складной штангой в несколько или даже в десятки метров, утяжеленной на конце (так называемый гравитационный стабилизатор). Дело в том, что спутник вытянутой формы стремится при движении по орбите повернуться вокруг своего центра масс так, чтобы его продольная ось расположилась вертикально. Тогда он, подобно Луне, будет все время обращен к Земле одной стороной.

...движение центра масс системы из разгоняемой в ускорителе частицы и мишени, с которой она затем сталкивается, приводит лишь к неоправданным потерям энергии. Эффективно использовать энергию относительного движения налетающих друг на друга частиц удастся в ускорителях на встречных пучках, где центр масс системы остается в покое. Для ультрарелятивистских частиц выигрыш в энергии может быть очень большим – в тысячи или даже в миллионы раз (для классических частиц в случае одинаковых масс выигрыш всего лишь четырехкратный).

...наблюдения за движением некоторых видимых звезд свидетельствуют о том, что они входят в двойные системы, в которых происходит вращение «небесных партнеров» вокруг общего центра масс. Одним из невидимых компаньонов в такой системе может быть нейтронная звезда или, возможно, черная дыра.

СОУДАРЕНИЯ

Я вывел заключение, что вопрос о силе удара представляется весьма темным, и никому из числа ранее занимавшихся им не удалось проникнуть в сущность этого предмета, полную мрака и далекую от обычных человеческих представлений.

Галилео Галилей

Если с покоящимся телом соударяется одинаковое с ним тело, то ударившееся тело приходит в состояние покоя, а покоящееся тело приходит в движение со скоростью ударившегося о него.

Христиан Гюйгенс

Неудивительно, что изучение удара вызвало такие трудности у Галилея — он был основателем динамики лишь одного тела. Гюйгенс, скромно заявлявший, что только «подтверждал и обобщал» теории Галилея, продвинулся намного дальше, поскольку начал построение динамики уже нескольких тел. Внес ясность в столь сложное явление (на нем потерпела крушение механика Декарта), Гюйгенс уточняет закон сохранения количества движения (импульса) и фактически устанавливает закон сохранения энергии. Открывается путь для дальнейших исследований удара, и на него впоследствии становятся такие ученые, как Мариотт, Юнг, Пуассон, Герц...

Приступая к исследованию этого даже не явления, а целой их совокупности, вам придется научиться различать удары упругие и неупругие, выявить связь с понятиями деформации и распространения волн, почувствовать различие между механическим соударением тел и взаимодействием атомов или элементарных частиц.

Все это нужно, если вы хотите разобраться, как происходит удар по мячу или гвоздю, как забивают сваи и куют детали, как

совершаются соударения «наоборот» (взрывы и стрельба), как движутся молекулы газа и рассеиваются атомы при прохождении через вещество, как осуществляются ионизация атомов и взаимодействие световых квантов с электронами.

Что ж, будем надеяться, что ваше столкновение с этой обширнейшей темой не будет «абсолютно упругим» и галилеевская досада сменится гюйгенсовской ясностью.

Вопросы и задачи

1. Почему стальной шарик хорошо отскакивает от мраморной плиты и хуже — от асфальта?

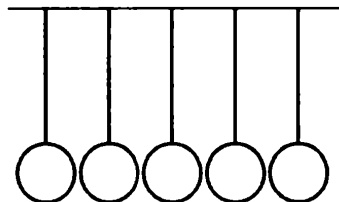
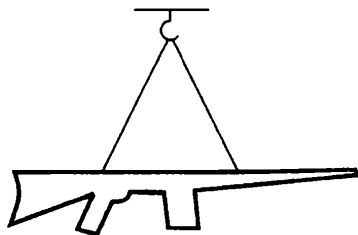
2. Отчего хрупкий предмет разбивается, если его роняют на жесткий пол, и остается целым, если он попадает на мягкую подстилку?

3. Несколько человек могут сдвинуть с места автобус, но он не сдвигается при попадании противотанкового снаряда, пробивающего его навывлет. Почему это так, если на автобус во втором случае действует большая сила, чем в первом?

4. В цирковом аттракционе атлету, лежащему на ковре, устанавливают на грудь наковальню и затем бьют по ней молотком. Опасны ли такие удары для атлета?

5. Один раз молотком ударили по куску стали — молоток отскочил, второй раз так же ударили по куску свинца — молоток отскочил меньше. Какому металлу было передано больше энергии?

6. В каком из двух случаев ружье стреляет дальше: когда оно неподвижно закреплено или когда оно подвешено?



7. Пять одинаковых стальных шаров подвешены на одинаковых нитях так, что соседние шары касаются друг друга. Как будут вести себя шары, если отвести в сторону и отпустить крайний правый шар? А если отклонить одновременно два шара; три шара?

8. Почему человек, держащий базуку (ручной гранатомет), не испытывает отдачи при стрельбе?

9. На гладкий клин, составляющий угол 45° с горизонтом, вертикально падает шарик. Какова будет траектория шарика после упругого удара о клин, если клин неподвижен?

10. Почему слабо надутый футбольный мяч трудно отбить на большое расстояние?

11. Опытный баскетболист, принимая сильно посланный мяч, расслабляет руки и слегка подается назад вместе с мячом. Зачем?

12. В чем принципиальное отличие реактивной силы тяги от силы тяги обычного двигателя?

13. Снаряд, вылетевший из орудия под некоторым углом к горизонту, в верхней точке траектории разрывается на два осколка равных масс. Первый осколок возвращается к исходной точке по прежней траектории. Где упадет второй осколок?

14. Скорости движения молекул газов при обычных условиях измеряются сотнями метров в секунду. Почему же диффузия газов происходит сравнительно медленно?

15. Отчего броуновское движение заметнее у мелких взвешенных частиц, чем у более крупных?

16. Почему при меньших плотностях воздуха электрический разряд в нем происходит при более низких напряжениях?

17. Каким образом атомы газа можно перевести в возбужденное состояние?

18. Почему быстрые нейтроны легко проходят через блок свинца, но задерживаются в таком же объеме парафина, воды или другого соединения, в состав которого входят атомы водорода?

Микроопыт

Возьмите маленький и большой резиновые мячи. Поставьте маленький мяч сверху на большой и одновременно отпустите их. Как поведут себя мячи после удара о пол. Почему?

Любопытно, что...

...в средние века крепости штурмовали с помощью тарана — бревна массой в несколько сот килограммов. Завоеватели, держа его на плечах, устремлялись к воротам крепости, затем резко останавливались и отпускали таран, который продолжал скользить по наплечным кожаным накладкам.

...еще до Гюйгенса чешский ученый Ян Марци при исследовании соударений подразделял тела на мягкие, хрупкие и твердые, а Декарт, различая тела твердые и мягкие, не проводил границы между телами упругими и неупругими.

...о разнообразии интересов и способностей Гюйгенса говорит

не только изобретение им маятниковых часов, изготовление превосходного телескопа, открытие спутника и кольца Сатурна, но и защита им диссертации на степень доктора права. Незадолго до смерти Гюйгенс пишет одну из первых общедоступных книг по астрономии — «Космотеорос», русский перевод которой был издан по указанию Петра I.

...исследовать проблему столкновений предложило в 1666 году Лондонское Королевское общество. В конкурсе приняли участие три исследователя, среди которых был и Гюйгенс. Гюйгенс дал свое решение в мемуаре «О движении тел под влиянием удара», законченном еще в 1656 году.

...первоначально Ньютон формулировал свой третий закон как рабочую гипотезу, необходимую для построения механики, и подверг ее тщательной проверке, проводя опыты по столкновению маятников.

...одна из фирм, выпускавшая пулеметы, так писала о них в рекламном проспекте: «Наш пулемет настолько эффективен, что способен держаться в воздухе под действием направленного вниз непрерывного потока выпускаемых пуль».

...молекула кислорода при нормальных условиях пробегает от соударения до соударения всего лишь двадцатитысячную долю миллиметра. Однако по сравнению с ее размерами это не так уж мало — все равно что бильярдный шар проходит расстояние порядка 10 метров.

...налетающая на неподвижное ядро атома α -частица не входит в непосредственное соприкосновение с ним, однако модель абсолютно упругого удара прекрасно описывает рассеяние таких частиц на ядрах.

...при комнатных температурах большинство столкновений атомов являются упругими; возбуждаться при столкновениях они начинают лишь при температурах в десятки тысяч градусов. А вот почти все столкновения между элементарными частицами носят упругий характер.

...когда в 1932 году Дж.Чедвик исследовал свойства незаряженных частиц, излучаемых куском бериллия, непосредственно зафиксировать их он не мог. Однако, используя столкновения этих частиц с ядрами других элементов, он сумел определить все их параметры. Так был открыт нейтрон.

...при развале любого движущегося тела, будь то снаряд, ракета или атомное ядро, центр масс его осколков будет двигаться по той же траектории, что и до развала. Вот почему физики-ядерщики предпочитают изучать столкновения частиц в системе отсчета, связанной с их центром масс.

РЕЗОНАНС

Вместо камертона мы ставим электрически колеблющийся проводник. Вместо резонатора мы берем наш прерванный искровым промежутком провод, который мы тоже называем электрическим резонатором.

Генрих Герц

Я указывал, что молекулы газов мы должны рассматривать как отдельные резонаторы, обладающие определенным избирательным поглощением.

Пётр Лебедев

В природе очень часто что-нибудь «колеблется» и так же часто наступает резонанс.

Ричард Фейнман

Чем связаны между собой гудение проводов линии электропередачи и неожиданное дребезжание посуды в шкафу, подскоки на трамплине прыгуна в воду и настройка радиоприемника, звучание музыкальных инструментов и раскачивание вытаскиваемой из грязи автомашины, раздражающее «пение» водопровода и вращение гимнасткой обруча вокруг талии, раскалывание бокала при взятии певцом высокой ноты и работа плавящей металл индукционной печи, разрушение гигантских мостов под действием ветра и сильная вибрация корпуса корабля?...

Изумленный читатель спросит: «Уж не вознамерился ли автор перечислить вообще все на свете?» Конечно же, нет. Просто, приведенные примеры объединены часто встречающимся и действительно создающим впечатление всеохватности явлением – резонансом.

Однако в слове «резонанс», от латинского *resono* – откликаюсь, кроется ключ к установлению подобия между весьма разнородными процессами, когда на периодическое внешнее воздействие нечто, способное колебаться, охотно отвечает увели-

чением размаха собственных колебаний. Иначе говоря, когда малые причины способны привести к большим последствиям. Выявив эту особенность, вы легко продолжите список примеров и, как это часто бывает, обнаружите как полезные, так и вредные проявления резонанса.

Отметим, что универсальность в описании колебательных процессов, в том числе и резонанса, послужила ученым путеводной звездой при освоении неизведанных ранее областей, например мира микроявлений. А это привело к созданию таких мощных методов исследования строения вещества, как электронный парамагнитный резонанс и ядерный магнитный резонанс.

Вопросы и задачи

1. Можно ли дуновением раскачать массивный груз, подвешенный на нити?

2. Чтобы удержать открытую дверь в вестибюле метро, возвращаемую в положение равновесия пружинами, нужно приложить к ее ручке силу 50 Н. Достаточно ли силы 1 Н для открытия этой двери, если пренебречь трением в петлях?

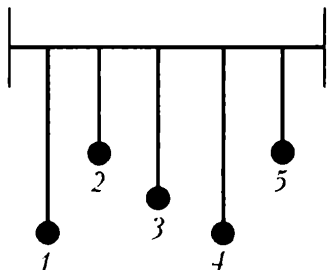
3. Почему раскачиваются качели, если приседать при их максимальном отклонении и вставать при прохождении положения равновесия? За счет какой энергии происходит раскачка?

4. Когда быстрее наступает резонанс – при сильном или слабом затухании собственных колебаний?

5. Можно ли сильно раскачать мост, стреляя очень много раз в него из рогатки в такт его собственным колебаниям?

6. При движении по ледовой «Дороге жизни», связывающей блокадный Ленинград с Большой землей, наиболее опасной для автомашин была скорость 35 км/ч. Почему? Как можно было избежать опасности?

7. Плывущий по морю катер начал сильно раскачиваться при небольшом волнении. Капитан изменил курс катера и его скорость, и, хотя волны стали бить в борт в два раза чаще, качка заметно уменьшилась. Отчего?



8. Для каких из показанных на рисунке маятников возможен резонанс?

9. Если педалью освободить струны рояля и громко пропеть несколько нот, то можно услышать «отклик». Как это объяснить?

10. Зачем полый корпус скрипки

и виолончели делают фигурным? Как от габаритов корпуса зависит тон звучания?

11. Отчего слышен звук, напоминающий отдаленный шум моря, при поднесении к уху чашки или раковины морского моллюска?

12. Когда к ножке одного из двух настроенных в резонанс камертонов прикрепили кусочек воска, камертоны оказались расстроены. Чем то объясняется?

13. В цепь переменного тока последовательно включены электрическая лампа, конденсатор и катушка индуктивности без сердечника. При постепенном введении в катушку сердечника лампа сначала стала гореть ярче, а затем накал ее нити уменьшился. Почему?

14. Напряжение на зажимах генератора периодически изменяется по закону, графически представленному на рисунке. Как должна быть связана частота генератора с собственной частотой подключенного к нему колебательного контура для резкого увеличения тока в цепи?



15. В каком случае электромагнитная волна передает максимум энергии расположенному на ее пути колебательному контуру?

16. При резонансе длина антенны должна быть в четыре раза меньше длины принимаемой электромагнитной волны. Почему же на практике пользуются антеннами меньшей длины?

Микроопыт

Подставьте пустую бутылку под тонкую струю воды из-под крана. Какой звук вы услышите? Как и почему меняется его тон по мере заполнения бутылки?

Любопытно, что...

...еще в античном театре для усиления голоса актера использовались большие глиняные или бронзовые сосуды (прообразы резонаторов Гельмгольца), представляющие собой полости шарообразной или бутылочной формы с узким длинным горлом.

...издревле звонари на колокольнях бессознательно использовали явление резонанса, раскачивая тяжелый колокол незначительными, но ритмичными толчками.

...на дальних подступах к своему открытию светового давления П.Н.Лебедев обнаружил в опытах смену взаимного притяжения вибратора и резонатора на отталкивание при переходе через

резонанс, причем как для электромагнитных, так и для гидродинамических и звуковых волн. Тожественность возникающих во всех случаях сил свидетельствовала о независимости полученных закономерностей от природы колебательных систем.

...в начале 30-х годов XX века практически все авиаторы столкнулись с загадочным явлением, названным флаттером, когда самолеты в спокойном горизонтальном полете неожиданно начинали вибрировать с такой силой, что разваливались в воздухе на куски. Как выяснилось, флаттер порождался причинами, подобными тем, что вызывали обрушение висячих мостов. Это сходство помогло рассчитать критическую скорость, при которой наступает раскачка крыльев, и избежать аварий.

...мощным подземным толчкам предшествует появление инфразвукового излучения. Подобное явление наблюдается также задолго до наступления шторма. Эти колебания можно уловить, отфильтровать их с помощью резонатора и усилить, что и было воплощено в приборах, служащих предвестниками стихийных бедствий.

...если в электрическом колебательном контуре менять емкость или индуктивность с частотой, в два раза большей собственной частоты контура, то в нем можно возбудить колебания. На этом так называемом параметрическом резонансе основано действие генераторов переменного тока, изобретенных российскими физиками Л.И.Мандельштамом и Н.Д.Папалекси.

...даже в гигантских современных циклотронах – ускорителях заряженных частиц – используется простой принцип, заключающийся в обеспечении резонанса между движением частицы по спиральной траектории и переменным электрическим полем, периодически «подхлестывающим» частицу.

...поглощение различными телами излучения объясняется резонансом между колебаниями электромагнитного поля падающей волны и собственными колебаниями входящих в состав тела заряженных частиц. А развивающаяся сегодня резонансная нелинейная оптика газообразных сред позволяет решить проблему преобразования инфракрасного излучения в видимое, что важно, например, для астрофизики и военного дела.

...явление туннельного эффекта, когда частица, пролетающая мимо атомного ядра, может пройти сквозь его потенциальный барьер, является результатом резонансного взаимодействия связанной с частицей волны и ядра, обладающего набором собственных частот.

ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Всякий легко согласится с тем, что теория о силах и движениях жидкостей, если только она не создана против воли Минервы, не является ни бесполезной, ни тривиальной.

Даниил Бернулли

Вопросы о движении жидкостей и газов или же о движении различных твердых тел в жидкостях и газах, прежде всего в воде и в воздухе, составляют суть специальной науки – гидроаэродинамики. А вести речь об обеих средах сразу разумно потому, что их движение описывается во многом одинаково

Прав был Бернулли – наука эта очень непростая. А уж о пользе ее и говорить не приходится: с древнейших времен людей занимали проблемы движения воды по каналам и водопроводным трубам, строительство водяных и ветряных мельниц, а затем – и вопросы море- и воздухоплавания, авиации и ракетной техники.

Чем дальше, тем больше практика подталкивала теорию к поиску законов, «управляющих» движением двух стихий. А это заставляло браться за решение сложнейших задач таких выдающихся ученых, как И. Ньютон и Л. Эйлер, У. Томсон и Дж. Максвелл, Н. Жуковский и С. Чаплыгин. До сих пор важное практическое значение имеет закон, сформулированный более 250 лет назад в знаменитой «Гидродинамике» Даниилом Бернулли и носящий теперь его имя.

Попробуйте и вы воспользоваться известными вам закономерностями, касающимися движения воздуха и воды.

Вопросы и задачи

1. Можно ли использовать паруса и руль для управления полетом воздушного шара?

2. Вертолет стоял на земле, а затем поднялся в воздух и «завис» на небольшой высоте. Когда он действовал на землю с большей силой?

Опубликовано в «Кванте» №1 за 1995 год.

3. Как удерживается в полете воздушный змей? Зачем ему приделывают хвост?
4. Что произойдет, если подуть в пространство между двумя горящими свечами?
5. Зачем на крышах домов делают чердачные окна?
6. Отчего опасно стоять вблизи края платформы, когда мимо проходит скорый поезд?
7. Если вращать над головой кусок гофрированной трубки, вроде шланга от пылесоса, раздается звук. Как он образуется?
8. Зачем на валы быстроходных ветродвигателей насаживают массивные маховики?
9. Зачем в центре купола парашюта делается отверстие?
10. Если подуть на пламя свечи через горлышко воронки, пламя отклонится в ее сторону. Отчего?
11. Почему дым от неподвижной сигареты вначале поднимается ровной струйкой, а затем начинает клубиться?
12. Почему сужается струйка воды, равномерно вытекающая из крана?
13. Если открытый водопроводный кран зажать пальцем так, что останется маленькое отверстие, то вода из него вырывается с большей скоростью, чем при полностью открытом кране. Почему?

Микроопыт

Приклейте к пинг-понговому шарiku нитку и, держа шарик за нее, коснитесь им струи воды из-под крана. Почему при отведении нитки шарик словно прилипает к струе?

Любопытно, что...

...сила действия струи воды на препятствие очень быстро растет с увеличением скорости жидкости. Благодаря этим силам образуются овраги, русла и долины рек, размываются морские и речные берега. О масштабах работы этих сил можно судить, например, по количеству переносимых реками взвешенных наносов, достигающему сотен миллионов тонн ежегодно.

...законы гидродинамики удивительным образом «учитываются» в живой природе. Скажем, птицы, летящие клином, экономят силы при дальних перелетах, а рыбы, плывущие косяком, увеличивают свою выносливость (как было подсчитано, в несколько раз).

...преимущество движения с использованием силы ветра было

подмечено еще в древней китайской пословице: «Тысяча весел, десять тысяч шестов не сравняются с парусом».

...замечательный голландский ученый и инженер Симон Стевин, известный как один из основателей гидростатики, сумел построить парусный автомобиль. Эта ветряная повозка, названная «гаагским чудом», развивала заметную скорость, «брала на борт» порядка 20 человек, могла поворачивать и двигаться даже против ветра.

...особенности движения в воздухе вращающихся тел были давно использованы человеком, например при бросании бумеранга. А вот в спорте на них обратили внимание сравнительно недавно. Это позволило легкоатлетам увеличить дальность метания дисков, а футболистам – посылать крученые мячи («сухие листы»), летящие по криволинейной траектории.

...при обдувании тела потоком воздуха за ним образуются вихри. Попеременно срываясь то с одной, то с другой стороны, они раскачивают тело. Размах колебаний может возрасти настолько, что произойдет разрушение. Так случалось с висящими мостами, радиомачтами и нефтяными вышками.

...при огромных скоростях вылета струй из гидромониторов вода перестает вести себя как жидкое тело, а действует подобно артиллерийскому снаряду, взрывая грунт и подбрасывая в воздух громадные глыбы. Это позволяет применять гидромониторы в земляных и горных работах.

...создавая сжатия и разрежения воздуха в трубах, можно по ним перемещать грузы. Это привело в начале XIX века к изобретению пневматической почты. Тот же принцип использовался и в пневматической железной дороге, перевозившей пассажиров в Нью-Йорке в семидесятых годах прошлого столетия.

...особенно эффективным примером использования сил давления струи газа или жидкости служат турбины. Поэтому практически все электростанции мира работают на водяных или паровых турбинах, а одним из основных двигателей на самолетах стала газовая турбина

...как показывают расчеты, для дальних перелетов на земле становятся рентабельными гиперзвуковые самолеты. Их скорость может достигать 10 – 12 тысяч километров в час, а высота полета – 36 – 50 километров. Такие самолеты, из-за различных условий при полете и посадке, должны иметь особую форму, в частности – изменяющуюся геометрию крыла.

ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ

Такой пар я назвал «газ», потому что он почти не отличается от «хаоса» древних.

Ян Баптист ван Гельмонт

...я уже предложил закон, согласно которому молекулы различных газов имеют равную живую силу < кинетическую энергию — А.Л. > поступательного движения.

Рудольф Клаузиус

В качестве исследуемого тела... берется самое простое, а именно газ, заключенный между твердыми, абсолютно упругими стенками, молекулы которого представляют собой жесткие, абсолютно упругие шары...

Людвиг Больцман

Конечно же, вы заметили, что авторы высказываний, стоящих в эпиграфе, так или иначе подступали именно к понятию идеального газа. Между первым высказыванием (голландского естествоиспытателя) и последним (австрийского физика) — путь длиной в два с половиной столетия. Путь, проторенный древними атомистами, но отнюдь не заверченный и сегодня. Путь, вобравший в себя необыкновенно обширную географию профессий и имен. Путь, на который один за другим становились, помимо названных, такие знаменитости, как Ньютон, Гук, Гюйгенс, Лаплас, Лавуазье, Бойль, Д.Бернулли, Джоуль, Максвелл, Перрен, Эйнштейн...

Чем же так притягательна модель идеального газа? Наверное, прежде всего возможностью, опираясь на простые исходные представления, построить теорию, имеющую поразительно широкие следствия. Разумеется, и тем, что она проявила огромные резервы абстрактного, модельного мышления, все более завоевывающего сегодня не только научно-технические, но даже и бытовые области. От обычных газов модель «перекинулась» к

Опубликовано в «Кванте» №5 за 1997 год.

электронному газу в металлах, к описанию излучения, электромагнитных волн и даже... к звуковым колебаниям атомов кристаллов. Все это — свидетельства необычной универсальности, поставившей модель идеального газа в ряд немногих фундаментальных моделей, с помощью которых создается физическая картина мира.

Итак, представим себе, что нас окружают идеальные газы...

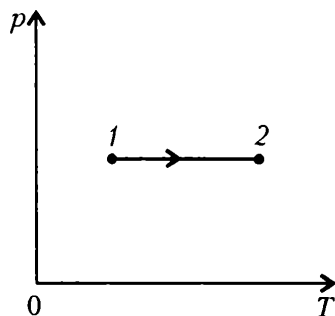
Вопросы и задачи

1. Сила тяжести на Луне меньше, чем на Земле. Почему же на Земле пыль долго удерживается над ее поверхностью, а на Луне она быстро оседает?

