

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

П. И. Самойленко
А. В. Сергеев