2. Одинаковы ли парциальные давления азота в безветренную теплую погоду над участками влажной и сухой почвы?

3. Сколько термодинамических параметров задают состояние конкретного идеального газа определенной массы?

4. Идеальный газ перевели из состояния 1 в состояние 2, как показано на рисунке. Как изменилась плотность газа?



5. Сосуд разделен на две секции пористой перегородкой. В одну секцию вводится водород, в другую — воздух, причем при одинаковых давлениях.

Чем объяснить, что вначале перегородка выгибается в сторону секции с водородом, а спустя какое-то время принимает прежнее положение?

6. Два одинаковых по объему закрытых сосуда заполнены углекислым газом, причем высота первого сосуда в два раза меньше высоты второго. Манометры, установленные наверху сосудов, показывают одно и то же давление p . Что покажут манометры, если сосуды перевернуть?

7. Атмосферное давление обусловлено весом воздуха. Как же поддерживается нормальное давление в кабине космонавта, если воздух в ней невесом?

8. Одинаковы ли давления оказывает воздух на пол и потолок комнаты?

9. Зависит ли давление газа на стенку сосуда от качества обработки стенки?

10. В сосуде находится смесь азота и неона. Одинаковы ли средние кинетические энергии молекул этих газов?

11. Стенки сосуда поддерживаются при различных темпера-

турах. Зависит ли давление газа на стенку сосуда от ее температуры?

12. Идеальный газ занимает половину теплоизолированного сосуда, в другой половине которого вакуум. Что произойдет с температурой газа, если мгновенно убрать разделительную перегородку?

13. Цилиндрический теплоизолированный сосуд с идеальным газом подвешен на нити. Нить обрывается, и сосуд падает. Изменится ли температура газа во время падения?

14. Движущийся сосуд, содержащий некоторую массу идеального газа, внезапно останавливается. Что произойдет с давлением газа в сосуде?

15. Увеличивает ли сильный ветер температуру переносимого им воздуха?

Микроопыт

Включите в комнате нагреватель. Согревшись, подумайте, что вы почувствовали: увеличение внутренней энергии воздуха в комнате или возрастание энергии каждой молекулы? Может быть, это одно и то же?

Любопытно, что...

...придуманное Гельмонтом в начале XVII века слово «газ» довольно долго не употреблялось, оно было возрождено знаменитым Лавуазье лишь в конце XVIII века и широко распространилось во времена полетов братьев Монгольфье на первых воздушных шарах.

...универсальная модель «совершенного газа» была предложена в 1842 году французским физиком и химиком Реньо. Термин же «идеальный газ» ввел в 1854 году Клаузиус.

...хотя законы Авогадро и Дальтона имеют вроде бы самостоятельные значения, нетрудно показать, что закон Дальтона является прямым следствием закона Авогадро и оба закона вытекают из молекулярно-кинетической теории идеального газа.

...оценки постоянной Авогадро, сделанные на основе теории идеального газа, уступали по точности вычислениям, опирающимся на модель реального газа, например расчетам Ван-дер-Ваальса.

...молекулярно-кинетическая теория идеального газа приводит к обоснованию экспериментально установленного факта равенства молярных теплоемкостей газов одного типа — скажем, одноатомных или двухатомных.

...многие положения кинетической теории газов долгое время

ждали своего опытного подтверждения. Так, лишь в 1911 году французский физик Дюнуайе поставил эксперимент, в котором показал, что молекулы газа беспрестанно сталкиваются друг с другом, а между столкновениями движутся прямолинейно.

...вывести столь известное теперь уравнение состояния газа (или объединенный газовый закон) Клапейрона побудила работа по «реанимации» труда Карно, незаслуженно оставшегося в тени в течение десяти лет.

...модель идеального газа «работает» и при обсуждении закона осмотического давления, установленного в конце прошлого века голландским химиком Вант-Гоффом. Рассчитывая это давление как для газа, состоящего из растворенного вещества, можно понять, например, почему при растворении 20 граммов сахара в литре воды возникает давление, способное уравновесить водяной столб высотой 14 метров.

...теория идеального газа позволяет оценить давление и температуру даже внутри звезд. Результаты таких оценок при всей их приблизительности весьма близки к полученным строгими расчетами. Так, согласно оценкам, давление газа в недрах Солнца оказывается в миллиарды раз выше нормального атмосферного, а температура там составляет миллионы градусов.

...для комнатных температур модель идеального газа начинает «хромать» уже при плотностях, лишь в 100 раз превышающих плотность газа при нормальных условиях.

...в работах Максвелла по кинетической теории газов впервые в описание физических явлений вошла статистика — иначе было бы невозможно получить общую картину поведения газа как огромного ансамбля частиц.

...газ без столкновений молекул может существовать не только в идеальной модели, но и в действительности. Это так называемый кнудсеновский газ — газ, находящийся при столь низком давлении, что его молекулы сталкиваются только со стенками сосуда. Особые свойства истечения такого газа через малое отверстие используются, например, при разделении изотопов.

...в последнее время идеальный газ стал «действующим лицом» в компьютерном моделировании. Благодаря возможностям ЭВМ, удастся наблюдать переход от упорядоченного движения «газа шаров» к хаотическому, выяснить причины возникновения «молекулярного хаоса» — в конечном счете, перейти к описанию явлений случайных, слабо поддающихся детальным расчетам.

Никто не сомневается, что теплота может быть причиной движения, что она даже обладает большой двигательной силой: паровые машины, ныне столь распространенные, являются этому очевидным доказательством.

Никола Карно

...могучие силы природы, созданные велением творца, неразрушимы, и... во всех случаях, когда затрачивается механическая сила, получается точно эквивалентное количество теплоты.

Джеймс Джоуль

Возможно превратить работу в теплоту и, наоборот, теплоту в работу, причем обе эти величины всегда пропорциональны друг другу.

Рудольф Клаузиус

В приведенных выдержках из работ выдающихся ученых наглядно отражается интерес, проявлявшийся ими к проблеме взаимосвязи двух понятий, до поры до времени рассматриваемых как самостоятельные. Доказательство Джоулем эквивалентности воздействий на тело путем совершения работы и путем нагревания продемонстрировало возможность превращения одной формы энергии в другую, что безусловно внесло свою лепту в открытие фундаментального закона сохранения энергии.

Помимо огромного вклада в науку, эти понятия сыграли решающую роль и в практике – без преувеличения можно утверждать, что промышленная революция не могла бы произойти, если бы люди не научились эффективно производить работу из тепла. Например, немалая часть железнодорожного транспорта, почти весь автомобильный транспорт и полностью вся авиация (включая и ракеты) представляют собой по сути тепловые машины. Однако непрекращающаяся борьба в поисках лучшего

их использования имеет еще одну, не менее важную для человечества, сторону – нарастающую угрозу планетарного потепления. В ближайшие годы науке придется вплотную заняться решением этой и подобных ей глобальных проблем.

Вот почему нам стоит сегодня обратиться к этой теме. И вовсе не исключено, что понадобятся и ваши знания.

Вопросы и задачи

1. Почему сверло дрели во время работы становится настолько горячим, что может обжечь, а спички от «чирканья» и вовсе вспыхивают?

2. Какая из шин автомобиля нагреется больше при его движении – слабо или сильно накачанная?

3. Кинетическая и потенциальная энергии автомобиля, движущегося по горизонтальному пути с постоянной скоростью, остаются неизменными. На что же тогда расходуется энергия сжигаемого топлива?

4. Несколько частиц сталкиваются так, что максимально возможная часть их кинетической энергии переходит во внутреннюю. Как движутся частицы после столкновения?

5. С неподвижным шаром сталкивается движущийся шар такой же массы, после чего они движутся как одно целое. Какая доля механической энергии перешла во внутреннюю?

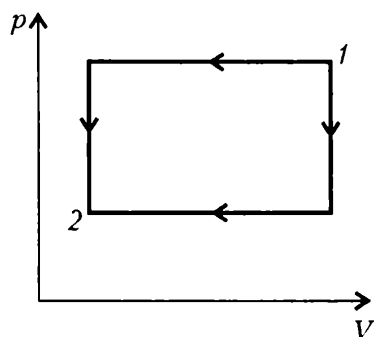
6. На наклонную плоскость втаскивают массивное тело, прикладывая к нему постоянную силу, направленную параллельно плоскости. Каким может быть знак работы силы реакции опоры?

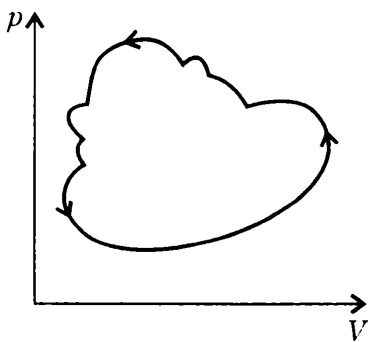
7. При большой физической нагрузке в организме человека вырабатывается столько тепла, что без его рассеяния температура тела возростала бы на 15 градусов в час. Как же мы избавляемся от «лишнего» тепла?

8. Можно ли указать процесс, в котором газ нагревается, отдавая тепло?

9. Идеальный газ может перейти из одного состояния в другое двумя путями: первый раз сначала по изобаре, затем по изохоре; второй раз – сначала по изохоре, затем по изобаре. При каком переходе выделяется больше тепла?

10. В каком случае при сжатии газа в цилиндре до одного и того же конечного объема совершается боль-





шая работа: при медленном вдвигании поршня или при быстром? Цилиндр не теплоизолирован.

11. Циклический процесс, совершаемый с рабочим телом в некотором устройстве, имеет вид, показанный на рисунке. Что это за устройство: тепловая машина или холодильник?

12. Как известно, температура выхлопных газов мотоцикла на выходе из глушителя в несколько раз ниже температуры, достигаемой в цилиндре двигателя. Почему?

13. Что в конечном итоге играет роль холодильника в тепловых машинах, используемых людьми?

14. Каким путем эффективнее повышать КПД машины Карно – увеличивая температуру нагревателя при неизменной температуре холодильника или на столько же понижая температуру холодильника при фиксированной начальной температуре нагревателя?

15. Является ли отопление помещений с помощью электронагревательных приборов энергетически наиболее выгодным?

16. Два одинаковых конденсатора зарядили до одного и того же напряжения и отключили от источника. Один из них затем сразу же разрядили, и при этом выделилось некоторое количество теплоты. В другом сначала сблизили пластины и лишь затем разрядили. Во втором случае тепловой эффект оказался меньше. Почему?

17. В однородном горизонтальном магнитном поле находятся две проводящие вертикальные рейки, верхние концы которых замкнуты на резистор. По рейкам с установившейся скоростью скользит вниз массивный проводник. В какие виды энергии переходит работа силы тяжести?

Микроопыт

Распрямите, хотя бы частично, обычную металлическую скрепку и быстро согните ее несколько раз в ту и другую сторону. Затем сразу же прикоснитесь к месту сгиба языком. Что вы почувствовали? Почему?

Любопытно, что...

...в своем сочинении «Размышления о движущей силе огня», посвященном исследованию эффективности тепловых машин,

Карно ввел в научный обиход множество понятий, сохранившихся до наших дней. Главное, в нем ученому удалось прийти к идее, лежащей в основе второго закона термодинамики, причем раньше, чем был установлен первый ее закон!

...для определения механического эквивалента теплоты Джоуль измерял нагрев жидкости, помещенной в магнитное поле, при вращении в ней электромагнита; продавливал определенное количество жидкости сквозь узкие трубы; вычислял тепло, выделявшееся при сжатии газа; наконец, применял гребное колесо для перемешивания (порознь) воды, семенного масла и ртути.

...изучение нервных волокон и энергетики мускульного сокращения, а также исследование процессов гниения и брожения послужили Гельмгольцу стимулом для написания сочинения «О сохранении силы», где впервые с исчерпывающей ясностью был сформулирован закон сохранения энергии.

...новое понимание процессов взаимного превращения теплоты и работы нашло свое отражение в названии обобщающего труда Клаузиуса «Механическая теория тепла», под которой он понимал термодинамику и молекулярную физику.

...автор одной из формулировок второго закона термодинамики Томсон (лорд Кельвин) преподавал пример редкого научного долголетия: он занимал кафедру натуральной философии в университете Глазго в течение 53 лет! После же своей отставки Томсон зачислил себя стажером-исследователем – для таких сотрудников не было ограничений по возрасту.

...за более чем двухвековую историю строительства тепловых двигателей КПД лучших из них едва достиг 50% из-за запретов, наложенных самой природой перехода тепловой энергии в механическую работу.

...во время торможения спутника в атмосфере высота его орбиты уменьшается, но скорость при этом увеличивается. Снижаясь, спутник движется по спиральной траектории так, что сила тяготения совершает положительную работу, половина которой идет на увеличение кинетической энергии спутника, а другая половина переходит во внутреннюю энергию.

...изучение показаний чувствительных термометров, установленных на всех континентах, кроме Антарктиды, приводит к выводу, что за прошедшие 500 лет средняя температура Северного полушария выросла на 1,1 градуса Цельсия. Более половины этого прироста приходится на одно лишь последнее столетие, что ученые связывают с тепловым загрязнением атмосферы за счет деятельности человека.

ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА

...не все тела в одинаковой степени обладают способностью содержать тепло, получать или передавать тепло через свою поверхность и проводить его в глубину массы

Жан Батист Жозеф Фурье

Переход электричества от одного участка к ближайшему я принял пропорциональным электродвижущей силе в каждом участке подобно переходу теплоты, который пропорционален разности температур.

Георг Ом

...если изложенное здесь истолкование трения газов правильно, то коэффициент трения не зависит от плотности... в ближайшем будущем нам придется сопоставить свою теорию с тем, что известно о диффузии газов и о прохождении тепла через газ.

Джеймс Клерк Максвелл

Что общего между проблемой подбора посуды для приготовления пищи и объяснением механизма затихания ветра или бури, выбором материала для строительства дома и решением задачи о разделении изотопов, особенностями движения летательных аппаратов и расплыванием капли чернил в стакане воды? В этих и еще очень многих, казалось бы, абсолютно различных ситуациях нам приходится сталкиваться с одним и тем же явлением – переносом: то тепловой энергии, то вещества, то импульса. В первом случае мы имеем дело с теплопроводностью, во втором – с диффузией, в третьем – с вязкостью, или внутренним трением.

Немудрено, что такого рода явления объединили одним названием – явления переноса. Более того, как оказалось, описывающие их математические модели тоже похожи, как две капли воды. Изучая явления порознь, как, например, Ньютон

Опубликовано в «Кванте» №3 за 2002 год.

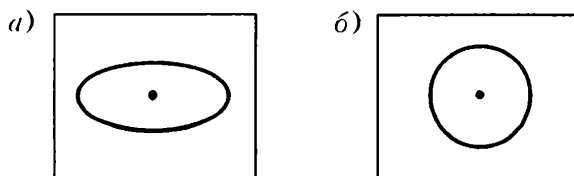
исследовал передачу тепла через вещество или устанавливал закономерности трения в жидкостях и газах, трудно было уловить такое подобие. Однако, начиная с работ Фурье, аналогии между различными физическими процессами стали не просто бросаться в глаза, но и послужили «катализатором» для некоторых выводов – например, закона Ома.

В задачах, предлагаемых вам ниже, практически нет математики, особенно ярко демонстрирующей связь между явлениями переноса. Рассчитываем, однако, что вы пока и без ее помощи уловите качественную внутреннюю общность внешне разнородных процессов и сумеете совершить перенос своих новых знаний, наблюдений и обнаруженных аналогий в другие области физики.

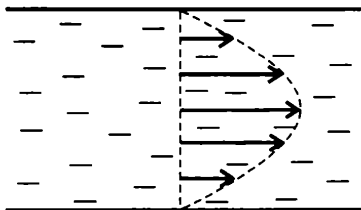
Вопросы и задачи

1. Почему запах краски ощущается не только вблизи свежeverкрашенной поверхности, но и далеко от нее?
2. Зачем сахар размешивают ложкой в стакане чая или кофе?
3. Где дольше сохранит свой объем резиновый шарик, наполненный водородом: в холодном или теплом помещении?
4. При сильном сдавливании двух железных деталей друг с другом даже в холодном состоянии удастся добиться их прочного соединения. Почему?
5. Отчего перемешавшиеся вещества, например входящие в состав воздуха азот и кислород, вновь не разделяются?
6. В сосуд, разделенный на две секции пористой перегородкой, слева поместили газ, состоящий из легких молекул, а справа, при том же давлении, – из тяжелых. Через некоторое время давление справа увеличилось, затем, через большой промежуток времени, давления в секциях выравнялись. Как это объяснить?
7. Что поддерживает диффузионный поток газа из объема мыльного пузыря наружу?
8. Куда следует поместить бутылку с газировкой, чтобы побыстрее ее охладить: в снег или в измельченный лед, если их температуры одинаковы?
9. В каком случае и металл, и дерево будут казаться нам при соприкосновении с ними одинаково нагретыми?
10. Почему при долгом использовании обычного чайника вода в нем все медленнее закипает?
11. Температура газа возрастает вдоль некоторой оси. Куда направлен поток тепла в газе, если концентрация его молекул всюду одинакова?
12. Почему капли воды на большой раскаленной сковороде перемещаются от ее центра к краю?

13. К обратной стороне изображенных на рисунке пластин из кристаллического гипса и стекла, покрытых спереди парафином, прикоснулись раскаленной иглой. Как по форме площади расплавленного парафина определить, где гипс, а где стекло?



14. При измерении температуры на поверхности одинаковых с виду комбинезонов, в которые были облачены два полярника, на первом из них она оказалась выше, чем на втором. Какой комбинезон теплее?



15. На рисунке изображено распределение скорости жидкости по сечению круглой трубы. Куда направлена сила вязкого трения?

16. Как объяснить, что в жару растительное масло выливается из бутылки легко, а постоявшее на морозе – заметно труднее?

17. Почему опытная хозяйка определяет степень готовности варенья по способности сахарного сиропа образовывать тонкие нити?

Микроопыт

Устройте «водоворот» в ведре с воздухом и в таком же ведре с водой, раскрутив их приблизительно до одной скорости с помощью, например, большой деревянной ложки. Что придет в покой раньше – воздух или вода?

Любопытно, что...

...методы, разработанные к 1822 году французским математиком Фурье в его «Аналитической теории тепла», посвященной теории теплопроводности, обладали такой универсальностью, что стали одним из главных инструментов математической физики, а затем и теории функций.

... выравнивание температур двух в разной степени нагретых тел, приведенных в соприкосновение, происходит таким образом, что температура контакта не зависит от времени и определяется лишь тепловыми свойствами веществ, из которых изготов-

лены тела. Это объясняет, в частности, почему разные материалы при одной и той же температуре кажутся столь различными на ощупь.

...вода проводит тепло приблизительно в 200 раз хуже, чем медь, теплопроводность же воздуха примерно в 20000 раз меньше теплопроводности меди. А вот гелий,, охлажденный до температуры ниже 2,19 кельвинов – так называемый гелий II, – обладает уникальными свойствами, превосходя по теплопроводности медь почти в 100 раз и проявляя при этом сверхтекучесть, т.е. полное отсутствие вязкости.

...вещество плотных звезд, именуемых белыми карликами, состоит в основном из ядер гелия и свободных электронов, что обеспечивает сходный с металлами электронный механизм теплопроводности, из-за чего звезда практически по всему объему имеет температуру порядка 100 миллионов градусов.

...в 1855 году швейцарскому физiku А. Фику пришла в голову аналогия между движением вещества вследствие диффузии и распространением тепла из-за теплопроводности. «Достаточно, – посчитал Фик, – заменить в законе Фурье слова «количество тепла» словами «количество вещества» и слово «температура» словом «концентрация». Так появился на свет диффузионный закон Фика.

...частицы, входящие в состав космических лучей, отклоняясь межзвездными магнитными полями, блуждают по Галактике в полном соответствии с диффузионным движением молекул в газах или жидкостях.

...будучи не только физиком, но и врачом, Жан Пуазейль, в честь которого названа единица вязкости, при исследовании течения жидкости по тонким трубкам (1840 г.) интересовался, прежде всего, аналогией с циркуляцией крови по сосудам. Много позже выяснилось, что частицы крови при увеличении ее скорости ориентируются так, чтобы, в отличие от обычных жидкостей, сопротивление потоку было минимальным и вязкость уменьшалась.

...прежде чем охлаждаемая жидкая струйка превратится в твердое волокно, она должна прожить достаточно долго, чтобы успеть затвердеть. Как показал Уильям Стретт (лорд Рэлей), время жизни такой жидкой нити пропорционально ее вязкости. Для воды оно составляет десятитысячные доли секунды – вот почему из воды невозможно изготовить волокна.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

Наэлектризуйте шар, и пробковая горошина отлетит приблизительно на четыре-пять дюймов в зависимости от количества электричества.

Бенджамин Франклин

На самом деле, у Франклина речь идет об электрическом заряде. А термин «количество электричества» появился в связи с представлением о заряде как о некой жидкой субстанции, способной перетекать с одного тела на другое и сообщать им свойство притягиваться или отталкиваться. Так это и закрепилось в языке – например, мы говорим: «заряд стекает», «ток течет» и т.д.

А вот воззрения наши на природу электричества за два с половиной века, прошедших со времени опытов Франклина, существенно изменились. Были открыты мельчайшие частицы, «ответственные» за перенос заряда, обнаружено «участие» заряда в неизвестных ранее микроскопических процессах в атоме и его ядре, создано несколько сменивших друг друга теорий, объясняющих не только электрические, но и родственные им магнитные явления. Понятие электрического заряда, занимая в этих теориях центральное место, остается при этом не менее загадочным, чем сотни лет назад.

Тем не менее, огромный опыт человечества, приобретенный от «общения» с электрическими зарядами, поможет нам и сегодня – в решении как самых простых, так и более сложных задач.

Вопросы и задачи

1. Изолированному проводящему телу сообщили положительный заряд. Изменилась ли при этом его масса?
2. На тонких шелковых нитях подвешены две одинаковые легкие гильзы, одна из которых заряжена. Как определить, какая именно заряжена, не пользуясь никакими приборами?

Опубликовано в «Кванте» №3 за 1995 год.

3. Можно ли на концах стеклянной палочки создать разноименные заряды?

4. Каков знак заряда шара, изображенного на рисунке?

5. Положительно заряженная стеклянная палочка притягивает подвешенный на нити легкий проводящий шарик. а) Можно ли отсюда заключить, что шарик заряжен отрицательно? б) Следует ли из отталкивания этой палочкой шарика, что он заряжен положительно?

6. Как, имея электрический заряд, получить заряд другого знака?

7. Можно ли передать весь заряд с одного проводника на другой?

8. Полый латунный шар A с небольшим отверстием заряжен положительно, как показано на рисунке. Зарядится ли металлический шар B , если его соединить проволокой с внутренней поверхностью шара A ?

9. Если зарядить проводник A , то на проводнике B возникают индуцированные заряды, а если зарядить проводник B , то на проводнике A заряды не возникают. В каком случае это возможно?

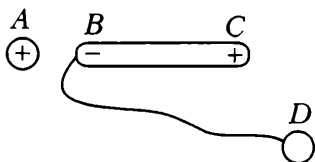
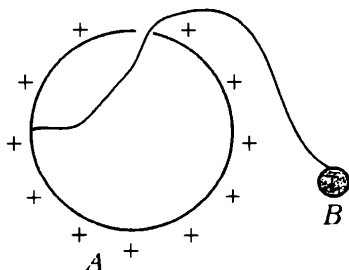
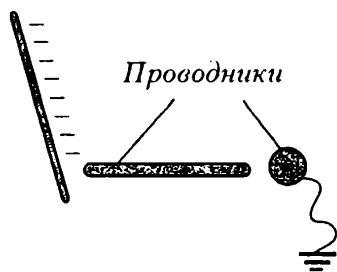
10. Два одноименно заряженных металлических шара одинакового диаметра приводят в соприкосновение. Как распределятся заряды на шарах, если один из шаров полый?

11. Положительно заряженный шар A индуцировал заряды на незаряженном проводнике BC , как показано на рисунке. После этого левую половину проводника BC соединили с незаряженным шаром D . Каков знак заряда, приобретенного этим шаром?

12. Зачем при промышленном изготовлении пороха его обволакивают порошком графита?

13. Листочки электроскопа расходятся при приближении к его стержню наэлектризованной палочки еще до того, как она коснется стержня. Не противоречит ли это закону сохранения заряда?

14. В чем суть различия между явлениями внешнего и внутреннего фотоэффекта?



15. Каким образом при β -распаде из ядра радиоактивного вещества может выбрасываться электрон, когда в состав ядра входят только протоны и нейтроны?

16. Чем отличается по составу ядро легкого изотопа гелия от ядра сверхтяжелого водорода?

17. Почему в камере Вильсона летящий протон оставляет видимый след, а летящий нейтрон нет?

Микроопыт

Потрите газетой детский воздушный шар, приблизьте его к потолку и отпустите. Шар останется висеть у потолка, и это может продолжаться долгое время. Почему?

Любопытно, что...

...впервые исследованием способности янтаря электризоваться занялся знаменитый древнегреческий философ Фалес Милетский. По легенде, его внимание к этому вопросу привлекла дочь, заметившая, как прилипают к янтарному веретену шерстинки во время пряжи.

...французский ученый Ш. Дюфе, введший понятие о двух родах электричества, назвал их «стеклянным» и «смоляным». «Первое, – писал он, – появляется на потертых стекле, кварце, драгоценных камнях, волосах животных, шерсти. Второе – на потертых янтаре, шелке, пряже, бумаге...»

...один из первых приборов, позволяющих измерить электрический заряд, – электрометр – изобрел русский физик Г. Рихман. Увы, Рихман погиб при измерении электрометром заряда конденсатора от молнии, ударившей в шест его «громовой машины».

...научная судьба Б. Франклина, оказавшего огромное влияние на изучение электрических явлений, весьма необычна. Он не был физиком ни по образованию, ни по роду деятельности. Собственно электрическим исследованиям он посвятил всего около семи лет жизни.

...о том, что должен существовать наименьший в природе электрический заряд, догадывались давно. Эти подозрения, а также уверенность в том, что «электрические частицы» как-то связаны с атомами, укрепились после опытов М. Фарадея по электролизу. А понятие электрона как минимального неделимого заряда было введено лет за 25 до открытия электрона как частицы.

...весьма чувствительные эксперименты, проведенные для выяснения различия в величинах зарядов протона и электрона,

позволяют заключить, что эти заряды равны с точностью до 10^{-21} .

...когда в 1963 году из глубин Исландского моря поднялся вулкан, образовав новый небольшой островок, в темных облаках над вулканом засверкали яркие молнии. Дело было в том, что раскаленная лава, попав в море, поднимала вверх облака положительно заряженного пара. После соответствующего накопления заряда облака разряжались в море, причем, в отличие от обычной молнии, электроны двигались вверх по каналу разряда.

...электростатические эффекты, зачастую служащие помехой, например при транспортировке хлеба в элеватор, могут играть и положительную роль. Так, абразивное зерно помещается под намазанной клеем бумагой и подскакивает, прилипая к ней, благодаря электростатическому притяжению, создаваемому в нужном месте.

...с точки зрения электростатистики, любой атом как система положительно и отрицательно заряженных частиц не может быть устойчивым. Но так как громадное большинство атомов устойчивы, приходится считать атом системой динамической, т.е. приписать либо протонам, либо электронам непрерывное движение.

...для того чтобы удалить электрон из металла, необходимо преодолеть силу притяжения положительных ионов. Этого можно достичь увеличением температуры – явление термоэлектронной эмиссии, бомбардировкой металла электронами – явление вторичной электронной эмиссии или действием света – явление внешнего фотоэффекта.

ЗАКОН КУЛОНА

...взаимное притяжение электрической жидкости, именуемой положительной, и электрической жидкости, именуемой обычно отрицательной, состоит в обратном отношении квадратов расстояний...

Шарль Огюстен Кулон

Конечно же, попытки найти закономерности взаимодействия заряженных тел предпринимались и до Кулона. Выдвигались любопытные гипотезы, проводились смелые аналогии, ставились хитроумные опыты. В этом участвовали такие незаурядные ученые, как Даниил Бернулли, Джозеф Пристли, Франц Эпинус, Генри Кавендиш. Однако лишь Кулону удалось довести до конца независимые, тщательные и убедительные исследования, положившие начало количественной электростатике. Разрозненная и во многом только качественная мозаика электрических явлений словно обрела единство. Появилась возможность ввести единицу электрического заряда, объяснить огромное количество накопленных фактов, а главное – «впустить» в электричество превосходно разработанные идеи и методы теоретической механики. До той поры она была практически неспособна помочь в толковании то ли опытов, то ли забав с электричеством. Сформулированный Кулоном закон обеспечил теории электрических явлений дальнейший и быстрый прогресс.

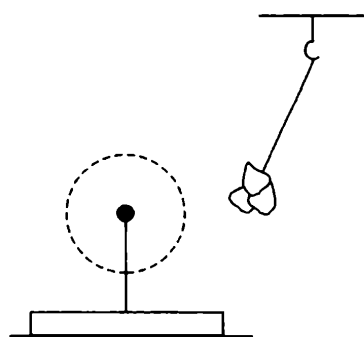
Вопросы и задачи

1. Почему мы не проваливаемся сквозь пол?
2. С какой силой действуют два одноименных и равных по величине заряда на третий заряд, помещенный посередине между ними?
3. Заряженный шарик притягивает бумажку. Как изменится сила притяжения между ними, если концентрической металлической сферой окружить: а) шарик; б) бумажку?

Опубликовано в «Кванте» №3 за 1996 год.

4. Как изменится сила притяжения между шариком и бумажкой (см. предыдущую задачу), если сферу, окружающую шарик, заземлить?

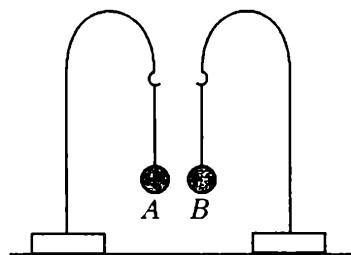
5. В каком случае сила электрического взаимодействия двух близко расположенных металлических шариков будет больше – при наличии на них одноименных или разноименных зарядов (при прочих равных условиях)?



6. Положительно заряженный шар A поместили вблизи металлического шара B . Измерения показали, что сила электрического взаимодействия шаров равна нулю. Заряжен ли шар B ?

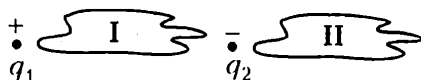
7. Могут ли два одноименно заряженных проводника притягиваться?

8. Два маленьких шарика подвешены на тонких изолирующих нитях одинаковой длины в одной точке. Что произойдет, если шарикам в состоянии невесомости сообщить одноименные заряды?



9. Заряды двух одинаковых маленьких металлических шариков, удаленных друг от друга, отличаются по величине в 4 раза. Изменится ли сила взаимодействия шариков, если их на короткое время соединить проволочкой?

10. Два точечных равных по величине, но разноименных заряда q_1 и q_2 закреплены на некотором расстоянии друг от друга. В какой из очерченных областей I, II и III может быть в равновесии с ними третий заряд? А если заряды q_1 и q_2 одноименные?



11. Два разноименных точечных заряда притягиваются друг к другу с некоторой силой. Изменится ли сила, действующая на каждый заряд, если между ними поместить стеклянный шар?

12. Электрон, обладающий на бесконечности скоростью v , начинает двигаться точно в сторону другого неподвижного и свободного электрона. Как в дальнейшем будут вести себя электроны?

13. Тонкое проволочное кольцо несет на себе заряд q . В центре кольца расположен одноименный с q заряд Q . Каков результат взаимодействия этих зарядов?

14. Мыльный пузырь, сообщаящийся с атмосферой через вертикальную трубку, стягивается, превращаясь за некоторое время в почти плоскую пленку на конце трубки. Изменится ли это время, если пузырю сообщить: а) положительный; б) отрицательный заряд?

15. Почему α -частицы, испускаемые радиоактивными препаратами, не могут вызвать ядерных реакций в тяжелых элементах?

Микроопыт

Постарайтесь опустить в стакан с водой стальную булавку так, чтобы она плавала. Поднесите к ней наэлектризованную пластмассовую расческу. Как будет вести себя булавка? Почему?

Любопытно, что...

...Францу Эпинусу – немецкому ученому, работавшему в конце XVIII века в Петербурге, построить свою теорию электрических явлений помогла аналогия с теорией тяготения Ньютона. Исходя «из экономии и гармонии в природе», Эпинус предположил, что электрические и магнитные силы обратно пропорциональны квадрату расстояния.

...закон взаимодействия электрических зарядов первым экспериментально установил Генри Кавендиш. Однако эту работу, как и многие другие, он сделал «для собственного удовлетворения» и не обнародовал своего открытия. О нем узнали лишь в середине прошлого столетия благодаря Дж. Максвеллу.

...согласно теоретическим представлениям, бытовавшим до Кулона, считалось, что электрическое воздействие проявляется лишь в особой «атмосфере», непосредственно окружающей наэлектризованное тело.

...свой прибор, служащий «для измерения мельчайших степеней силы», сам Кулон назвал крутильными весами и прежде всего использовал для изучения трения. А исследования, обесмертившие его имя, Кулон проводил в качестве побочного занятия, никогда ранее особенно не интересуясь электричеством и магнетизмом.

...повторив опыт Кавендиша, Кулон установил, что электричество распределяется по поверхности проводников. Основываясь же на законе обратных квадратов, он доказал это свойство и теоретически.

...будучи «убежден в том, что все силы природы находятся во взаимной связи», Майкл Фарадей пытался экспериментально обнаружить зависимость между электричеством и тяготением. Он поставил чрезвычайно изящные опыты для обнаружения этой связи, но результаты оказались отрицательными.

...при внешнем сходстве закона Кулона с законом всемирного тяготения Ньютона между этими видами взаимодействия лежит глубокая пропасть. Электрические силы при прочих равных условиях значительно превосходят гравитационные; не обнаружено пока гравитационного отталкивания. Однако наличие двух видов электрических зарядов приводит к тому, что в любом куске вещества заряды настолько точно сбалансированы, что наблюдать электрические силы довольно трудно. При мало-мальски серьезном нарушении нейтральности тел у зарядов возникает неудержимое стремление ее восстановить.

...происхождение сил упругости и сил трения нашло свое (и то частичное) объяснение лишь тогда, когда стала понятна природа электрических сил между нейтральными системами – молекулами.

...для «домашнего потребления» в физике и почти всегда в технике принято рассматривать электрические и магнитные силы отдельно друг от друга. Однако вопрос о том, какая из двух составляющих – электрическая или магнитная – проявляется при движении свободных носителей заряда, целиком зависит только от системы отсчета.

...объяснение явления сверхпроводимости основывается на объединении свободных электронов в пары, которые могут двигаться в металле без трения. Несмотря на то, что по закону Кулона электронам положено отталкиваться, их взаимодействие с кристаллической решеткой меняет знак силы.

.. недавние эксперименты с проводящими сферами позволяют утверждать, что показатель степени в законе Кулона равен двойке с точностью до 10^{-13} .

ПОТЕНЦИАЛ

...напряжение — ...усилие, производимое каждой точкой наэлектризованного тела, чтобы избавиться от имеющегося в ней электричества и передать его другим телам...

Алессандро Вольта

Электродвижущее действие проявляется в двоякого рода эффектах... Я назову первый из этих эффектов электрическим напряжением...

Андре Мари Ампер

В каждой точке пространства имеется число, и, когда вы переходите с места на место, это число меняется. Если в какой-то точке пространства поместить предмет, то на него будет действовать сила в том направлении, в котором быстрее всего изменяется это число (я дам ему обычное название — потенциал...).

Ричард Фейнман

Между первым и последним из приведенных высказываний — почти двести лет. Они вобрали в себя одну из самых интересных историй о становлении одного из самых замысловатых физических (и не только!) понятий. Согласитесь, нелегко обнаружить главного персонажа этой истории, скрывающегося под масками то напряжения, то электродвижущей силы, то некоей загадочной функции. Все это — потенциал. А со сколькими его разновидностями вам, возможно, еще придется встретиться: контактная разность потенциалов, потенциал ионизации, гравитационный потенциал... А каковы имена ученых, распутывавших терминологический клубок и шлифовавших новое понятие, — Эйлер, Лаплас, Пуассон, Грин, Гаусс!..

Правда, не сразу поймешь: физики ли это или математики? Не удивляйтесь, универсальность этого понятия связана с огромной областью плодотворных его применений — в задачах о

распространении тепла, о течении жидкости, в расчетах гравитационных, электрических и магнитных полей.

Пробуя свои силы в решении пусть пока простых проблем, не забывайте о том, что современная теория потенциала — весомый «камень» в фундаменте целой отрасли знаний, называемой математической физикой.

Вопросы и задачи

1. Потенциал электрического поля некоторого заряда убывает по мере удаления от него. Каков знак этого заряда?

2. Всегда ли между проводником, заряженным положительно, и проводником, заряженным отрицательно, есть разность потенциалов?

3. На расстоянии r от центра изолированного проводящего незаряженного шара находится точечный заряд q . Чему равен потенциал шара?

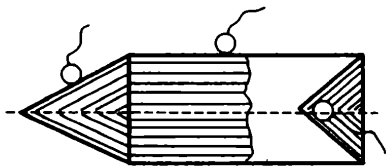
4. Имеется заряженная сфера. Зависит ли потенциал в центре сферы от распределения зарядов на сфере?

5. Внутри проводящей заряженной сферы через небольшое отверстие вносится (без соприкосновения) металлический шарик, заряд которого равен по величине, но противоположен по знаку заряду сферы. Как изменится потенциал сферы?

6. Как меняется потенциал поля сферического конденсатора с радиусами внутренней обкладки R_1 (заряд $+q$) и внешней R_2 (заряд $-q$) в зависимости от расстояния r от центра сфер? Начертите график.

7. Двум удаленным друг от друга проводникам сообщены положительные заряды так, что потенциал первого 100 В, а второго 50 В. Будут ли положительные заряды переходить с первого проводника на второй, если привести их в соприкосновение (никаких других тел вблизи нет)?

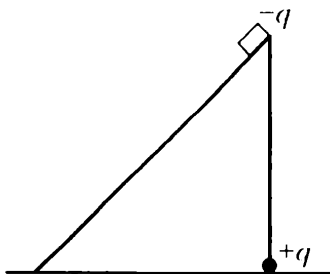
8. Пробный шарик соединяют проволочкой с электрометром и обводят по всему контуру заряженного тела, изображенного на рисунке. Будут ли при этом меняться показания электрометра? Почему для этого опыта берут длинную проволочку?



9. В однородное электрическое поле плоского конденсатора помещен проводящий незаряженный шар так, что центр его находится на равных расстояниях от пластин конденсатора. Потенциалы пластин равны +100 В и −100 В соответственно. Что представляет собой поверхность нулевого потенциала?

10. Упругий металлический шарик, несущий заряд q , закреплен на изолирующей упругой подставке. На него с высоты h падает точно такой же и так же заряженный второй шарик. На какую высоту поднимется второй шарик после удара о первый?

11. По гладкой наклонной плоскости, составляющей угол 45° с горизонтом, соскальзывает небольшое тело, несущее заряд $-q$. Повлияет ли на его скорость у основания наклонной плоскости заряд $+q$, закрепленный так, как показано на рисунке?



12. Между точками A и B некоторой цепи, содержащей конденсаторы, разность потенциалов равна U . Если к этим точкам присоединить конденсатор емкостью C , то будет ли его заряд равен CU ?

13. Параллельно пластинам заряженного и отключенного от батареи плоского конденсатора вводят незаряженную металлическую пластину, толщина которой в два раза меньше расстояния между обкладками. Как изменится разность потенциалов между обкладками?

14. Почему к оборванному трамвайному проводу, лежащему на земле, следует подходить все более мелкими шажками?

15. Между любыми двумя точками однородного проволочного кольца разность потенциалов равна нулю, а ток в кольце существует. Когда это возможно?

16. Можно ли, находясь в самолете, летящем в магнитном поле Земли, обнаружить разность потенциалов, возникающую между концами крыльев самолета?

17. Вольфрамовый шарик, находящийся в вакууме, облучают ультрафиолетовым светом. Как со временем будет меняться потенциал шарика?

Микроопыт

Известно, что вблизи поверхности Земли напряженность электрического поля такова, что на расстоянии между уровнем вашего носа и уровнем пяток разность потенциалов составляет около 200 В. Сможете ли вы использовать это напряжение, чтобы зажечь электрическую лампочку? Не опасно ли такое напряжение для вас?

Любопытно, что...

...Вольта, обнаруживший контактную разность потенциалов, введший в науку термин «напряжение», отмеченный потомками присвоением единице электрического напряжения наименования «вольт», создавший «вольтов столб» — «самый замечательный, — по словам французского ученого Араго, — прибор, когда-либо изобретенный людьми», не имел ни малейшего представления о том, как и почему этот прибор работает.

...свою работу «Опыт применения математического анализа к теориям электричества и магнетизма» Грин написал, будучи самоучкой. До сорока лет, когда он поступил (!) в Кембриджский университет, Грин работал пекарем и мельником, самостоятельно штудирова науки. Важно отметить, что, вводя понятие потенциальной функции, Грин не связывал его с понятием работы, еще не используемым в физике.

...электрический ток может протекать не только в цепи, где разность потенциалов между двумя произвольно взятыми точками равна нулю, но и течь от меньшего потенциала к большему, как, скажем, внутри источников тока.

...существуют такие электрические поля, для которых определить напряженность можно, а потенциал — нельзя. Например, поле, возникающее при электромагнитной индукции. Именно такие («непотенциальные») поля обеспечивают работу трансформаторов и электродвигателей.

...крупный угорь «вырабатывает» напряжение до 600 вольт при токе до 1 ампера. Это оказывается возможным за счет множества цепочек из последовательно соединенных электрических клеток, в каждой из которых создается разность потенциалов около 0,15 вольта. Сами же цепочки «подключаются» параллельно, поэтому суммарным током угорь способен оглушить или даже убить жертву.

...когда вы двигаетесь по ковру и, прикоснувшись к чему-либо, извлекаете электрические искры до сантиметра длиной, ваш потенциал составляет от 10000 до 20000 вольт.

...разность потенциалов (например, между облаком и землей) при возникновении молнии достигает 4 миллиардов вольт, а типичное значение силы тока в молнии порядка 20000 ампер.

...диапазон используемых человеком напряжений «раскинулся» на 12 порядков. Максимально достижимые из них ограничены электрической прочностью изоляторов и составляют миллионы вольт. Минимальные напряжения, с которыми имеют дело в технике, порядка долей микровольта.

...мои старые и новые открытия так называемого гальванизма... проливают новый свет на теорию электричества; открывают новые пути для химических исследований.

Алессандро Вольта

Химическая сила... прямо пропорциональна абсолютному количеству прошедшего электричества.

Майкл Фарадей

Химия испытывает на себе влияние физики, пожалуй, сильнее, чем любая другая наука.

Ричард Фейнман

Нет, мы вовсе не изменяем физической направленности нашего «Калейдоскопа». Напротив, стремимся показать, как далеко простирает и физика «руки свои в дела человеческие», в том числе и в химию. Еще важнее подчеркнуть, насколько плодотворен для развития наук бывает их союз, а порой и тесное переплетение, к скольким полезным свершениям он приводит. И одним из лучших примеров может послужить становление электрохимии — области, где иногда невозможно отделить физику от химии. Вспомните, например, на каких уроках вы изучаете в школе электролиз.

Впечатляет даже конспективное перечисление практических достижений электрохимии за ее более чем двухсотлетнюю историю.

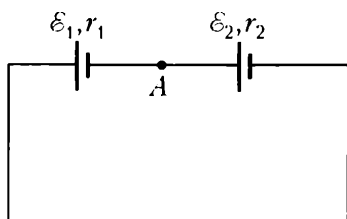
Это создание постоянных батарей, аккумуляторов и различных разновидностей гальванических элементов, используемых теперь во всех отраслях техники и в быту. Если бы удалось одновременно включить все те миллиарды химических источников тока, что изготовлены сегодня на Земле, их мощность оказалась бы сравнимой с мощностью всех электростанций мира.

Это получение и очистка цветных металлов методом электролиза, внедрение гальванопластики и гальваностегии, решение проблемы опреснения воды и применение электродиализа для синтеза новых веществ, мониторинг окружающей среды с помощью химических сенсоров и имплантация электрокардиостимуляторов...

Но как бы ни были важны приложения электрохимии, нельзя забывать о той огромной теоретической роли, которую сыграли ее представления в развитии учения об электричестве и строении вещества. На это и хотим обратить ваше внимание при сегодняшнем кратком экскурсе в электрохимию.

Вопросы и задачи

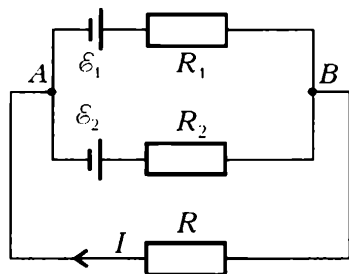
1. Присутствуют ли в электролитах свободные электроны?
2. Всегда ли металл при погружении в электролит заряжается отрицательно?
3. Почему вокруг электролита, например раствора поваренной соли, нет электрического поля, хотя внутри него имеются заряженные частицы — ионы?
4. К электродам, погруженным в слабый раствор поваренной соли, подвели постоянное напряжение. Как будет меняться сила тока, проходящего через раствор, если в него постепенно подсыпать соль?
5. Почему безводная серная кислота может храниться даже в железной посуде, а разведенная — только в стеклянной?
6. Две одинаковые электролитические ванны соединены последовательно. В первой из них находится раствор CuCl , во второй — CuCl_2 . В какой из ванн на катоде выделяется больше меди?
7. До каких пор будет продолжаться процесс электролиза медного купороса, если взяты угольные электроды; медные электроды?
8. Полный ток в электролите складывается из тока положительных ионов и тока отрицательных ионов, движущихся в противоположных направлениях. Почему количество вещества, выделяющегося на катоде, рассчитывается по полному току, а не по току лишь положительных ионов?
9. В каком случае опаснее браться за электрические провода — когда руки сухие или когда мокрые?
10. Для чего в гальванотехнике применяют реверсирование, т.е. изменение направления тока?
11. Через аккумулятор течет ток. Сравните разность потенциалов на клеммах аккумулятора с его ЭДС.



12. При измерении ЭДС старой батарейки для карманного фонарика вольтметр показал значение, близкое к номинальному, но лампочка от этой батарейки не загорелась. Почему?

13. Изобразите графически примерное распределение потенциала вдоль замкнутой цепи, изображенной на рисунке, если $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ и $r_1 < r_2$.

14. Чтобы увеличить ток, протекавший в цепи одного аккумулятора, к нему присоединили второй. Однако как при последовательном, так и при параллельном соединении этих аккумуляторов получался меньший ток. В каком случае это возможно?



15. В цепи, показанной на рисунке, увеличили сопротивление R_1 , из-за чего ток I также увеличился. Когда это возможно?

16. Трамвайная линия питается постоянным током, причем воздушный провод присоединен к положительному полюсу генератора, а рельсы — к отрицательному. Почему так, а не наоборот?

17. Почему гальванический элемент с небольшой — порядка нескольких вольт — ЭДС может дать значительный ток, а электростатическая машина, ЭДС которой достигает десятков тысяч вольт, дает ток ничтожной силы?

Микроопыт

Вы можете самостоятельно изготовить простейший гальванический элемент по известному старинному рецепту. Разрежьте лимон острым ножом поперек, стараясь сохранить перепонки, разделяющие дольки. В каждую дольку воткните попеременно кусочки медной и цинковой проволочек, соедините их попарно по кругу и от двух крайних сделайте два вывода («полюса»). Как проверить работоспособность такого элемента?

Любопытно, что...

...вероятно, первыми гальваническими элементами были найденные при раскопках вблизи нынешнего Багдада керамические сосуды, закрытые асфальтовой пробкой с пропущенными через нее железным и медным стержнями. Удивительно, что эти

«приборы» заработали и через пять тысяч лет, стоило лишь залить в сосуды морскую воду либо скисшее вино.

...изобретатель химического источника электрического тока Вольта, как ни странно, не заинтересовался его применением в химии. Первенство в открытии такого важного явления, как электролиз, принадлежало двум английским любителям естествознания – литератору Никольсону и врачу Карлейлю – после первых же их опытов с вольтовой батареей в 1800 году.

...чтобы ощутить «вкус электричества», Вольта поставил известный опыт: он прикладывал к середине языка золотую монету или серебряную ложку, а к кончику – оловянную пластинку и, соединяя их, чувствовал кисловатый привкус.

...великий изобретатель Дэви, открывший некоторые новые химические элементы и вселяющий газ, первым нашедший техническое приложение электролизу, придумавший безопасную рудничную лампу и предложивший способ защиты металлов от коррозии, самой большой своей заслугой считал открытие миру... Майкла Фарадея.

...предшествуя современному определению ампера, базирующемуся на магнитном взаимодействии токов, долгое время международным стандартом единицы силы тока служил эталон, созданный на основе первого закона Фарадея для электролиза.

...чем выше диэлектрическая проницаемость растворителя, тем больше степень диссоциации растворяемых в нем веществ. Поэтому, например, соляная кислота при растворении в воде дает электролит с высокой электропроводностью, а ее раствор в этиловом эфире, у которого проницаемость почти в 20 раз меньше, чем у воды, проводит электрический ток очень плохо.

...исследования электролитов привели ученых к логическому выводу о дискретности электрического заряда. Так, Джордж Стоней, опираясь на законы Фарадея для электролиза, высказал идею о дискретности электричества, рассчитал величину заряда одновалентного иона и предложил для него термин «электрон».

...в конце XIX века аккумуляторные электромобили успешно соперничали с тогда еще несовершенными машинами с двигателями внутреннего сгорания. Но сегодня ситуация обратная – несмотря на огромные усилия, задача создания конкурентоспособного электромобиля еще не решена.

...в последние десятилетия традиционные химические источники тока стали активно вытесняться на рынке элементами с использованием лития, обладающими широким температурным диапазоном работоспособности и превосходной – порядка 10 лет и более – сохранностью заряда.

...проводящая способность металлов меняется с изменением температуры и уменьшается в том же отношении, в каком растет температура.

Гемфри Дэви

Прекрасные опыты Зеебека и Пельтье показывают взаимную превращаемость теплоты и электричества...

Майкл Фарадей

Конечно же, пересечение этих разделов физики происходит на страницах учебников физики прежде всего тогда, когда речь заходит о законе Джоуля–Ленца: его изучение имеет большое значение и ему уделено немало внимания в школе. Он даже как бы заслонил собой другие весьма важные взаимоотношения двух поначалу стоящих порознь областей физики. Однако у них оказалось немало общего, и первые попытки нащупать связи между электрическими и тепловыми явлениями осуществлялись задолго до установления закона Джоуля–Ленца. Работы Петрова, Дэви, Зеебека и Пельтье были сделаны еще в первой трети XIX века, тогда же были заложены опытные основы термоэлектричества. В научный и практический обиход вошли такие термины, как термopара, электрокалорический эффект, термоэлектронная эмиссия.

Сегодня (как зачастую бывало и раньше) может показаться, что это направление развивается где-то в стороне от переднего края науки. Но посмотрите, каких принципиальных проблем касаются его достижения. Понимание глубинных процессов, объединяющих теплоту и электричество, определяет прогресс и в исследовании сверхпроводимости, и в электронике, и в создании новых электротехнических приборов и источников энергии, отличающихся малыми габаритами, экономичностью и экологической безопасностью.

Опубликовано в «Кванте» №1 за 2004 год.

Давайте хотя бы «притронемся» к этой интересной и важной теме, стартуя, конечно же, с того, что обсуждается в школе.

Вопросы и задачи

1. Иногда перегоревшую лампочку удается заставить снова светиться, встряхивая ее. Почему «ожившая» лампочка светит ярче?

2. Отчего концы перегоревшего волоска электрического предохранителя обычно оканчиваются шариками?

3. В момент включения лампочки сила тока в цепи отличается от той, которая имеет место, когда лампочка начинает светиться. Как изменяется ток в цепи с лампочкой, имеющей металлическую нить накала, и в цепи с угольной лампочкой?

4. Две лампочки одинаковой мощности, рассчитанные на одно и то же напряжение, включены последовательно в сеть с этим напряжением. Одна из лампочек имеет металлическую нить накала, другая – угольную. Какая из них накалена сильнее?

5. Почему при расчете увеличения сопротивления металлического проводника с ростом температуры не учитывают удлинение проводника?

6. Лампу, рассчитанную на напряжение 220 В, включили в сеть с напряжением 127 В. Считая, что мощность пропорциональна квадрату напряжения, можно сделать вывод, что она будет втрое меньше номинальной. Так ли это?

7. Когда величина тока в цепи будет больше: если вся никелиновая спираль, включенная в электрическую цепь, находится в воде или если часть ее вынута из воды?

8. По классической электронной теории сопротивление металлов прямо пропорционально их абсолютной температуре. Какое явление противоречит этому выводу?

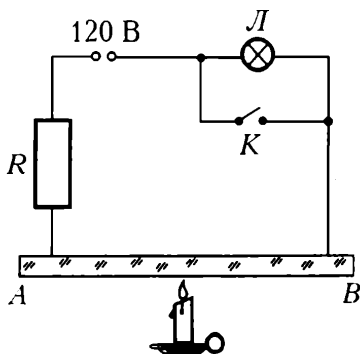
9. Почему при дуговом разряде сильно разогревается именно катод, хотя заряженные частицы бомбардируют оба электрода?

10. Что произойдет с горящей электрической дугой, если сильно охладить отрицательный электрод? А положительный?

11. Электрическая дуга низкого напряжения создана между угольным электродом и большой металлической плитой и питается от трансформатора. Каким будет ток в цепи: переменным или выпрямленным?

12. Можно ли получить электронный луч в трубке, из которой полностью удален газ?

13. Пока стеклянная палочка AB , включенная в изображенную на рисунке цепь, остается холодной, ток в цепи ничтожно мал и лампочка не горит. При нагревании палочки нить лампочки начинает светиться. Если теперь закоротить лампочку и убрать



горелку, палочка «сама» раскаляется до яркого свечения. Как это объяснить?

14. Для постепенного увеличения силы тока в электродвигателе при его пуске вместо реостата со скользящим контактом в цепь последовательно с двигателем включают кусок полупроводника. В чем физический смысл такой замены?

15. Как изменяется сопротивление примесных полупроводников в зависимости от температуры?

16. При нагревании одного из концов полупроводникового стержня, изготовленного из германия с примесью индия, возникает разность потенциалов между нагретым и холодным концами. Почему? Потенциал какого конца стержня выше?

Микроопыт

Соберите электрическую схему, состоящую из батарейки на 4,5 В, лампочки для карманного фонарика и двух полосок жести, разделенных воздушным промежутком в 1–3 мм. Если в этот промежуток ввести несколько капель некрепкого раствора соли, замыкающего цепь, лампочка станет еле заметно гореть. Однако при нагревании раствора, например горячей спичкой, накал лампочки существенно увеличится. С чем это связано?

Любопытно, что...

...сам Томас Зеебек – немецкий физик, случайно открывший термоэлектричество, ошибочно считал, что разность температур в местах соприкосновения разнородных металлов «освобождает» магнетизм, и назвал новое явление термомагнетизмом. Это, однако, не помешало ему построить термопару и использовать ее для измерения температуры.

...многие физики с сомнением отнеслись к опытам француза Жана Пельтье, обнаружившего в месте контакта двух разнородных проводников выделение или поглощение тепла в зависимости от направления электрического тока. Возможно, недоверие было связано с тем, что до тридцати лет Пельтье был часовщиком и лишь потом посвятил себя науке.

...использование явления Пельтье в полупроводниковых термоэлементах позволило создать (уже в XX веке) холодильные машины, не уступающие по эффективности некоторым моделям домашних холодильников.

...экспериментальное подтверждение обратимости эффектов Зеебека и Пельтье получил в 1838 году русский ученый Эмилий Христианович Ленц. Поместив каплю воды на одном из спаев термоэлемента, он заморозил ее, пропуская ток по проводникам от внешнего источника, в то время как второй спай нагревался.

...великий английский физик Уильям Томсон (лорд Кельвин), сумевший объяснить термоэлектрические явления на основе термодинамики, в 1856 году открыл так называемый третий термоэлектрический эффект: когда по проводнику проходит электрический ток и вдоль него имеется перепад температур, то помимо джоулева тепла в нем выделяется или поглощается (в зависимости от направления тока) еще некоторое количество теплоты.

...обнаруженная в 1821 году английским ученым Гемфри Дэви зависимость проводимости металлов от температуры очень слабо проявляется в сплавах. Например, сопротивление константана, состоящего из меди, никеля и марганца, практически не меняется при нагревании или охлаждении, что очень важно при конструировании особо точных электротехнических устройств.

...за выдающимся американским изобретателем Томасом Эдисоном числится и одно физическое открытие – в 1883 году он впервые наблюдал термоэлектронную эмиссию. Но не найдя этому эффекту (названному потом его именем) практического применения, Эдисон забывает об открытии. Несколько позже английский физик Джон Флеминг находит объяснение явлению и уже в 1904 году патентует вакуумный диод – первую радиолампу, работа которой связана с эффектом Эдисона.

...топливные элементы, непосредственно превращающие химическую энергию в электрическую без промежуточного образования тепла, пробовали создать более полутора столетий назад. Однако лишь сравнительно недавно эти элементы достигли стадии практического воплощения, и то в довольно экзотических случаях, как например в экспедиции «Аполлона» на Луну – элемент массой 250 килограммов обеспечивал космический корабль энергией в течение одиннадцати суток.

...еще одна возможность преобразования тепла в электричество осуществлена в конце XX века – это термофотоэлектричество. Энергия сжигаемого топлива переводится в инфракрасное излучение, улавливаемое полупроводниками, вырабатывающими электрический ток. Уже выпускаются действующие на этом принципе генераторы для рыболовных судов, впереди – разработка элемента питания для военных целей и автомобильной промышленности.

СВЕТОВЫЕ ЛУЧИ

Испускаемые глазами лучи распространяются по прямому пути.

Евклид

...каждая малая часть волны обязательно продвигается по прямой, исходящей из светящейся точки. В этом смысле можно принимать лучи света за прямые линии.

Христиан Гюйгенс

...относительно света неизвестно ни одного случая, чтобы он распространялся по извилистым проходам или загибался внутрь тени.

Исаак Ньютон

Казалось бы, что может быть более «наглядным», чем свет? Однако, если судить по приведенным в эпиграфе высказываниям, порой и у великих естествоиспытателей мысль начинала «блуждать в потемках», лишь только речь заходила о лучах света. Закон прямолинейного распространения света, установленный на опытах еще в древности, был словно лакмусовой бумажкой для любой теории света, требуя от нее своего объяснения. Представления наших далеких предков, какими бы наивными они ни казались сегодня, определили все дальнейшее развитие взглядов ученых на природу и действия света.

Вот и понятие светового луча давным-давно пришло к нам из повседневной жизни. Это и наблюдения за тенью и небесными светилами, и освоение художниками и строителями метода перспективы, и измерения земельных участков. А разве сейчас не приходится сталкиваться с задачами, где не обойтись без этого понятия?

Вопросы и задачи

1. Круглый карандаш и цилиндрическая газосветная лампа расположены параллельно друг другу. Какой будет область полной тени от карандаша?

Опубликовано в «Кванте» №5 за 1995 год.

2. Почему в проекционных аппаратах не используются цилиндрические лампы дневного света?

3. Как следует расположить точечный источник света, плоский предмет и экран, чтобы контур тени на экране был подобен контуру предмета?

4. В каком случае непрозрачный предмет дает тень без полутени?

5. При каких условиях от предмета получается только полутень?

6. Как можно обнаружить, что вы оказались в области полутени некоторого предмета?

7. Почему неровности дороги днем видны хуже, чем ночью при освещении дороги фарами автомобиля?

8. В лесах с высокими деревьями и густой листвой в ясные дни можно наблюдать круглые светлые пятна на земле. Что это за пятна? Отчего они круглые?

9. Всегда ли тень, отбрасываемая шаром, имеет форму круга?

10. Почему тень от ног человека на земле резко очерчена, а тень от головы расплывчата?

11. При освещении мощной электрической лампой горящей свечи на белом экране появляется тень не только от свечи, но и от пламени. Разве источник света (пламя) может дать собственную тень?

12. Иногда осветительные приборы освещают не рабочие места, а потолок помещения. В чем преимущество такого способа освещения?

13. Тени от штанг футбольных ворот утром и вечером длиннее, чем днем. А вот изменяется ли длина тени от перекладины ворот?

14. Если в плотной бумаге проделать булавочное отверстие и, держа бумагу примерно в десяти сантиметрах от правого глаза (левый зажмурен!), медленно поднимать гвоздик шляпкой вверх так, чтобы он касался ресниц, то в кружке света от отверстия появляется перевернутое изображение гвоздика, движущееся вниз. Почему?

15. Можно ли «закрыть» звезду спичкой (наблюдение ведется одним глазом)?

16. Почему, сидя у костра, нам кажется, что предметы, расположенные за ним, колеблются?

17. Лучи Солнца, падающие на Землю, практически параллельны. Почему же, пробиваясь сквозь тучи, они предстают расходящимися веером?

Микроопыт

Расположите экран на небольшом – до 50 сантиметров – расстоянии от горящей свечи. Между ними поместите карандаш – один раз вертикально, а другой горизонтально. Какие получаются тени? Почему?

Любопытно, что...

...модель прямолинейного светового луча, лежащую в фундаменте геометрической оптики, создал Евклид. В своей «Оптике» он исследовал такие вопросы, как образование тени, получение изображений с помощью малых отверстий, кажущиеся размеры предметов и их расстояния от глаза.

...оптика в точном значении слова – наука о зрении. Только исследуя камеру-обскуру, ученые наконец расстались с идеей о светоносных лучах, исходящих из наших глаз, и превратили оптику в учение о свете.

...основы современной геометрической оптики изложил Иоганн Кеплер в 1604 году. Тогда им была написана работа под названием «Паралипомены (дополнения – А.Л.) к Вителлию», в которой он объяснил действие как глаза, так и любого оптического прибора, рассматривая каждую точку предмета в качестве источника расходящихся лучей. Мотивом для создания этого фундаментального труда послужило стремление удовлетворить нужды астрономии.

...известный принцип Гюйгенса был выдвинут им для того, чтобы показать, что волновая теория света способна объяснить уже установленные законы оптики, в том числе и закон прямолинейного распространения света. Но удалось это сделать лишь Френелю, уточнившему принцип Гюйгенса.

...угол зрения глаза человека много больше, чем нам кажется. События, происходящие под углом 90° в каждую сторону от прямого взгляда, оказывается, могут непосредственно фиксироваться нашим подсознанием.

...опыты физиков и врачей лишь в XX веке доказали, что именно мозг еще раз переворачивает полученное «вверх ногами» изображение предметов в глазу. Для этого экспериментаторы надевали специальные очки, переворачивающие изображение. Через несколько дней мозг все вновь «ставил на место».

ПРЕЛОМЛЕНИЕ И ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА

...я... вычислил подробно ход всех лучей, которые падают на различные точки водяной капли, чтобы узнать, под какими углами они могут попасть в наш глаз после двух преломлений и одного или двух отражений.

Рене Декарт

...отсюда видно, что угол отражения оказывается равным углу падения.

Христиан Гюйгенс

Солнечный свет состоит из лучей разной преломляемости.

Исаак Ньютон

Давние читатели «Кванта» припомнят, что уже встречались с этими понятиями на страницах «Калейдоскопа». Однако мы вовсе не собираемся повторяться, а просто поворачиваем наш любимый прибор, давший название рубрике, чтобы рассмотреть новый «узор», созданный всего лишь двумя оптическими явлениями. Действительно, разве можно исчерпать многообразие парадоксов и загадок, опытов и задач на преломление и отражение света, притягивающих внимание человечества уже более двух тысяч лет?

Евклид описывает опыт, который до сих пор не сходит со страниц школьных учебников. Декарт пытается объяснить происхождение радуги, и это объяснение практически не претерпевает изменений без малого четыреста лет. Ферма и Гюйгенс ищут и находят универсальные принципы распространения света, с помощью которых сегодня каждый старшеклассник может вывести законы геометрической оптики. Ньютон раскладывает белый свет, пользуясь преломляющей его призмой, – и этот опыт также становится «школьным».

Присоединяйтесь ко всем, кого красота и причудливость оптических явлений не могли оставить равнодушными, и вы.

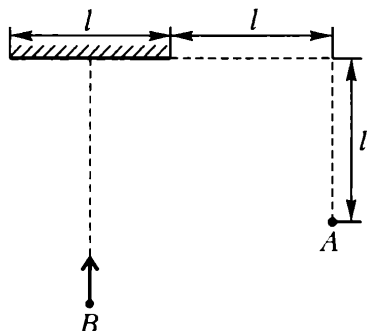
Опубликовано в «Кванте» №5 за 2001 год.

Вопросы и задачи

1. Почему ночью лужа на неосвещенной дороге кажется водителю темным пятном на светлом фоне?

2. Можно ли вместо белого полотна (экрана) в кинотеатрах использовать плоское зеркало?

3. Сбоку от зеркала шириной l в точке A находится человек, как показано на рисунке. Второй человек (точка B) приближается к зеркалу по перпендикуляру, проходящему через середину зеркала. На каком расстоянии от зеркала будет находиться второй человек в тот момент, когда оба увидят друг друга в зеркале?

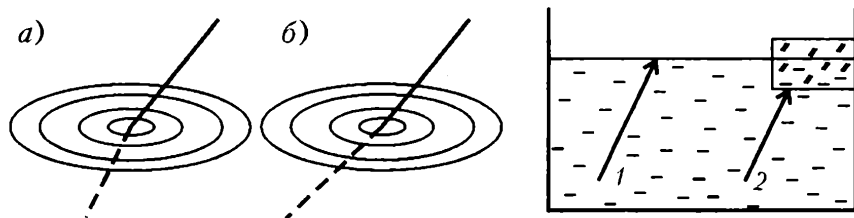


4. При каком условии плоское зеркало может дать действительное изображение?

5. Можно ли, направляя свет фонарика на плоское зеркало, осветить находящееся за ним мнимое изображение?

6. Два художника, гуляя по берегу озера, обратили внимание на наклонную палку, торчащую из воды, и затем изобразили увиденное так, как показано на рисунках а) и б). Какой из художников ошибся?

7. В воде идут два параллельных луча 1 и 2, как изображено на рисунке. Луч 1 выходит в воздух непосредственно, а луч 2



проходит сквозь горизонтальную плоскопараллельную пластинку, лежащую на поверхности воды. Будут ли эти лучи параллельны при выходе в воздух?

8. Может ли произойти полное отражение света при переходе из воды в стекло?

9. Луч света падает на однородный прозрачный шар и проникает в него. Проходя внутри шара, он достигает поверхности раздела шар – воздух. Может ли в этой точке произойти полное отражение?

10. Погрузив карандаш наполовину в воду, налитую в ванну, вы заметите на ее дне тень от карандаша такой, как это изображено на рисунке. Отчего возник светлый промежуток?



11. Если пятикопеечную монету закоптить и положить на дно сосуда с водой, то она может показаться серебряной. Почему?

12. Чему должен равняться показатель преломления прозрачного материала, из которого изготовлен шарик с посеребренной задней поверхностью, чтобы любой луч, проходящий внутри шарика не слишком далеко от его центра, после отражения от задней поверхности выходил из шарика параллельно падающему лучу?

13. В зеркале из толстого стекла видно одно яркое и несколько бледных изображений лампы. Почему?

14. В плоском зеркале видно изображение свечи. Что произойдет с этим изображением, если между зеркалом и свечой поставить плоскопараллельную пластинку?

15. Отчего толченное стекло непрозрачно? Почему оно становится прозрачным, если его погрузить в воду?

Микроопыт

Встаньте перед плоским зеркалом, закройте левый глаз и наклейте на зеркало бумажку так, чтобы не видеть изображения закрытого глаза. Не меняя положения головы, откройте левый глаз и закройте правый. Будет ли видно теперь изображение закрытого глаза? В чем причина наблюдаемого явления?

Любопытно, что...

...еще в комедии древнегреческого драматурга Аристофана отмечалась возможность расплавления восковой таблички с помощью зажигательного (преломляющего) стекла. А над тем, почему палка в воде кажется надломленной, размышлял сам Аристотель.

...со времени появления работы Евклида, в которой он первым дал рациональное объяснение образованию изображений в плоском и сферическом зеркалах, раздел оптики, исследующий отражение света, именовался катоптрикой (от греч. *katoptrikós* – зеркальный), а раздел, занимающийся изучением преломления света, называется диоптрикой (от греч. *diá* – через и *optéō* – вижу).

...в Сиракузах, где, по легенде, Архимед поджигал римские корабли с помощью зеркал, ему был установлен памятник,

изображающий ученого со сферическим сегментом в руках, направленным в сторону моря. Однако авторы изваяния не рассчитали, что подобным «зеркалом» можно было бы поджечь что-нибудь на расстоянии всего лишь около полуметра.

...еще древнеримский ученый Плиний в своей «Естественной истории», написанной около двух тысяч лет назад, рассказывал о ловцах жемчуга, набиравших в рот оливковое масло перед погружением и выпускавших его под водой. Растекавшаяся по поверхности моря масляная пленка, показатель преломления которой больше, чем у воды, резко уменьшала яркость бликов и улучшала условия видимости.

...знаменитую задачу арабского ученого Альхазена о нахождении точки отражения от сферического зеркала, сформулированную около тысячи лет назад, удалось решить Гюйгенсу только в 1676 году.

...Леонардо да Винчи писал научные трактаты перевернутым (зеркальным) шрифтом, видимо, пытаясь таким образом засекретить их содержание. Его рукописи впервые были расшифрованы и опубликованы лишь три столетия спустя.

...Кеплеру не удалось найти правильный закон преломления света, однако проведенные им многочисленные опыты привели его к открытию явления полного внутреннего отражения.

...критическое отношение к заблуждениям Декарта побудило Ферма обратиться к трудам Герона, установившего еще до новой эры «принцип кратчайшего пути» для света. Четыре года сомнений и размышлений привели французского ученого к доказательству знаменитого «принципа наименьшего времени», на основе которого выводятся законы отражения и преломления света.

...когда Огюстену Френелю необходимо было создать огромную линзу для маяка, ему пришла идея составить ее из множества повернутых друг относительно друга призм. Такая плоская линза оказалась намного легче обычной «чечевицы» и с успехом стала служить мореплавателям. Много позже подобная идея нашла применение в концентраторах солнечной энергии – для этого нужно было лишь изменить направление световых лучей.

...наиболее современная и абстрактная теория геометрической оптики, разработанная ирландским математиком и физиком Уильямом Гамильтоном, имеет важные приложения в ... механике. Открытая им оптико-механическая аналогия объяснила, почему и волновая теория Гюйгенса и корпускулярная теория Ньютона одинаково хорошо описывали явления отражения и преломления света.

ОПТИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ

...я прикрепил к одному углу книги нить, протянул ее через отверстие и, обводя ее вдоль контуров отверстия, начертил другим концом при помощи мела фигуру на стене.

Иоганн Кеплер

...мы также рассматриваем не кратчайшие расстояния или линии, а те, которые могут быть пройдены легче, удобнее и за более короткое время.

Пьер Ферма

Тема этого «Калейдоскопа» свела воедино и автора законов движения планет, и математика, знаменитого своими теоремами, и создателя классической механики, и ученого, проводившего труднейшие эксперименты по определению скорости света в разных средах, и многих других известных ученых. При всем различии научных интересов, их волновал вопрос: можно ли (и как) верно отобразить движение неуловимых световых лучей?

Важность этой проблемы вы ощутите, например, как только начнете перечислять оптические приборы, для постройки и качественной работы которых необходимо знать, что происходит с проходящим через них потоком света. Это очки и лупы, микроскопы и телескопы, разнообразные проекторы и фотоаппараты, видеокамеры и бинокли...

Оптические построения играют огромную роль не только для развития оптической техники. Разработанные в оптике модели и представления проникли в другие научные области, где нашли отражение в таких терминах, как «электронный микроскоп», «нейтронное зеркало», «оптическая ЭВМ».

Очень хотелось бы, чтобы в предложенной россыпи задач вы обнаружили и красоту самих построений, и логику стоящих за ними оптических законов.

Вопросы и задачи

1. Заходящее Солнце освещает сквозь щель между облаками решетчатую ограду. Почему в тени, отбрасываемой решеткой на стену, отсутствуют тени вертикальных прутьев, тогда как тени горизонтальных отчетливо видны? Толщина всех прутьев одна и та же.

2. На рисунке показаны область полной видимости в плоском зеркале прямого предмета (штриховка прямыми линиями) и области частичной видимости (штриховка волнистыми линиями). Где находится предмет?



3. Солнечные лучи, отражаясь от большого горизонтального зеркала, падают на вертикальный экран. На зеркале стоит шахматная фигура. Какой величины будет ее тень на экране?

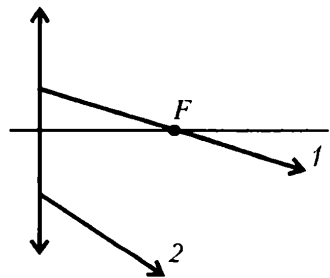
4. Зачем осветительное зеркальце у микроскопа обычно делается вогнутым?

5. Между светящейся точкой и глазом помещена плоскопараллельная пластина. Выясните построением, где находится изображение этой точки.

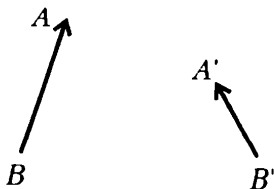
6. Расстояние между предметом и его изображением, создаваемым тонкой линзой, равно $0,5F$, где F – фокусное расстояние линзы. Какое это изображение – действительное или мнимое?

7. Собирающая линза дает изображение источника в точке S' на главной оптической оси. Положение центра линзы O и ее фокусов F известно, причем $OF < OS'$. Найдите построением положение источника S .

8. Определите построением положение светящейся точки, если два луча 1 и 2 после преломления в линзе идут так, как изображено на рисунке.



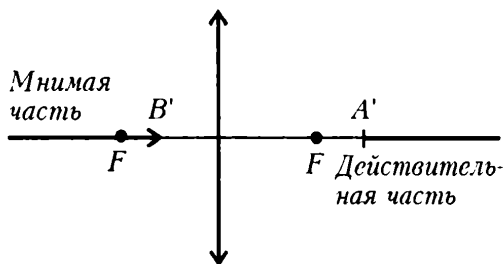
9. На рисунке изображены предмет AB и его изображение $A'B'$, получен-



ное с помощью тонкой линзы. Найдите построением положение линзы и ее фокусов.

10. Изображение $A'B'$ некоторого прямого непрерывного

предмета AB состоит из двух полубесконечных частей, одна из которых действительная, другая мнимая. По рисунку восстановите положение предмета.



11. Можно ли сфотографировать мнимое изображение?

12. Где на оптической оси собирающей линзы должен находиться точечный источник света, чтобы ни из какой точки нельзя было одновременно увидеть источник и его изображение?

13. Как расположить две линзы, одна из которых рассеивающая, а другая собирающая, чтобы параллельные лучи, пройдя через них, остались параллельными?

14. Постройте изображение предмета в оптической системе, состоящей из собирающей линзы и плоского зеркала, расположенного в фокальной плоскости линзы. Предмет находится перед линзой между фокусом и двойным фокусом.

15. Почему телескоп, выведенный в космос, способен регистрировать значительно менее яркие звезды, чем наземный телескоп того же диаметра?

Микроопыт

Расположите в углу комнаты двугранное зеркало с углом при вершине 90° . Каким будет ваше изображение в нем? Попробуйте найти в комнате точки, из которых вы не увидите свое изображение.

Любопытно, что...

...впервые безупречное с научной точки зрения построение хода лучей в глазу удалось выполнить в начале XVII века великому астроному Иоганну Кеплеру. Ему же принадлежат разработка теории построения изображений в оптических приборах, введение понятий «фокус» и «оптическая ось», применяемые по сей день.

...к телескопу, изобретенному Галилеем, относились как к чуду – народ толпами спешил в него заглянуть. А после того как Галилей преподнес экземпляр телескопа в подарок венецианскому сенату, его жалование удвоилось.

...простому микроскопу, состоящему из лупы, снабженной штативом, со временем пришел на смену сложный микроскоп, представляющий собой уже систему линз. Придуман он был

почти одновременно с изобретением зрительной трубы – в XVII веке, и заслуги в его создании принадлежат, по-видимому, также голландцам.

...пытаясь усовершенствовать линзовый телескоп, Ньютон самостоятельно сконструировал и построил прибор, «применяя вместо объективного стекла вогнутый металл», т.е. зеркало. Именно за создание такого – отражательного – телескопа он был избран членом Лондонского Королевского общества в 1672 году.

...как и немало выдающихся ученых, Фуко сам изобретал оригинальные инструменты, в том числе и для астрономических наблюдений. Им, например, был разработан очень важный метод серебрения стекла для отражательных телескопов.

...старинное изобретение «камера-обскура» – черный ящик с маленьким отверстием – при всей своей простоте порой может соперничать даже с современной специальной фотоаппаратурой. Так, с ее помощью делают превосходные цветные снимки без каких-либо искажений.

...телескопы XVIII века имели невероятную длину. Причина в том, что составных объективов, компенсирующих искажения, тогда делать не умели, а однолинзовый объектив давал неокрашенное изображение, лишь если его фокусное расстояние достигало 40 метров!

...отчетливое изображение в глазу рыб возникает подобно настройке на резкость в фотоаппарате. Шарообразный хрусталик не изменяет своей кривизны, как у человека, а перемещается мышцами «вперед-назад».

...чтобы улучшить качество изображения, объективы современных фотоаппаратов составляют из нескольких линз, изготовленных из разных сортов стекла. Конструкция настолько сложна, что проектирование объективов «поручают» компьютерам. Чисто геометрические построения, однако, не могут учесть всех потерь, которые испытывает световой поток при многократных отражениях на поверхностях линз.

...в последнее время неизмеримо возрос поток астрономической информации – во многом благодаря началу работы рекордного по размерам десятиметрового зеркального телескопа имени Кека на Гавайях и запуску на околоземную орбиту космического телескопа Хаббла с зеркалом диаметром 2,4 метра.

Если человек будет рассматривать буквы или другие мелкие предметы с помощью стекла или другого прозрачного тела, расположенного над буквами, и если это тело будет шаровым сегментом,.. то буквы видны лучше и кажутся больше...

Роджер Бэкон

Все это было открыто и наблюдено... при помощи изобретенной мной зрительной трубы по просвещающей милости божией.

Галилео Галилей

Но предел возможностей микроскопа связан не с тем, что невозможно добиться увеличения более чем в 2000 раз. Можно построить систему линз, увеличивающую в 10000 раз, и все же не увидеть два пятнышка, расположенные близко одно к другому, и не увидим мы их из-за ограниченности возможностей геометрической оптики...

Ричард Фейнман

Многие столетия, стоящие за приведенными в эпиграфе высказываниями, наполнены непрерывными поисками способов улучшить наше зрение, вооружить глаз, расширить диапазон возможностей, предоставленных человеку Природой. Открытия и изобретения, совершенные на этом пути, позволили человеку заглянуть и в недоступный до поры до времени мир мельчайших живых существ, и в невообразимо далекие уголки Вселенной. Кроме того, многие достижения ученых перекочевали из лабораторий оптиков в медицинские кабинеты и кинотеатры, в жилые квартиры и на рабочие места. Очки и лупы, фотоаппараты и увеличители, оптические зонды и бинокли прочно вошли в обиход.

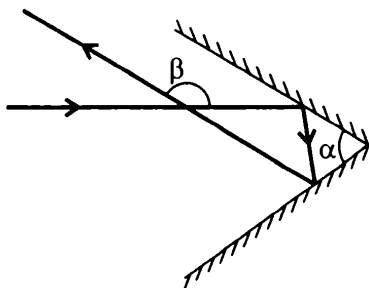
Не раз казалось, что предел совершенствования оптических приборов уже достигнут – либо не хватало технических средств для воплощения дерзких идей, либо наука накладывала на дальнейшее продвижение жесткие запреты. Однако сама же наука и обнаруживала выходы на новые рубежи, и наши приборы становились еще более «остроглазыми».

А чтобы разобраться, как действует современная «умная» оптика, прежде стоит обратиться к внешне нехитрым устройствам – в них также кроется немало неожиданного. И вы, например, узнаете, как применяются оптические законы в отражателях на вашем велосипеде, или обнаружите, что обычный театральный бинокль – это комбинация из двух небольших труб Галилея. Иными словами, и сегодня древняя оптика постоянно помогает нам.

Вопросы и задачи

1. Зачем у диапозитивов, помещаемых в проекционный аппарат, необходимо предварительно определить верх и низ кадра, а также его правую и левую стороны?

2. Два плоских зеркала образуют угол α . Найдите угол отклонения светового луча β . Зависит ли он от угла падения луча на первое зеркало?



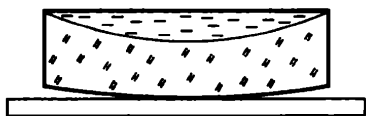
3. Можно ли наблюдать солнечное затмение, располагая лишь плотным листом бумаги и карандашом?

4. Почему при использовании лупы глаз лучше располагать как можно ближе к ней?

5. Верно ли утверждение, что лупа приближает к глазу рассматриваемый предмет?

6. Какие очки следует прописать человеку, если в воде он видит нормально?

7. В выпукло-вогнутую линзу, лежащую на горизонтальном столе, налили воду. Изменилась ли при этом оптическая сила линзы?



8. Может ли находящаяся в воздухе двояковыпуклая стеклянная линза рассеивать падающий на нее параллельный пучок лучей?

9. Что представляет собой заключенная в трубку оптическая система, которая увеличивает предметы, находящиеся у одного ее конца, и уменьшает предметы, расположенные у другого?

9. Что представляет собой заключенная в трубку оптическая система, которая увеличивает предметы, находящиеся у одного ее конца, и уменьшает предметы, расположенные у другого?

10. Можно ли создать такую систему зеркал и призм (или линз), через которую один наблюдатель видел бы второго, а второй не видел бы первого?

11. После съемки человека фотограф перевел камеру аппарата на облака. Куда ему следует передвинуть объектив, если используется аппарат с ручной наводкой на резкость?

12. Как отличить на фотографии реальный пейзаж от его отражения в спокойной воде?

13. На представленных американскими астронавтами фотографиях лунных экспедиций на черном небе не было видно звезд. Может ли это вызвать подозрение в мистификации – полета не было, а съемки проводились в земном павильоне?

14. Почему при наблюдении в телескоп яркие звезды видны даже днем?

15. Во время полнолуния большие темные пятна на Луне видны в верхней части ее диска. Отчего же на картах Луны эти пятна расположены в нижней ее части?

16. У вас есть три пары собирающих линз с фокусными расстояниями по 2 см, 10 см и 100 см. Какие две линзы вы выбрали бы для телескопа и какие две – для микроскопа?

17. Можно ли изображение, даваемое микроскопом или телескопом, получить на экране?

Микроопыт

Установите настольную лампу (не матовую) на расстоянии около двух метров от экрана из белой бумаги. Проделайте иглой отверстие в центре кусочка фольги (например, от шоколадки) и расположите фольгу между лампой и экраном так, чтобы изображение нити накала было видно на экране. Как в этом опыте найти расстояние между витками спирали?

Любопытно, что...

... свойство двугранного зеркала, описанное в задаче 2, используется в секстанте – навигационном приборе, позволяющем измерять высоту светила над горизонтом даже на качающейся палубе корабля.

... три взаимно перпендикулярных зеркала (или срезанный угол стеклянного кубика) отражают обратно падающий луч при произвольной его ориентации. Это устройство, называемое угловым отражателем или катафотом, активно применяется в дорожном движении, а также было использовано для точного измерения расстояния до Луны с помощью лазерного луча.

...увеличительные стекла были довольно широко распространены уже в XIII веке. Достоверно известно, что ими в своих опытах пользовался Р. Бэкон и даже подарил одно стекло своему покровителю папе Клименту IV.

... до появления телескопов в качестве астрономического прибора использовалась камера-обскура. Так, в 1600 году к ней прибегнул Кеплер для наблюдения солнечного затмения.

... Галилей сумел построить зрительную трубу, но не разобрал теорию ее действия. Кеплер же, подробно описав свою трубу с двумя двояковыпуклыми линзами, не имел достаточных средств для ее сооружения.

... несмотря на активное применение оптических приборов, формирование ими образа не всегда было понятно как их создателям, так и пользователям. Например, правильное описание процесса создания изображения в микроскопе впервые было проведено лишь в 1872 году немецким физиком Э. Аббе.

... специалисты-оптики насчитывают семь типов искажений, возникающих в линзах. Однако в принципе возможно подобрать систему всего из трех линз, в которых эти дефекты компенсируют друг друга. Сегодня же обращение к неоднородным оптическим средам позволяет сконструировать так называемые абсолютные оптические приборы – системы, дающие резкие изображения трехмерных предметов.

... наибольшей из линз, когда-либо использованных для объектива телескопа, является линза диаметром в один метр (созданная в конце XIX века), а зеркала современных телескопов-рефлекторов достигают десяти метров в диаметре. Такие зеркала оснащаются системой специальных механических «пальцев», способных изменять их форму сто раз в секунду – для устранения атмосферного дрожания изображений.

... калейдоскоп, более известный как игрушка, а не как оптический прибор, имеет и практическое применение – для составления рисунков на тканях, обоях и театральных декорациях. Кроме того, лежащий в основе его устройства принцип играет важную роль в геометрии, теории чисел, топологии и других разделах математики.

... еще до недавнего времени считалось, что минимальный размер различимого оптическими приборами объекта ограничивается дифракцией излучения и измеряется долями микрометра. Однако конец XX века ознаменовался преодолением этого предела, благодаря изобретению ближнепольного сканирующего оптического микроскопа, способного регистрировать отдельные крупные молекулы.

ФОТОМЕТРИЯ

...часто бывает необходимо определить, какое количество света отражает тело, поверхность которого полирована,... сравнительно со светом, который на него падает...

Пьер Бугер

Было установлено три известных положения. 1. Две (или более) свечи светят сильнее, чем одна. 2. Объект освещен ярче, если он находится ближе к источнику света. 3. Свет освещает плоскость слабее, если он падает на нее наклонно.

Иоганн Ламберт

Возможно, это понятие незнакомо вам вовсе – его теперь не найти в школьном учебнике (и не только его, увы!). А жаль, ведь фотометрия – интереснейший раздел оптики, в котором можно было получить ответы на такие вопросы, как «Во сколько раз солнечный свет на земле ярче лунного?» или «Какой источник дает больше света?» Подобные вопросы давно занимали астрономов и архитекторов, строителей и художников. Но лишь к началу XVIII века, когда поутихли споры вокруг волновой и корпускулярной теорий света, взоры ученых обратились непосредственно к проблемам измерения силы света различных источников и освещенности поверхностей. Фотометрия была необходима для нужд науки и практики – и она появилась «на свет». Прежде всего – благодаря работам французского ученого Бугера и немецкого ученого Ламберта, попытавшихся найти общие принципы измерения света и сделать сам этот процесс более объективным.

Фотометрия оперирует такими понятиями, как яркость, телесный угол, световой поток, освещенность, сила света. Однако для поиска ответов на предлагаемые сегодня задачи в большинстве случаев вам понадобятся не столько эти величины и законы, их

связывающие (хотя они не так уж и трудны – см. эпиграф), сколько интуиция и сообразительность. Подскажем лишь, что яркость характеризует источник света, а освещенность – поверхность, на которую падает свет.

Итак, включайте свет...

Вопросы и задачи

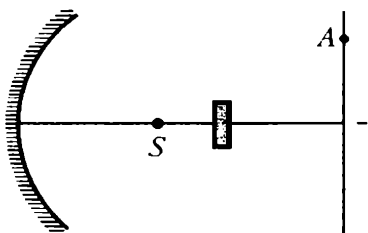
1. Почему лампа дневного света, в отличие от лампы накаливания, не «режет» глаза?

2. Отчего днем окна домов кажутся темными даже на фоне темных наружных стен?

3. Часто снег на покатых крышах начинает таять раньше, чем на земле. Почему?

4. Почему сквозь папиросную бумагу можно прочесть текст, только плотно прижав бумагу к странице книги?

5. Точечный источник света S расположен в фокусе вогнутого зеркала и закрыт непрозрачным диском. Влияет ли на освещенность в точке A экрана его удаление от зеркала? (Поглощение света средой не учитывать.)



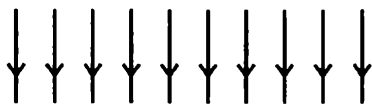
6. Со временем нить электрической лампы накаливания распыляется и становится тоньше. Сказывается ли это на световом потоке, испускаемом лампой?

7. Почему при увеличении изображения, полученного на экране с помощью слайдоскопа, освещенность изображения уменьшается?

8. На линзу фотообъектива села муха. Как это отразится на качестве снимка?

9. Что произойдет с изображением, даваемым линзой, если верхнюю ее половину закрасить черной краской?

10. Между лазером и фотодетектором поставили толстую стеклянную пластинку – показания детектора уменьшились. Лазер заменили лампой накаливания и повторили опыт с пластинкой – показания фотодетектора увеличились. Почему?



11. Отчего близорукий человек может различать более мелкие детали предмета, чем человек с нормальным зрением?

12. Как изменится освещенность экрана, если на пути падающих на

него параллельных лучей света поставить стеклянную призму? (Отражением лучей от призмы пренебречь.)

13. В каком случае – при дальнорукости или близорукости – очки увеличивают освещенность зрачка?

14. К каким последствиям приводит диафрагмирование объектива фотоаппарата?

15. Почему цепочка фонарей в ясную ночь кажется одинаково яркой вдоль всей ее длины?

16. Отчего на горизонте звезды кажутся менее яркими?

17. Сразу после захода Солнца, когда на горизонте узким серпом поднимается молодой месяц, можно увидеть и «темную» часть лунного диска. Почему?

18. Как зависит сила давления, оказываемого солнечным светом на какое-либо тело, от расстояния между этим телом и Солнцем?

Микроопыт

Поставьте перпендикулярно падающим солнечным лучам белый экран, скажем лист бумаги для рисования. Можно ли увеличить освещенность экрана, расположив перед ним рассеивающую линзу?

Любопытно, что...

...изучением вопросов фотометрии занимался еще Леонардо да Винчи. По оценкам современных ученых, он был бесспорным зачинателем фотометрии как точной измерительной науки и предвосхитил более поздние экспериментальные установки.

...заложившие основы фотометрии ученые были необыкновенными людьми. Так, Бугер в четырнадцать лет занял кафедру своего отца, профессора гидрографии, девять лет провел в экспедиции по измерению дуги меридиана вблизи экватора, опубликовал фундаментальные труды по теории корабля, навигации и астрономии. Ламберт, помимо занятий физикой, космологией, математикой (доказал иррациональность числа π), увлекался философией, пытался построить алгебру логики, ввел много прижившихся научных терминов, в частности – «семиотику» для обозначения универсального языка символов. В его работах впервые упоминаются двойные звезды.

...Ламберту долго приписывали открытый Бугером закон экспоненциального убывания интенсивности света в прозрачных телах, а один из вариантов фотометра, идею которого впервые высказал Ламберт, называли именем английского физики Румфорда, лишь усовершенствовавшего этот прибор.

...при использовании обычных источников света справедлив закон сложения освещенностей. Однако при интерференции света возникает ситуация, когда он не действует, хотя закон сохранения энергии, разумеется, не нарушается, так как энергия света просто перераспределяется по освещаемой поверхности.

...каким бы совершенным оптическим «прибором» ни считался человеческий глаз, чувствительный к минимальным световым интенсивностям, он не способен распознать предметы, видимые под углом, меньшим одной минуты дуги – даже при условии хорошего освещения.

...ни один оптический прибор нельзя сконструировать без фотометрических расчетов. Так, в больших астрономических телескопах благодаря этим расчетам удалось увеличить контрастность изображения звезд до миллиона раз, что позволяет увидеть весьма слабые звезды.

...даже самый мощный свет, созданный традиционными источниками, рассеивается и теряет свою энергию на довольно малых расстояниях. И лишь пучки лазерного света «размываются» в ничтожной степени, концентрируя огромную энергию. Например, энергетическая яркость гелий-неонового лазера превосходит яркость Солнца в миллионы раз!

...с помощью лазера оказалось возможным не только осуществить передачу информации по световодам (волоконная оптика), но и приступить к решению вопросов эффективной передачи световой энергии по лучу света при его распространении в атмосфере или в воде (фотоэнергетика).

ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ

*На атомы Вселенная крошится.
Все связи рвутся , все в куски дробится.*

Джон Донн

*...когда электрон находится в атоме, у него
энергия меньше, чем когда он свободен. Иначе
говоря, в атоме он связан. И нужна энергия,
чтобы вырвать его из атома...*

Ричард Фейнман

*В молекуле валентные электроны сплошным
облаком охватывают и связывают отдельные
атомы.*

Абрам Иоффе

*Но в чистом виде кварки не рождались.
Наблюдались только их связанные состояния.*

Яков Зельдович

Если между физическими понятиями устроить соревнование за право именоваться самым важным, то одним из активных претендентов на это звание, несомненно, будет энергия связи. В явном виде она появляется в самом конце школьного курса физики – когда разговор заходит о силах, связывающих ядерные частицы. Однако попробуем взглянуть на дело шире и будем понимать энергию связи как работу, необходимую для «растаскивания» притягивающих друг друга тел на расстояние, где они перестают взаимодействовать. Вот тогда выяснится, что в огромном числе случаев нам просто без нее не обойтись.

И впрямь, разве не энергия связи «отвечает» за устойчивость планетных систем, молекул, атомов и их ядер? Внимательно присмотревшись к таким, казалось бы, несхожим явлениям и процессам, как плавление и испарение, ионизация и фотоэффект, полет космического корабля и радиоактивность, мы заметим, что это понятие позволяет в разнородном обнаружить много

общего. Иначе говоря, энергия связи – одно из удивительно универсальных понятий, связывающих воедино физические взаимодействия.

Надеемся, что, прочитав этот «Калейдоскоп», вы сможете увидеть физический мир не в столь пессимистическом свете, как английский поэт начала XVII века Дж. Донн. Ведь он еще не был знаком с энергией связи, не так ли?

Вопросы и задачи

1. Космонавт находится в корабле, движущемся вокруг Земли. Свидетельствует ли испытываемое им состояние невесомости о потере связи с Землей?

2. Кинетическая энергия спутника на круговой орбите положительна. А какова по знаку его полная механическая энергия?

3. В каком случае требуется больше затрат энергии для вывода ракеты за пределы тяготения планеты – при запуске ракеты с поверхности планеты или с круговой орбиты?

4. Почему испарение жидкости в сосуде приводит к ее охлаждению в отсутствие притока тепла?

5. Отчего из сухого песка нельзя слепить фигурку, а из мокрого – можно?

6. Диссоциация молекул при растворении в воде кристаллов поваренной соли ведет к росту потенциальной энергии взаимодействия ионов. За счет чего это происходит?

7. Каковы причины резкого увеличения числа пар электрон – дырка в полупроводниках?

8. Пусть у двух незаряженных пластин из разнородных металлов концентрации свободных электронов одинаковы. Какая пластина наэлектризуется отрицательно, если их привести в соприкосновение?

9. В чем сходство процессов термоэлектронной эмиссии и испарения жидкости?

10. Как можно изменить ток насыщения в вакуумном диоде?

11. Почему для поддержания электрического тока в горячей дуге достаточно сравнительно невысокого напряжения?

12. При возникновении самостоятельного газового разряда определяющую роль в ионизации столкновениями играют электроны, а не тяжелые ионы, хотя те тоже ускоряются электрическим полем. Почему?

13. Может ли атом водорода поглотить фотон, энергия которого превосходит энергию связи атома?

14. Когда нужно затратить большую энергию – при удалении за пределы атома гелия первого электрона или второго?

15. Возможен ли захват свободным протоном электрона (образование атома водорода) без излучения?

16. В какой части атома – ядре или электронной оболочке – происходят процессы, приводящие к испусканию β -лучей?

17. Свет, испускаемый с поверхности звезды, приходит к наблюдателю с меньшей, чем при излучении, частотой. Чем объясняется этот эффект?

Микроопыт

Капните немного растительного масла в воду, налитую в широкую кастрюлю. Какую форму примут капельки жира? Что связывает их частицы и не позволяет равномерно разбегаться по поверхности воды?

Любопытно, что...

...противники теории Коперника полагали, что Земля слишком тяжела, инертна и неповоротлива, чтобы вращаться вокруг своей оси, иначе она, по их разумению, должна была бы разлететься на куски, подобно сильно раскрученному маховику. Позже Кеплеру пришлось даже придумывать невидимые спицы, которые связывали планеты с Солнцем и заставляли их двигаться по орбитам.

...для удаления тела массой один килограмм за пределы действия земного тяготения требуется энергия, выделяющаяся при сгорании примерно полутора литров бензина, – конечно, без учета потерь.

...стабильность большинства окружающих нас тел определяется тем, что энергии теплового движения молекул недостаточно для разрушения химических связей, удерживающих молекулы друг около друга.

...в двадцатые годы нашего столетия для объяснения природы химической связи была применена квантовая механика. Многолетние трудоемкие вычисления в конце концов привели с ее помощью к полному согласию с опытными данными. Так родилась квантовая химия, использующая сегодня для расчетов мощные компьютеры.

...анализ состава света полярных сияний заставил сделать вывод, что в высоких слоях атмосферы под действием ультрафиолетового излучения Солнца молекулы кислорода расщепляются на атомы, высвечивающие затем поодиночке.

...при температурах, превышающих пять-шесть тысяч градусов, происходит термическая ионизация газов – отрыв электронов от атомов, и вещество переходит в плазменное состояние. Его

изучение позволяет не только лучше узнать устройство звезд, ионосферы, газового разряда, но, возможно, даст ключ к решению загадки шаровой молнии.

...Нильс Бор, автор знаменитой модели строения атома, вошедшей в историю под его именем, одну из своих статей об этой модели назвал «Связывание электрона положительным ядром».

...крайняя химическая инертность благородных газов нашла свое объяснение при исследовании внешних электронных оболочек их атомов. Когда эти оболочки заполнены целиком, связь электронов с ядром атома наиболее прочна. При этом у гелия энергия такой связи наивысшая по сравнению со всеми остальными химическими элементами.

... сто лет назад молодому физику Эрнесту Резерфорду удалось разобраться в явлении ионизации газов только что открытыми радиоактивными веществами. В его опытах в качестве электроскопа, моментально разряжавшегося при ионизации воздуха, служила...шелковая кисточка. А в рабочее состояние она приводилась путем поглаживания ее основания «теплым сухим кисетом» для табака. Оцените уровень экспериментальной техники всего лишь вековой давности!

...причины неудач алхимиков в попытках превратить один химический элемент в другой, т.е. преобразовать ядра атомов, кроются в том, что энергия связи в ядрах (в расчете на одну частицу) примерно в миллион раз (!) превышает химическую энергию связи атомов между собой.

...первым, кто предположил, за счет какой энергии обеспечивается устойчивость атомных ядер, был в 1915 году американский физик Уильям Харкинс, введший понятие «дефект масс», которому и соответствует энергия связи ядра. Английский же ученый Фрэнсис Астон, проведя ряд точнейших измерений на сконструированном им масс-спектрографе, в 1927 году впервые построил кривую, описывающую энергию связи атомных ядер и вошедшую затем в школьные учебники.

...кварки – мельчайшие образования, входящие в состав внутриядерных частиц, – в свободном состоянии не существуют, хотя эксперименты твердо убедили ученых в их реальности. Силы, «склеивающие» их, носят настолько необычный характер, что проблема невылетания кварков даже получила специальное название – «конфайнмент» (тюремное заключение).

Время

1. Стержень, отбрасывающий тень, должен быть направлен к Северному полюсу мира (в северном полушарии).

2. Нет – с понижением уровня чернил в капельнице промежутки времени между моментами падения капель увеличатся.

3. Катера подойдут к плоту одновременно.

4. Точка пересечения графиков означает, что в этот момент времени тела имеют одинаковые по модулю скорости. Определить, когда тела встретятся, по этим графикам невозможно.

5. Пути, пройденные шариками, равны, а средняя скорость у второго шарика больше; следовательно, он быстрее достигнет точки *B*.

6. Движение вагона не влияет на характер движения тела по вертикали, поэтому во всех трех случаях тело будет падать в течение одного и того же промежутка времени.

7. Если учесть сопротивление воздуха, то вертикальная составляющая ускорения тела на любой высоте при подъеме больше, чем при спуске. Значит, время подъема будет меньше времени спуска.

8. Когда муха перелетает вверх, дно пробирки несколько опускается относительно центра масс системы пробирка – муха, движущегося с ускорением свободного падения. Таким образом, дно пробирки ударится о землю быстрее, чем в том случае, когда муха будет оставаться неподвижной.

9. И земля, и канат действуют на обоих гимнастов одинаковым образом; следовательно, гимнасты достигнут блока одновременно.

10. Не зависит, поскольку уменьшение веса песка компенсируется силой, с которой сыпавшийся песок ударяет о доннышко.

11. Длительное действие остановившегося мальчика вызвало большую деформацию льда.

12. Период колебаний маятника станет бесконечно большим; иначе говоря, с наступлением невесомости колебания прекратятся.

13. Период колебаний груза уменьшится вдвое, так как жесткость шнура возрастет в четыре раза.

14. Чтобы измерить время между излучением и приемом отраженной от цели волны.

15. Молния имеет значительные размеры, звук от более удаленных ее участков запаздывает и растягивается во времени. Скорость же света так велика, что его запаздывание незаметно, и сверкание молнии ощущается как одна вспышка.

Относительность

1. Выбор ответа определяется удобством использования той или иной системы отсчета.

2. Определенный ответ дать нельзя, если не указать систему отсчета.

3. а) Окружность; б) винтовая линия.

4. Если дождь падает отвесно относительно земли, то поезд движется вправо. Если струи дождя наклонны к земле, требуется расчет относительной скорости капли и вагона. Может быть случай, когда вагон покоится.

5. Знак ускорения зависит от выбора направления оси координат и все время движения одинаков.

6. Да, если хотя бы один из источников дыма движется.

7. Это возможно при сверхзвуковых скоростях движения самолета, если снаряд и самолет движутся в одну сторону (тогда их относительная скорость может быть близка к нулю).

8. Двигаться вниз со скоростью $1,5 \text{ м/с}$.

9. $v_{\text{отн}} = v_0$.

10. Да, могут. Например, если одна система отсчета движется относительно другой параллельно какой-нибудь оси координат.

11. В движущейся воде все обстоит так же, как и в неподвижной, т.е. от гребца потребуются одинаковые усилия.

12. Подъемная сила самолета тем больше, чем больше его скорость относительно воздуха. При взлете и посадке против ветра необходимая скорость относительно воздуха достигается при меньшей скорости относительно земли, что выгоднее и безопаснее.

13. Ветер увеличивает скорость самолета относительно земли на первой половине маршрута, т.е. помогает полету меньшую часть времени. На второй половине ветер уменьшает скорость относительно земли, т.е. мешает большую часть времени. Следовательно, рекорд ухудшится.

14. Для наблюдателя A все окружающее пространство вращается вокруг оси O с такой же, как платформа, угловой скоростью, но в противоположном направлении. Поскольку наблюдатель B находится от оси O вдвое дальше, его линейная скорость относительно наблюдателя A будет вдвое больше, т.е. 2м/с .

15. Кинетическая энергия тела зависит от выбора системы отсчета. Например, если мальчик выстрелит против хода поезда, то относительно земли кинетическая энергия пули будет равна нулю.

16. Солнце сообщает одно и то же ускорение и грузу, и Земле. Поскольку отсутствует относительное ускорение тел, отвес не будет отклоняться от местной вертикали.

17. Движущиеся полосы – не материальные тела, поэтому теория относительности никаких ограничений на их скорость не накладывает.

18. Скорость наблюдаемого света всегда равна 300000 км/с . Правда, изменятся цвет приходящего от квазара света.

Плотность

1. Различием плотностей воды, нагретой до разных температур.
2. Объем, занятый дробью, не зависит от ее радиуса, поэтому ящики имеют одну и ту же массу.
3. Пресная вода, которой заполнен шлюз, имеет меньшую, чем соленая вода в океане, плотность. Шлюзовые ворота открываются, когда выравниваются давления по обе стороны, но при этом уровень пресной воды оказывается выше уровня соленой, и вытекающая из канала в океан вода увлекает корабль.
4. Плотность дерева составляет $3/4$ плотности воды.
5. Не изменится.
6. В центре большого озера лед обязательно плавает. Поскольку отношение плотностей льда и воды равно 0,9, то 0,9 всей толщины льда находится в воде. Тогда расстояние от поверхности льда до воды, а значит, и длина веревки равны 1 метру.
7. Если брошенный в расплав твердый кусочек будет плавать на поверхности, плотность при затвердевании уменьшится, если потонет — увеличится.
8. Ареометр с узкой трубкой.
9. Показания весов увеличатся, если средняя плотность тела меньше плотности разновесок, уменьшатся — если больше, не изменятся — если плотности равны.
10. Если вода и тело при нагревании расширяются в равной степени, показания весов не изменятся. Если тело расширяется в меньшей степени, чем вода, показания весов увеличатся, если в большей степени — уменьшатся.
11. Если тело сжимается под давлением меньше, чем жидкость (газ), то при некотором давлении его плотность станет меньше плотности жидкости, и тело всплывет.
12. Объем уменьшится.
13. Если начальная температура воды ниже 4°C , воду следует охлаждать, если выше — нагревать.
14. Вначале подливали более холодную воду, затем — более горячую, чем в сосуде.
15. См. рис.1, где 1 — изотерма, 2 — изобара, 3 — изохора.
16. Сосуд с сухим воздухом тяжелее.
17. Подъемная сила пропорциональна разности плотностей воздуха и газа, заполняющего аэростат. Так как разность плотностей (как и сама плотность) обратно пропорциональна температуре, подъемная сила тем больше, чем ниже температура воздуха.
18. На выступах пылинок заряды распределяются с большей поверхностной плотностью, откуда быстро «стекают».
19. В этом месте плотность тока наибольшая.

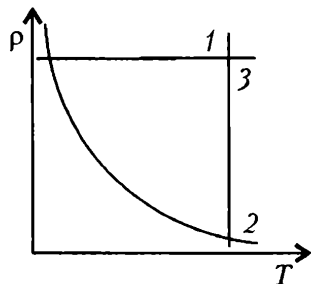


Рис. 1

Трение

1. Да. Например, вес детали, зажатой в тисках, меньше силы трения покоя.
2. Чтобы увеличить трение смычка о струну и тем самым улучшить условия возбуждения колебаний струны.
3. Разная. Хотя бы из-за того, что при забивании гвоздя нужно было не только преодолевать силу трения, но и разрывать волокна дерева.
4. Периоды колебаний будут практически одинаковыми. Раньше остановится маятник с водой, поскольку часть его энергии израсходуется на преодоление внутреннего трения слоев воды.
5. При неизбежности наезда лучше тормозить юзом – вначале скорость падает более резко и удар будет «мягче»; в остальных случаях – качением: тормозной путь короче и шины изнашиваются меньше.
6. Чтобы уменьшить (для согнутого гонщика) сопротивление встречного потока воздуха.
7. Нет. Время подъема меньше времени падения, так как при подъеме сила тяжести направлена так же, как и сила сопротивления воздуха, а при падении – противоположно.
8. Ускорение камня будет максимально в самом начале движения, поскольку в дальнейшем оно может лишь уменьшаться (см. решение задачи 7).
9. При испарении капли уменьшается ее радиус. При этом уменьшается сила лобового сопротивления, пропорциональная квадрату радиуса, и сила тяжести, пропорциональная кубу радиуса. Поэтому движение капли замедляется.
10. Обладая разными массами, монета и кружок из бумаги при движении в воздухе получают различные ускорения. Но если кружок лежит на монете, то он движется с тем же ускорением, что и монета.
11. Флажок повисает, поскольку шар движется со скоростью, равной скорости ветра.
12. Скорость течения реки посередине больше, чем у берегов.
13. Глубина погружения судна в море уменьшится, значит, уменьшится и сопротивление воды движению судна. При неизменной мощности двигателей это приведет к увеличению скорости движения.
14. Из-за трения воды о стенки труб и о воздух.

Деформации

1. Во втором случае.
2. Никакие.
3. Да, поскольку деформация доски зависит от того, в каких именно точках к ней приложены силы.
4. Нет, так как удлинение проволок будет различно из-за разных значений модуля Юнга для железа и меди.
5. У первой проволоки относительное удлинение меньше в 4 раза, а абсолютное – в 2 раза.
6. Перед отверстием – сжатие, затем растяжение.

7. Чтобы деформации пружин не выходили за рамки упругих.

8. Для уменьшения силы рывка при подсечке попавшей на крючок рыбы.

9. Пластмассовый стакан при движении внутри него пули деформируется, увеличиваясь в объеме на величину объема пули, а стеклянный стакан на это не способен и под действием силы давления воды раскалывается.

10. См. рис.2.

11. Период уменьшится в 2 раза.

12. Пока пружина растянута, тело *A* будет падать с ускорением большим, а тело *B* – с меньшим, чем ускорение свободного падения.

13. Кварц обладает малым коэффициентом линейного расширения, поэтому при изменении температуры длина стержня практически не меняется и не возникает значительных деформаций.

14. При нагревании проволоки среднее расстояние между атомами увеличивается, а силы притяжения между ними уменьшаются.

15. Напряжение увеличится.

16. Внутренняя энергия тела увеличивается.

17. Превращается во внутреннюю энергию раствора.

18. Медная.

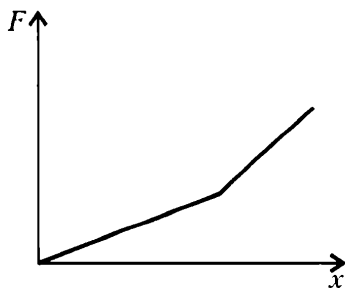


Рис.2

Вес и невесомость

1. 3 кг.

2. Весы останутся в равновесии, поскольку плавающее тело весит ровно столько, сколько вытесненная им вода.

3. Показание динамометра не изменится. Сила, действующая со стороны гири на сосуд, равна действующей на гирю архимедовой силе, в свою очередь, равной весу вылившейся из сосуда воды.

4. Если считать нить весомой, то силы натяжения, действующие на связанные тела, станут разными и изменится ускорение системы.

5. Да. Например, так. Уравновешивают груз насыпаемым на другую чашку песком. Затем вместо груза кладут на первую чашку гири, пока они не уравновесят песок. Значит, вес гирь равен весу груза.

6. У рычажных весов – одинаковы, у пружинных – больше на Земле.

7. Если ускорение мухи направлено вверх или вниз, чашка весов с банкой отклонится в противоположную сторону. Равномерный полет в любом направлении не нарушит равновесия весов.

8. При ускоренном движении маятника вниз и вверх натяжение нитей ослабевает, и показания динамометра будут меньше, чем в неподвижном состоянии.

9. При движении с ускорением вес мяча и вес вытесненной им воды изменяются в одинаковое число раз, поэтому глубина погружения мяча остается прежней.

10. Вес тела, т.е. показания весов, при таком движении должен составлять половину силы тяжести: $P = mg/2 = 4,9 \text{ Н}$.

11. В самом начале падения песчинок часы давят на чашку весов с силой, меньшей силы тяжести, в конечный момент – с силой, большей силы тяжести. В остальное время импульс системы часы – песчинки не меняется; значит, не меняется и сила давления, и весы остаются в равновесии.

12. Да, изменится. В покое давление воздуха внутри пробирки больше атмосферного. Во время свободного падения воздух будет вытеснять не имеющую веса воду, пока его давление не сравняется с атмосферным.

13. Ускорение верхнего шара равно $3g$, ускорение нижних – нулевое.

14. Следует пользоваться anerоидом.

15. Нет, не следует. Сила притяжения Солнца действует не только на тела, находящиеся на Земле, но и на саму Землю, сообщая всем им одно и то же ускорение. Поэтому тяготение Солнца не влияет на показания весов.

16. Из-за отсутствия конвекции нагреется до кипения ряд местных объемов. Пар, расширяясь, постепенно вытеснит всю воду из сосуда.

17. Например, включить двигатели, сообщающие кораблю ускорение, близкое к g , или привести корабль во вращение вокруг оси симметрии с соответствующей угловой скоростью.

Равновесие и устойчивость

1. Для удержания щетки или палки нужно при их отклонении успевать двигать пальцем так, чтобы они вновь оказывались в положении равновесия. Щетка будет отклоняться медленнее, чем палка той же длины, так как центр тяжести щетки лежит выше центра тяжести палки.

2. В равновесии масса груза C в два раза больше массы груза B . При смещении точки A вправо равновесие нарушится – груз C будет опускаться, а груз B – подниматься.

3. Равновесие шарика устойчиво к малым возмущениям и неустойчиво к большим.

4. Если $h \geq l_0$, в точке O – устойчивое положение равновесия (ему соответствует минимум потенциальной энергии пружины). Если $h < l_0$, в точке O – неустойчивое положение равновесия (максимум потенциальной энергии пружины), но слева и справа на равных расстояниях от точки O имеются два устойчивых положения равновесия, соответствующих недеформированному состоянию пружины.

5. Хвост обеспечивает устойчивость змея относительно вращений около вертикальной оси, проходящей через его центр тяжести.

6. При малейшем отклонении доски от вертикали момент выталкивающей силы относительно центра тяжести доски увеличивает отклонение доски, и она опрокидывается в устойчивое горизонтальное положение.

7. Да. Это достигается выбором формы сечения корабля, когда центр давлений смещается в сторону крена.

8. Шарообразная форма пузырьков отвечает минимуму энергии поверхностного натяжения жидкости.

9. Энергия поверхностного натяжения жидкого цилиндра больше, чем энергия капель, которые могут из него образоваться.

10. Поверхность одной большой капли меньше, чем суммарная поверхность нескольких маленьких капель с той же общей массой. Значит, и энергия поверхностного натяжения у большой капли меньше.

11. Система пар – жидкость находится в термодинамическом равновесии, т.е. температуры отдельных ее частей равны.

12. Да. Причем при движении вдоль прямой x , если $qQ < 0$, равновесие в точке O неустойчивое, если $qQ > 0$, равновесие устойчивое. При движении вдоль прямой y условия меняются местами.

13. Радиоактивные ядра нестабильны по своей природе и «обречены» на гибель уже в момент своего рождения.

14. Нет. Например при γ -распаде заряд ядра не меняется, поэтому не меняются и химические свойства вещества.

Центр масс

1. Нет, так как относительные изменения силы тяжести всех элементов тела одинаковы.

2. Нет. Условие существования центра тяжести – однородность поля тяготения. В неоднородном гравитационном поле повороты «гантели» вокруг ее центра масс приводят к тому, что линии действия L_1 и L_2 равнодействующих сил тяжести, приложенных к шарикам, не имеют общей точки (рис.3).

3. При торможении на колеса со стороны дороги действует сила трения, создающая вращающий момент вокруг центра масс автомобиля.

4. Пара сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 сообщает телу вращение по часовой стрелке вокруг его центра масс, лежащего правее точки B . Следовательно, точка B станет двигаться против направления силы \vec{F}_2 .

5. Силы трения, сообщающие автобусу центростремительное ускорение, приложены не к его центру масс, а к нижним точкам колес, поэтому кузов автобуса движется по кривой большего радиуса, чем колеса.

6. Работа равна $mgL/2$, так как центр тяжести каната оказался поднят на высоту $L/2$.

7. В дырке!

8. Центр тяжести системы сначала будет понижаться, а потом – повышаться.

9. Длиной $2\Delta l$.

10. В точке O – середине отрезка O_1O_2 , соединяющего середины отрезков AB и BC (рис.4).

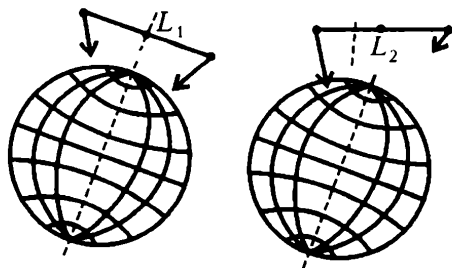


Рис.3

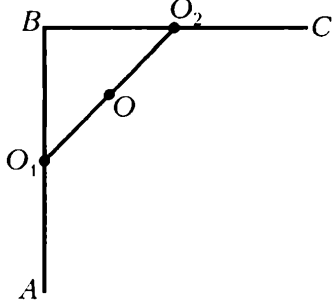


Рис.4

11. Центр тяжести лежит на середине биссектрисы угла, в вершине которого находится шарик массой $2m$.

12. В центре шара.

13. Станция придет во вращение в противоположную сторону, причем ее центр будет описывать окружность вокруг общего с космонавтом центра масс.

14. Тележка и находящаяся в сосудах вода будут совершать колебания вокруг общего центра масс. После того как уровни воды в сосудах окончательно сравняются,

движение тележки прекратится.

15. Траектория частицы массой m получается растяжением, с коэффициентом подобия 2, траектории частицы массой $2m$ (рис.5).

16. Центр тяжести системы карандаш – нож лежит ниже точки опоры.

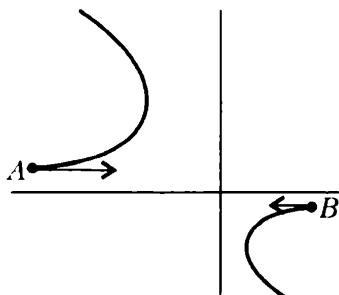


Рис.5

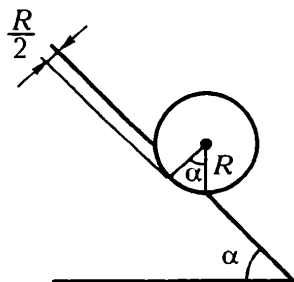


Рис.6

17. Во втором случае, так как центр масс канатоходца с ведрами лежит ниже, т.е. ближе к канату.

18. Центр тяжести человека на ходулях значительно повышается, а площадь его опоры на землю уменьшается.

19. При $\alpha > \pi/3$ (рис.6).

Соударения

1. Свойства стали и мрамора обуславливают упругость соударения, а стали и асфальта – неупругость.

2. Во втором случае импульс тела «гасится» за большее время, поэтому на тело действует меньшая сила.

3. Снаряд действует на автобус слишком короткое время, чтобы передать ему импульс, сравнимый с тем, что могут сообщить люди.

4. Нет, не опасны. Ускорение, приобретаемое массивной наковальней при упругом ударе молотком, практически равно нулю. Следовательно, и сила, действующая на атлета, также очень мала.

5. Свинцу.

6. Если ружье подвешено, то, вследствие его отдачи при выстреле,

начальная скорость, а значит и дальность полета пули, будет меньше, чем в случае закрепленного ружья.

7. После удара одного правого шара отскочит крайний левый шар, при этом его нить отклонится на угол, равный углу отклонения нити правого шара. После удара двух правых шаров отскочат два крайних левых шара; после удара трех правых шаров отскочат три крайних левых шара, а два останутся неподвижными.

8. Импульс, приобретаемый снарядом при выстреле из базуки, «принимает» на себя не ствол орудия, а вылетающие в противоположном направлении газы.

9. Шарик отразится от клина в горизонтальном направлении и полетит по параболе.

10. Чем сильнее накачан мяч, тем более он упругий. При ударе по неупругому мячу приобретаемая им скорость, а следовательно, и дальность полета будут меньше, чем при упругом ударе.

11. Расслабляя руки и подаваясь назад, игрок увеличивает время торможения мяча и ослабляет удар.

12. Реактивная сила тяги, например, не зависит от скорости тела, на котором установлен реактивный двигатель.

13. Центр масс снаряда до и после взрыва (точка C на рисунке 7) имеет одну и ту же скорость, поэтому будет продолжать двигаться по параболе, которую описывал бы неразорвавшийся снаряд. Поскольку у осколков равные массы, они в своем движении будут располагаться симметрично относительно параболы центра масс. Значит, второй осколок упадет в точке D такой, что $BD = AB$.

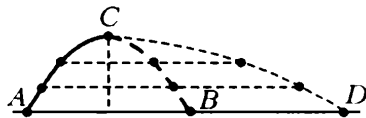


Рис. 7

14. Перемещения молекул затрудняются из-за многочисленных столкновений друг с другом.

15. Чем меньше поверхность частицы, тем более некомпенсированы удары по ней молекул.

16. При меньших плотностях газа длина свободного пробега электронов, ионизирующих атомы газа, увеличивается, поэтому необходимую для ионизации энергию они «набирают» при более низком напряжении.

17. Сообщив им дополнительную энергию, например в результате соударений с летящими ионами или электронами.

18. Масса нейтрона близка к массе протона. Поэтому при столкновении с атомом водорода нейтрон теряет больше энергии, чем при столкновении с ядром свинца.

Резонанс

1. Да. Если, например, дуть ритмично, в такт собственным колебаниям груза.

2. Да. Надо раскачивать дверь с частотой, равной собственной частоте колебаний двери. При резонансе амплитуда колебаний может достичь больших значений.

3. Энергия колебаний увеличивается благодаря периодическому изменению параметров системы, а именно – расстояния от точки подвеса до положения центра тяжести человека и качелей, при котором человек совершает работу.

4. При малом затухании амплитуда колебаний в режиме резонанса, а значит, и запасаемая системой энергия будут больше. А для этого потребуются большее время.

5. Нет. С ростом амплитуды колебаний моста увеличиваются потери энергии за период. Когда они сравняются с приростом энергии при ударе, дальнейшая раскачка прекратится.

6. При указанной скорости период собственных колебаний ледового покрытия совпадал с периодом колебаний, вызванных идущими автомашинами. Для предотвращения риска нужно было двигаться с большими или меньшими скоростями.

7. Капитану удалось вывести катер из резонансной раскачки.

8. Для маятников 1 и 4, а также 2 и 5, поскольку у этих пар маятников одинаковые длины подвесов, а значит, и одинаковые периоды колебаний.

9. Это завибрировали струны, имеющие ту же собственную частоту колебаний, что и у пропетых нот.

10. Для более богатого набора частот собственных частот инструмента. Тон при увеличении размеров понижается.

11. Подносимые предметы служат резонаторами, усиливающими слабые звуки.

12. Камертоны обладают очень малым затуханием, поэтому резонанс у них острый, так что даже небольшая разница между их частотами приводит к тому, что один не откликается на колебания другого.

13. При некотором положении сердечника наступает электрический резонанс.

14. Резонанс в цепи можно ожидать на частоте генератора, в $n = 1, 2, 3...$ раз меньшей собственной частоты колебательного контура.

15. Когда контур настроен в резонанс с колебаниями в волне.

16. Прием разумными короткими антеннами дает слабый сигнал, но затем он усиливается в приемнике.

Движение жидкостей и газов

1. Нет, поскольку скорость движения воздушного шара равна скорости ветра.

2. В обоих случаях сила давления на землю одинакова. При «зависании» вертолет давит на воздух с силой, равной силе тяжести, а воздух передает действие этой силы на землю.

3. Плоскость змея разделяет набегающий воздушный поток так, что давление снизу оказывается больше, чем сверху, в результате чего возникает подъемная сила. Хвост стабилизирует полет змея и позволяет выдерживать нужный угол атаки (наклон плоскости змея).

4. Пламя одной свечи наклонится к пламени другой, так как давление в образовавшейся воздушной струе меньше давления окружающего атмосферного воздуха.

5. Для выравнивания давлений. Подумайте, в связи с этим, почему взрывная волна валит сплошные заборы и оставляет невредимыми тонкие столбы.

6. Увлекаемый движущимся поездом воздух производит на человека меньшее давление, чем неподвижный, что и создает силу, влекущую к поезду.

7. Из-за вращения трубки давление воздуха у движущегося конца меньше, чем у неподвижного (того, что держат в руке). Разность давлений и создает воздушный поток, вибрирующий при протекании через гофрированную поверхность трубки.

8. Маховик регулирует частоту вращения вала ветроколеса, мешая порывам ветра резко ее менять.

9. Отверстие в центре купола пропускает часть набегающего воздушного потока, который разрушает возникающие с наружной стороны купола вихри, раскачивающие парашют.

10. На выходе из раструба воронки образуются вихри, создающие область пониженного давления, куда и втягивается пламя свечи.

11. Вначале горячие газы от сигареты поднимаются сравнительно медленно и образуют ламинарный поток. Однако выталкивающая сила ускоряет их настолько, что поток начинает завихряться и становится турбулентным.

12. Из-за непрерывности потока объемный расход воды на всем протяжении струи остается постоянным. Поэтому по мере увеличения скорости воды (при падении) поперечное сечение струи уменьшается.

13. При течении воды по трубе начальное давление, порядка нескольких атмосфер, из-за вязкости воды постепенно падает почти до атмосферного. Если кран зажать пальцем, внутри трубы течение воды почти прекращается, и вода у малого отверстия оказывается под большим давлением. Оно и сообщает вырывающейся струйке заметную скорость.

Идеальный газ

1. На Земле пылинки большой массы быстро оседают на ее поверхности, а пылинки малой массы из-за хаотичности движения молекул воздуха могут долго удерживаться во взвешенном состоянии. На Луне же из-за отсутствия атмосферы пылинки любой массы быстро и практически одновременно осаждаются на ее поверхность.

2. Нет. Над влажной почвой парциальное давление водяного пара будет повышенным. Значит (по закону Дальтона), «вклад» давления азота (как и кислорода) должен быть несколько меньшим, чем над сухой почвой.

3. В соответствии с уравнение Менделеева — Клапейрона, любые два из трех параметров — давления, объема и температуры газа — задают его состояние.

4. Уменьшилась.

5. Легкие, а значит, более подвижные молекулы водорода быстрее

проникают сквозь перепонку и увеличивают давление в секции с воздухом. По мере проникновения через перепонку воздуха давления в обеих секциях выравниваются.

6. Показания обоих манометров будут несколько большими p из-за добавления аэростатического давления столбов газа. При этом первый манометр покажет меньшее давление, чем второй (так как высоты сосудов различны).

7. И в невесомости сохраняется хаотическое движение молекул газов, составляющих «атмосферу» кабины.

8. Нет. Молекулы, движущиеся вверх после столкновения с полом, замедляют свое движение под действием силы тяжести. Их удары о потолок менее «энергичны», чем о пол.

9. Нет. Для определения давления важно среднее значение кинетической энергии молекул, а оно, при условии теплового равновесия между газом и стенкой сосуда, не меняется.

10. Нет. Средние кинетические энергии поступательного движения молекул этих газов действительно равны. Но поскольку азот — двухатомный газ, полная кинетическая энергия его молекул, включающая и энергию вращательного движения, больше, чем у неона.

11. Нет. Уменьшение кинетической энергии молекул у холодной стенки компенсируется увеличением их концентрации, и наоборот.

12. Поскольку газ не совершает работы, его внутренняя энергия не изменяется, следовательно, температура останется прежней.

13. В начальный момент падения плотность газа внизу сосуда больше, чем сверху. В состоянии свободного падения молекулы газа равномерно распределятся по всему объему сосуда. Однако их полная кинетическая энергия не изменится, значит, не изменится и температура газа.

14. Вся кинетическая энергия движения газа как целого перейдет во внутреннюю энергию газа и сосуда, т.е. возрастет температура газа, а значит, и его давление.

15. Нет. Температура воздуха определяется не направленной скоростью ветра, а хаотическими движениями, которые молекулы совершают наряду с направленным движением газа как целого и независимо от него.

Теплота и работа

1. При наличии трения часть механической энергии переходит во внутреннюю тепловую энергию тел.

2. Слабо накачанная шина деформируется в большей степени, поэтому ее внутренняя энергия, а значит и температура, возрастут больше, чем у сильно накачанной шины.

3. На совершение работы против силы сопротивления воздуха и внутренних сил трения во вращающихся частях автомобиля.

4. Частицы покоятся друг относительно друга, т.е. движутся с одинаковыми по величине и направлению скоростями.

5. Половина.

6. Работа силы реакции опоры равна нулю в отсутствие трения; в противном случае эта работа отрицательна.

7. Большую часть избыточного тепла мы теряем из-за увеличения притока крови к коже и повышенного потоотделения.

8. Например, при накачивании насосом мяча или велосипедной шины воздух в насосе нагревается несмотря на то, что через стенки насоса он отдает тепло окружающей среде.

9. В первом случае выделяется больше тепла.

10. При медленном сжатии процесс можно считать изотермическим, при быстром – адиабатным (рис.8). Во втором случае совершаемая над газом работа больше, чем в первом.

11. Холодильник.

12. Выхлопные газы совершают работу за счет убыли их внутренней энергии, а значит, и понижения температуры.

13. Атмосфера Земли.

14. Выгоднее понижать температуру холодильника.

15. Нет, выгоднее использовать холодильник, забирающий тепло от наружного воздуха и выделяющий его в помещение, – так называемый тепловой насос.

16. Силы электрического притяжения пластин в процессе их сближения совершили работу, на величину которой уменьшилась энергия электрического поля, а значит, и выделившееся количество теплоты.

17. В тепло.

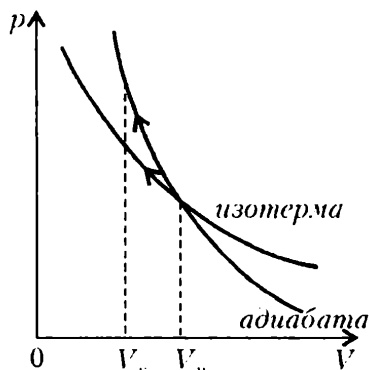


Рис.8

Явления переноса

1. Молекулы паров растворителя за счет хаотического движения из-за столкновений с молекулами воздуха диффундируют на большие расстояния.

2. Иначе процесс растворения (диффузия) сахара затянется на долгое время.

3. В холодном, так как скорость диффузии водорода уменьшается при понижении температуры.

4. При сдавливании поверхностные слои деталей размягчаются, усиливается взаимная диффузия частиц и, как следствие, увеличиваются силы сцепления деталей.

5. Диффузия – это самопроизвольное выравнивание концентраций различных веществ, отражающее стремление любой системы из большого числа частиц к хаотичному, беспорядочному их размещению.

6. Сначала более подвижные легкие молекулы, выравнивая свою концентрацию, быстрее продиффундировали сквозь перегородку вправо. Со временем тяжелые молекулы проникли в левую секцию, и давления сравнялись.

7. В пленке пузыря концентрация растворенного газа вблизи ее внутренней поверхности выше, чем вблизи внешней поверхности, поскольку растворимость газа зависит от его давления, а внутри пузыря оно больше, чем снаружи. Разность концентраций и является «движущей силой» диффузионного потока.

8. В лед, так как наличие воздуха в снегу делает его менее теплопроводным.

9. Если их температура будет равна температуре той части тела, которой мы их касаемся.

10. На дне и стенках чайника образуется слой накипи с малой теплопроводностью, что ухудшает передачу тепла воде от нагревателя.

11. Поток тепла направлен в сторону убывания температуры, т.е. против указанной оси.

12. У сковороды большой площади центр нагрет сильнее, чем края; давление паров под интенсивно испаряющейся каплей больше со стороны, ближайшей к центру; разность давлений, «выдавая» разность температур, и перемещает капли к краю.

13. Слева гипс, а справа стекло. В отличие от аморфного стекла, кристаллический гипс обладает анизотропией, т.е. проводит тепло неодинаково по разным направлениям.

14. Считая температуру на внутренней поверхности комбинезона равной температуре человеческого тела и полагая потоки тепла наружу одинаковыми, получим, что материал второго комбинезона, температура внешней поверхности которого ниже, имеет более низкую теплопроводность, а именно такую одежду мы и называем более теплой.

15. В сторону потока жидкости.

16. Чем ниже температура масла, тем больше его вязкость, а значит, тем больше силы внутреннего трения.

17. Такую способность приобретает только очень густой, вязкий сироп, содержащий необходимое для длительного хранения количество сахара.

Электрический заряд

1. Да, так как заряд переносят частицы, обладающие массой.

2. Достаточно коснуться рукой одной из гильз. Если после этого взаимодействие гильз прекратится, значит, мы коснулись заряженной гильзы.

3. Можно. Например, так: один конец палочки надо потереть мехом, другой – амальгамированной кожей.

4. Положительный.

5. а) Нет, поскольку и незаряженное тело, вследствие электростатической индукции, может тоже притягиваться, б) Да.

6. Заземленный проводник поднести, не касаясь, к заряженному телу, а затем убрать заземление.

7. Да. Например, поместив заряженный проводник внутрь полого изолированного проводника и приведя их в соприкосновение.

8. Шар *B* зарядится положительно.

9. В случае, если проводник *A* находится внутри полого проводника *B*.
10. Поровну, так как статические заряды располагаются лишь по поверхности шаров.
11. Положительный.
12. Для предохранения от взрыва при электризации трением.
13. Не противоречит, поскольку появление зарядов на нижней части стержня (вызывающее расхождение листочков) всегда сопровождается образованием избытка зарядов другого знака на его верхней части.
14. При внутреннем фотоэффекте электроны остаются внутри тела, при внешнем – выбиваются с поверхности тела, заряжая его положительно.
15. Один из нейтронов в ядре радиоактивного вещества превращается в протон и электрон, который и выбрасывается при β -распаде.
16. В состав ядра легкого изотопа гелия входят два протона и нейтрон, а ядро сверхтяжелого водорода состоит из одного протона и двух нейтронов. Ядра очень близки по массе, но различаются ровно в два раза по величине заряда.
17. Заряженные частицы, в отличие от электрически нейтральных, оставляют следы (треки), благодаря способности ионизировать попадающиеся на их пути молекулы.

Закон Кулона

1. Силы, которые не дают нам провалиться сквозь пол или землю, – это силы электрического отталкивания между атомами соприкасающихся поверхностей.

2. Сила равна нулю.

3. а) Сила не изменится. б) Сила обратится в ноль.

4. Шарик и бумажка перестанут взаимодействовать.

5. Сила больше при наличии разноименных зарядов, так как электростатическая индукция приводит к перераспределению зарядов на шариках, при котором одноименные заряды оказываются на большем расстоянии друг от друга, чем разноименные (рис.9).

6. Заряжен, причем положительно, так как, если бы его заряд был равен нулю, он притягивался бы к шару *A*.

7. Да. Например, если заряд одного из металлических шариков много больше заряда другого.

8. Шарiki разойдутся на расстояние, равное удвоенной длине нити.

9. Если заряды шариков были разноименными, то сила притяжения сменится силой отталкивания и уменьшится по величине. Если шарiki были заряжены одноименно, то сила отталкивания после соединения увеличится.

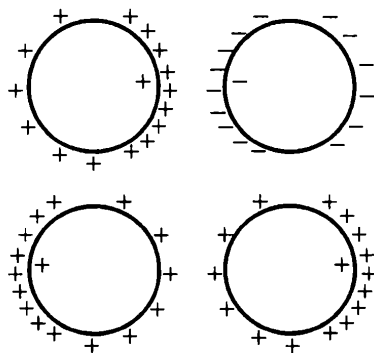


Рис.9

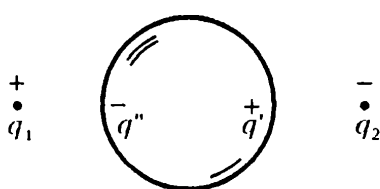


Рис. 10

10. В первом случае третий заряд не может быть в равновесии ни в одной из областей. Во втором случае он может быть в неустойчивом равновесии в области I (посередине между q_1 и q_2).

11. Сила увеличится. Рассмотрите поляризацию стеклянного шара (рис. 10) и оцените равнодействующую сил,

действующих, например, на заряд q_2 .

12. Электростатическое взаимодействие двух электронов тормозит один из них и ускоряет другой. Электроны сойдутся на минимальное расстояние, затем первоначально двигавшийся остановится, а прежде неподвижный станет удаляться от него со скоростью v .

13. Заряженное кольцо будет растянуто, а сила, действующая на заряд Q , будет равна нулю.

14. В обоих случаях время возрастет, так как силам поверхностного натяжения будут препятствовать силы электрического отталкивания одноименных зарядов на внешней оболочке пузыря.

15. Энергии α -частиц недостаточно, чтобы преодолеть силу электрического отталкивания ядра тяжелого элемента и проникнуть в него.

Потенциал

1. Положительный.

2. Нет, не всегда. Разность потенциалов может отсутствовать, если проводники находятся в поле, созданном другими заряженными телами (см., например, рисунок 11, где шары A и B зарядились по индукции под действием внешнего однородного поля).

3. Весь объем шара является эквипотенциальной областью. Его потенциал равен потенциалу, создаваемому точечным зарядом в центре шара: $\Phi = q/(4\pi\epsilon_0 r)$. (Потенциал, создаваемый в центре шара зарядами, индуцированными на его поверхности, равен нулю.)

4. Нет.

5. Потенциал сферы станет равным нулю.

6. См. рис.12.

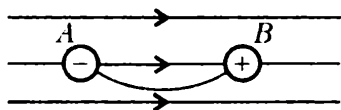


Рис. 11

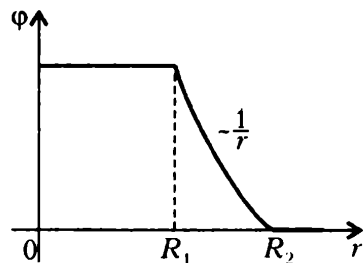


Рис. 12

7. Не обязательно. Например, в случае, изображенном на рисунке 13, с проводника, потенциал которого был 50 В, весь заряд перейдет на проводник, имевший потенциал 100 В.

8. Нет, поскольку поверхность тела эквипотенциальная. Длинная проволока нужна, чтобы поле заряженного тела не влияло на показания электрометра.

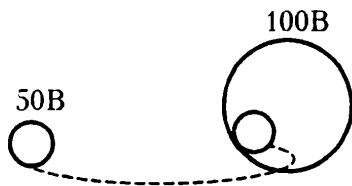


Рис. 13

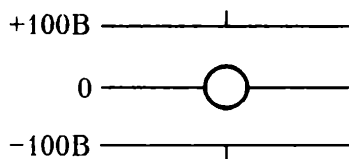


Рис. 14

9. Это плоскость, равноудаленная от пластин конденсатора, и поверхность шара (рис.14).

10. На высоту h .

11. Не повлияет (начальная и конечная точки траектории тела находятся на одной эквипотенциальной поверхности).

12. Не обязательно, так как присоединение конденсатора может изменить разность потенциалов между точками A и B (см., например, цепь, изображенную на рисунке 15).

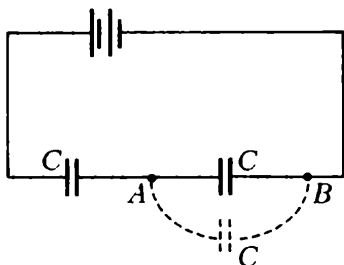


Рис. 15

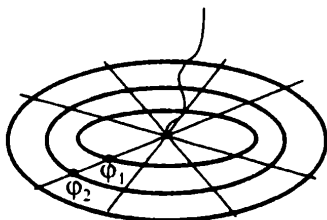


Рис. 16

13. Уменьшится в два раза.

14. Электрический ток от упавшего провода «растекается» во все стороны симметрично (рис.16). Разность потенциалов между двумя точками на земле, а значит, и опасность поражения током, тем больше, чем ближе к проводу. (Такая же, кстати, картина наблюдается у дерева, в которое ударила молния.)

15. Например, если кольцо пронизывается магнитным потоком, равномерно изменяющимся со временем.

16. Нельзя (если не использовать проводники, неподвижные относительно Земли).

17. При облучении из шарика будут вылетать электроны, и шарик станет заряжаться положительно. Когда потенциальная энергия электрона в задерживающем поле шарика станет равна его кинетической энергии при вылете, наступит состояние динамического равновесия между вылетевшими электронами и шариком, после чего заряд шарика и его потенциал перестанут изменяться.

Электрохимия

1. Нет, только ионы и нераспавшиеся молекулы.

2. Нет. Например, медный электрод при погружении в раствор медного купороса заряжается положительно.

3. В каждой единице объема электролита находится столько же положительных зарядов, сколько и отрицательных, так что в среднем электролит не заряжен.

4. Сила тока сначала будет расти, затем останется постоянной.

5. Безводная серная кислота не является проводником. В присутствии же проводящей разбавленной кислоты, из-за наличия в железе примесей, в растворе могут возникать местные токи, приводящие к коррозии сосуда.

6. Так как при электролизе через обе ванны пройдет одинаковый заряд, в первой ванне, где находятся одновалентные ионы меди, потребуется вдвое большее количество ионов для его переноса, чем во второй ванне, где валентность ионов меди равна двум. Следовательно, на катоде первой ванны выделится вдвое больше меди.

7. При угольных электродах электролиз будет идти, пока из раствора не уйдут все ионы меди; при медных – пока не растворится анод.

8. На месте выделенных в единицу времени на катоде положительных ионов и удаленных от него стольких же отрицательных ионов образуется такое же количество ионов обоих знаков из распавшихся молекул электролита (вследствие нарушения динамического равновесия). Положительные ионы также выделяются на аноде, в результате чего суммарный заряд, перешедший на катод за единицу времени, будет равен полному току.

9. Влага на руках всегда содержит соли, поэтому является электролитом с хорошей проводимостью и создает хороший контакт между проводами и телом. Вот почему за электрические провода опаснее браться мокрыми руками.

10. У выступов на поверхности металла напряженность электрического поля больше, чем у гладкой поверхности. При изменении направления тока, когда металл оказывается анодом, выступы растворяются быстрее и поверхность металла выравнивается.

11. Если аккумулятор разряжается, то разность потенциалов на его клеммах меньше ЭДС на величину падения напряжения на его внутреннем сопротивлении; если заряжается, то разность потенциалов на такую же величину больше ЭДС.

12. Внутреннее сопротивление старой батарейки велико. Вольтметр потребляет очень маленький ток, поэтому падение напряжения внутри батарейки при его подключении невелико. Но при подключении лампочки оно становится сравнимым с ЭДС, ток через нагрузку падает, и лампочка не загорается.

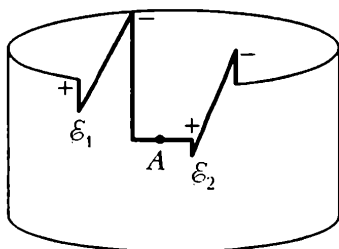


Рис. 17

ки оно становится сравнимым с ЭДС, ток через нагрузку падает, и лампочка не загорается.

13. См. рис.17.

14. Если внутреннее сопротивление второго аккумулятора велико, а ЭДС мала по сравнению с первым аккумулятором.

15. Если ϵ_1 значительно меньше ϵ_2 , то ток, протекающий через первый элемент, направлен от В к А (см. рисунок в

статье). При увеличении сопротивления R_1 ток на участке BR_1A уменьшается, что приводит к росту тока I на участке BRA .

16. При противоположном подключении на рельсах, из-за электролиза грунтовой влаги, выделялся бы кислород, что приводило бы к нежелательной коррозии.

17. Внутреннее сопротивление элемента невелико, а у электростатической машины оно достигает сотен миллионов ом.

Электричество и теплота

1. Длина спирали лампочки уменьшается, падает сопротивление и при том же напряжении растет потребляемая мощность.

2. При перегорании волосок плавится. Пока он не застынет, действуют силы поверхностного натяжения, которые и образуют на концах волоска шарики.

3. В первом случае ток уменьшается по мере раскаливания нити, так как сопротивление металлов растет с повышением температуры. В случае угольной лампочки происходит обратное.

4. Угольная лампочка накалена сильнее.

5. Численное значение термического коэффициента сопротивления металла порядка 10^{-3} , а коэффициента линейного расширения порядка 10^{-5} . Так что на практике вторым эффектом можно пренебречь по сравнению с первым.

6. Нет, не так. При меньшем напряжении металлическая нить накала лампы будет иметь меньшую температуру и, следовательно, меньшее сопротивление. Поэтому мощность лампы уменьшится менее чем в три раза.

7. Ток будет больше в первом случае, поскольку от охлаждения спирали ее сопротивление падает.

8. Явление сверхпроводимости, объяснимое только в рамках квантовой теории.

9. Катод бомбардируют положительные ионы, масса которых в тысячи раз больше массы электронов, бомбардирующих анод.

10. Охлаждение катода прекратит дуговой разряд; охлаждение же анода на характер разряда практически не повлияет.

11. В цепи пойдет отчасти выпрямленный ток: электроны, испускаемые раскаленным угольным стержнем, в течение одного полупериода идут от угля к металлу.

12. Можно. Например, с помощью термоэлектронной или фотоэлектронной эмиссии.

13. Холодное стекло практически изолятор. При нагреве сопротивление стекла уменьшается, сила тока растет и лампочка загорается. При закорачивании лампочки сопротивление цепи еще уменьшается, и сила тока возрастает до такой величины, что он эффективно нагревает стеклянную палочку даже в отсутствие горелки.

14. При нагревании полупроводника током его сопротивление уменьшается без совершения механических перемещений.

15. При небольших температурах их сопротивление при нагревании возрастает, при высоких — уменьшается.

16. Возникшая при нагревании диффузия свободных носителей заряда (в данном случае дырок) в сторону холодного конца приводит к повышению его потенциала.

Световые лучи

1. См. рис.18.

2. Проекционные аппараты рассчитаны на конические световые пучки. Их дают только точечные источники света, каковыми лампы дневного света не являются.

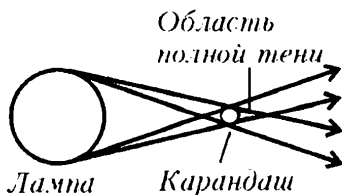


Рис. 18

3. На одной прямой и так, чтобы плоскости предмета и экрана были перпендикулярны к ней.

4. Когда источник света – точечный.

5. Когда источник света больше предмета, а экран находится от предмета дальше чем вершина конуса полной тени (см. рис.18).

6. Если из этой области будет видна часть источника света.

7. При освещении фарами неровности дают хорошо заметные издали тени.

8. Это – изображения Солнца, полученные при помощи камеры-обскуры, отверстием которой является просвет между листьями, а экраном – земля. Когда размер отверстия больше изображения Солнца на земле, форма пятен изменяется.

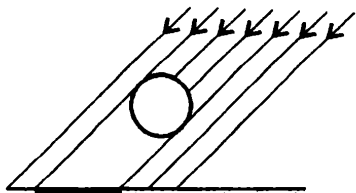


Рис. 19

9. Нет (см., например, рис.19).

10. Отдельные участки протяженного источника света создают тени, накладывающиеся друг на друга. При этом тень будет иметь тем более резко очерченную границу, чем меньше расстояние от предмета до экрана.

11. Раскаленные непрозрачные частицы в пламени задерживают свет от лампы, а сами испускают менее интенсивный свет. При этом на экране за пламенем получается менее освещенный участок, что и воспринимается как тень.

12. Не возникает резких теней.

13. Нет, не изменяется.

14. Гвоздик отбрасывает на сетчатку тень, которая ориентирована так же, как сам гвоздик. Но мозг «переворачивает» изображение, и тень кажется нам перевернутой.

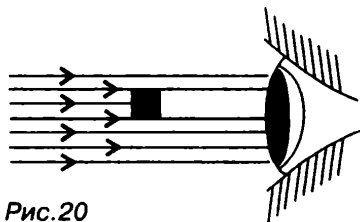


Рис. 20

15. Нет, так как лучи, идущие от звезды, параллельны, а ночью зрачок расширен и тень спички не покрывает его полностью (рис.20).

16. Воздух над костром нагрет в разных местах по-разному и поэтому обладает различной плотностью. Лучи

света, проходя неоднородную среду, распространяются не по прямым линиям и искажают изображение предметов.

17. Это – эффект перспективы. Подобное впечатление создается и тогда, когда мы смотрим вдоль железнодорожного полотна.

Преломление и отражение света

1. От гладкой поверхности воды свет фар отражается зеркально, т.е. вперед, а от шероховатой дороги – рассеянно, так что часть отраженного света попадает в глаза водителю.

2. Нет, нельзя. Отражение от экрана должно быть рассеянным – иначе зрители не увидят изображения.

3. На расстоянии $l/2$ от зеркала (рис.21).

4. Если на зеркало падает сходящийся пучок лучей.

5. Можно. Например, свет, идущий от фонарика (рис.22), отразится зеркалом, попадет на предмет A , и его изображение A' в зеркале станет также более освещенным.

6. Ошибся художник, сделавший рисунок а). Подводная часть палки должна казаться нам приподнятой из-за преломления на границе вода – воздух.

7. Лучи останутся параллельными.

8. Нет, так как показатель преломления у воды меньше, чем у стекла.

9. Нет, не может.

10. Вследствие капиллярных эффектов вода поднимается по карандашу, и ее поверхность вблизи него искривляется. Лучи света преломляются на искривленной поверхности воды так, что на тени карандаша появляется светлый промежуток.

11. Из-за копоти поверхность монеты покрыта слоем воздуха, на границе которого с водой происходит полное отражение освещающего монету света.

12. $n = 2$ (так как $\alpha = 2\beta$; рис.23).

13. Изображение лампы получается при отражении лучей света от задней (посеребренной) и от передней грани стекла. Кроме того, многократное отражение от обеих граней лучей, идущих внутри стекла,

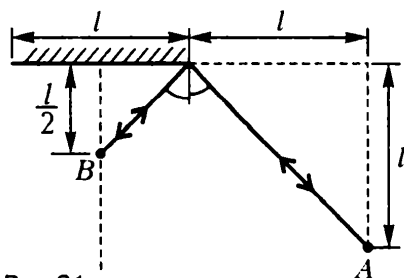


Рис.21

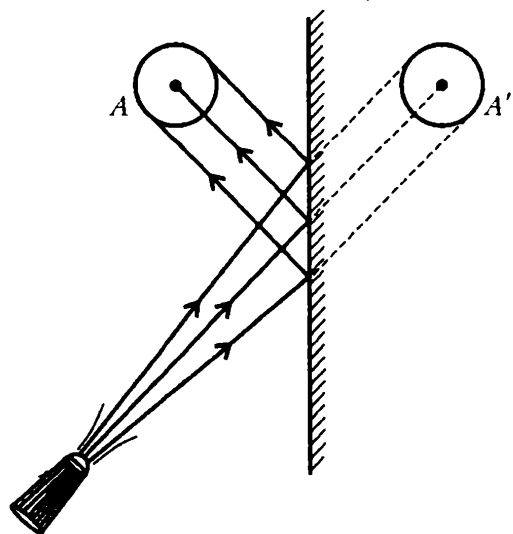


Рис.22

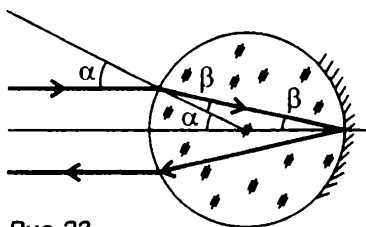


Рис.23

создает ряд дополнительных изображений.

14. Изображение свечи приблизится к зеркалу.

15. При прохождении через толченное стекло свет пересекает множество границ раздела стекло – воздух, на каждой из которых происходит не только преломление, но и отражение. Из-за

этого свет практически не проходит сквозь толченное стекло, и оно выглядит белым. В воде, показатель преломления которой близок к показателю преломления стекла, отражение на границах раздела, а также отклонение лучей при преломлении резко уменьшаются, поэтому в воде толченное стекло почти прозрачно.

Оптические построения

1. См. рис.24.

2. См. рис.25.

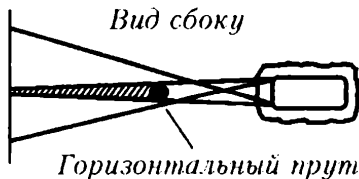


Рис.24

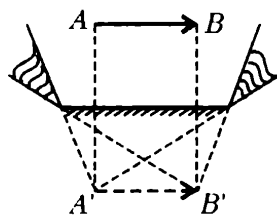


Рис.25

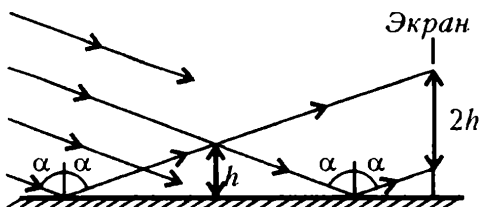
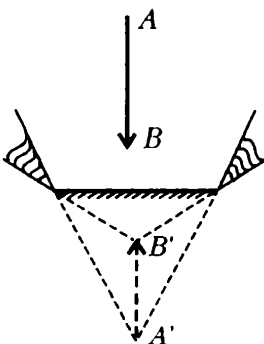


Рис.26

3. Если экран расположен от фигуры на расстоянии, большем $htg\alpha$ (где α – угол падения солнечных лучей), длина тени будет $2h$ (рис.26). Если экран расположен ближе, длина тени будет меньше.

4. Чтобы собрать на рассматриваемый препарат больше света.
5. См. рис.27.
6. Изображение – мнимое.

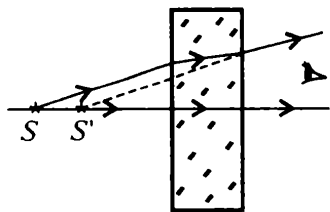


Рис.27

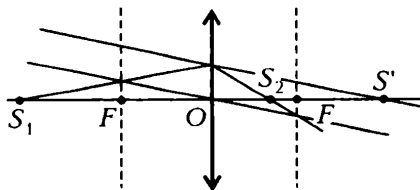


Рис.28

7. См. рис.28. Источник находится в точке S_1 , если изображение действительное, и в S_2 , если изображение мнимое.

8. См. рис.29.

9. См. рис.30.

10. Один из вариантов построения приведен на рисунке 31.

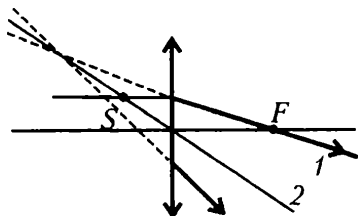


Рис.29

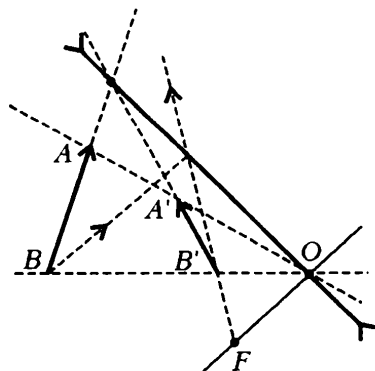


Рис.30

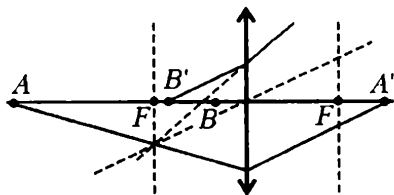


Рис.31

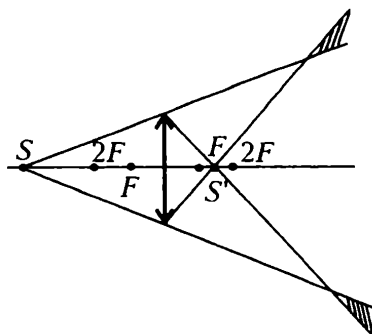


Рис.32

11. Да. В этом случае объектив фотоаппарата действует подобно главному хрусталику.

12. Источник света должен быть к линзе ближе, чем двойной фокус, иначе образуются области, из которых источник и изображение видны одновременно (заштрихованные на рис.32).

13. См., например, рис.33.

14. См. рис.34.

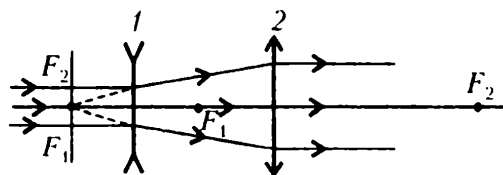


Рис. 33

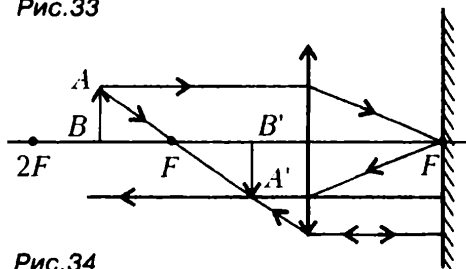


Рис. 34

15. В космосе нет поглощения света атмосферой, меньше яркость неба, отсутствует атмосферное дрожание, а длительность экспозиции не ограничена только ночным временем — т.е. снижено или исключено влияние факторов, мешающих получать на Земле изображение слабых звезд.

Оптические приборы

1. Проекционный аппарат создаст на экране перевернутое изображение.

2. $\beta = 2\alpha$; от угла падения луча на первое зеркало угол β не зависит.
3. Да. Например, остро отточенным карандашом можно сделать в листе бумаги отверстие размером 1–2 миллиметра и спроецировать изображение Солнца на стену комнаты (по принципу камеры-обскуры).
4. С удалением глаза от лупы уменьшается поле зрения.
5. Нет, лупа лишь увеличивает угол зрения, под которым виден предмет.
6. Слой воды, непосредственно соприкасающийся с роговицей глаза, ведет себя как сильно рассеивающая линза. Значит, в воздухе человеку необходимы очки для близоруких.
7. Оптическая сила линзы уменьшилась.
8. Да, если линза имеет достаточную толщину.
9. Это может быть, например, система, изображенная на рисунке 35, где F — фокус собирающей линзы.
10. Согласно принципу обратимости лучей, создать такую систему нельзя.
11. Изображение облаков получится ближе к объективу, чем изображение человека. Чтобы оно попа-

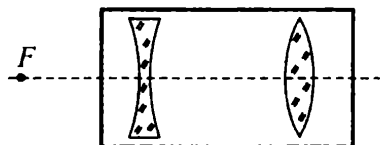


Рис. 35

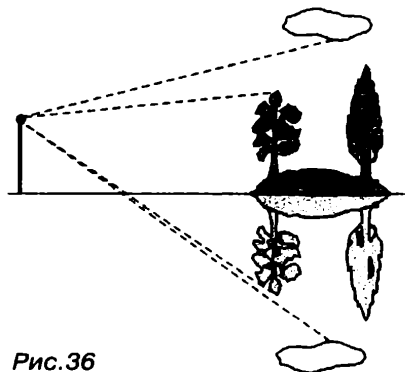


Рис. 36

ло на пленку, объектив следует приблизить к ней, т.е. вдвинуть в фотоаппарат.

12. Отраженный пейзаж мы видим так, как если бы смотрели на него из точки, расположенной под поверхностью воды на расстоянии, равном расстоянию от объектива до воды. На рисунке 36 видно, что в прямых

лучах какие-либо точки предметов разделены большим угловым расстоянием, чем в отраженных лучах.

13. Нет, не может. Из-за ярко освещенной Солнцем поверхности Луны при фотографировании необходимо было делать короткие выдержки, недостаточные для того, чтобы звезды оставили следы на негативе.

14. Телескоп увеличивает контрастность изображения звезды на фоне неба.

15. Луна на картах обычно изображается так, как она видна в телескоп.

16. Для получения максимального увеличения в телескопе линза объектива должна быть с наибольшим фокусным расстоянием (100 см), а линза окуляра – с наименьшим (2 см). В микроскопе обе линзы – объектива и окуляра – должны иметь наименьшие фокусные расстояния (по 2 см).

17. Да, можно. Для этого достаточно выдвинуть окуляр так, чтобы изображение, даваемое объективом, оказалось дальше фокусного расстояния окуляра.

Фотометрия

1. В лампе дневного света излучение света происходит с поверхности, площадь которой многократно превышает площадь нити лампы накаливания.

2. Прозрачные окна отражают меньше света, чем непрозрачные стены домов.

3. Солнце в конце зимы или в начале весны поднимается над горизонтом еще невысоко, поэтому освещенность крыши может превышать освещенность земли.

4. Если папиросная бумага находится на некотором расстоянии от текста книги, то расходящиеся пучки света, отраженного от белых участков страницы между буквами, перекрываются (рис.37). Бумага освещается почти равномерно, и из-за рассеяния ею света прочесть текст будет нельзя.

5. Световой пучок после отражения от зеркала становится параллельным, и освещенность экрана не должна зависеть от расстояния до зеркала.

6. Световой поток уменьшается, так как увеличивается сопротивление нити, что приводит к понижению потребляемой электрической мощности, а значит, и температуры нити.

7. Потому что тот же световой поток распределяется по большей площади.

8. Уменьшится яркость изображения.

9. Освещенность изображения уменьшится (рис.38), причем для верхней части стрелки-предмета уменьшится несколько больше чем в два раза, а для нижней – несколько меньше чем в два раза.

10. В первом случае показания фотодетектора уменьшаются из-за

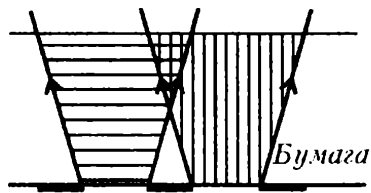


Рис.37

Текст

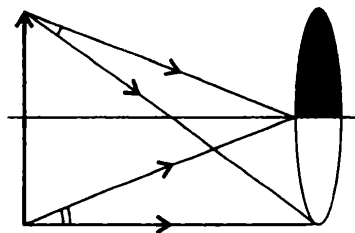


Рис.38

отражения света от пластинки. Во втором случае изображение лампы, образованное преломленными пластинкой лучами, оказывается ближе к фотодиоду, что приводит к увеличению попадающего на него светового потока.

В результате в зрачок его глаза попадает больший световой поток от любого элемента рассматриваемого предмета.

12. На участке AB (рис.39) освещенность увеличится, на участке BC останется примерно прежней, на CD станет равной нулю.

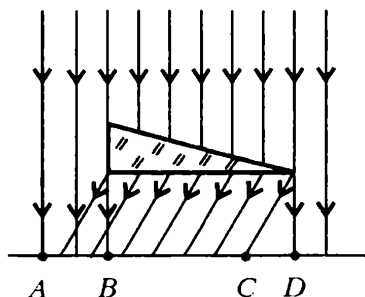


Рис.39

13. При дальнозоркости, так как освещенность зрачка может увеличить лишь собирающая линза.

14. Уменьшается яркость, но увеличивается четкость изображения.

15. При увеличении расстояния до источника света уменьшается световой поток, попадающий в глаз, но одновременно уменьшается и площадь изображения на сетчатке, так что отношение этих величин остается постоянным. Поэтому освещенность изображения, по которому

судят о яркости источника света, не зависит от расстояния до фонаря.

16. Свет от этих звезд проходит в атмосфере больший путь, чем свет от звезд, близких к зениту, и поэтому больше рассеивается.

17. Освещенность «темной» части Луны создается светом, отраженным от земной атмосферы и поверхности Земли.

18. Световая энергия, приходящаяся на какую-либо площадку, а значит, и сила светового давления убывают пропорционально квадрату расстояния.

Энергия связи

1. Нет, на космонавта продолжает действовать удерживающая его на орбите сила тяготения к Земле.

2. Отрицательная (если за ноль отсчета потенциальной энергии принята бесконечно удаленная точка).

3. При запуске с поверхности планеты, поскольку для вывода на круговую орбиту ракете уже была сообщена часть необходимой для ухода на бесконечность энергии.

4. В пар могут вырваться молекулы, кинетическая энергия которых больше работы выхода за поверхность жидкости. Значит, среднее значение кинетической энергии оставшихся молекул уменьшится, а температура понизится.

5. Жидкая пленка охватывает песчинки и стягивает их силами поверхностного натяжения.
6. За счет уменьшения кинетической энергии теплового движения молекул, т.е. понижения температуры.
7. Нагревание полупроводника и/или его освещение.
8. Та, у которой работа выхода электронов больше.
9. Подобно молекулам жидкости при испарении, за пределы нагреваемого металла могут вылетать только самые быстрые электроны, энергия которых превышает работу выхода.
10. Изменяя температуру накала катода.
11. Электроны, образуемые за счет интенсивной термоэлектронной эмиссии раскаленного катода, производят ударную ионизацию молекул газа, что уменьшает электрическое сопротивление газового промежутка.
12. Чем легче налетающая частица, тем меньше ее энергия, необходимая для ионизации атома.
13. Да, при этом происходит ионизация атома.
14. При удалении второго электрона – энергия связи этого электрона больше, поскольку его необходимо удалить уже от двухзарядного иона гелия.
15. Нет, так как должна выделяться энергия, равная энергии связи атома водорода.
16. Энергия испускаемых β -частиц столь велика, что никакие переходы в электронной оболочке атома сообщить ее не в состоянии.
17. Фотоны притягиваются к звезде и, «выбираясь» из потенциальной ямы ее гравитационного поля, теряют энергию.

А.А.Леонович

ФИЗИЧЕСКИЙ КАЛЕЙДОСКОП

Выпуск 2

Редактор *В.А.Тихомирова*
Технический редактор *Е.В.Морозова*
Компьютерная группа
Е.А.Митченко, Л.В.Калиничева

ИБ № 73

Подписано к печати 31.05.04. Формат 84×108 1/32. Бум. офс. нейтр.

Гарнитура кудряшевская. Печать офсетная. Объем 4 печ.л.

Тираж 5000 экз. Заказ 2441.

119296 Москва, Ленинский пр., 64-А,

«Квант»

Отпечатано на ГУ РИП,
г. Ржев, ул. Урицкого, 91

При участии ЗАО «РИЦ «Техносфера», тел.: (095) 234-01-10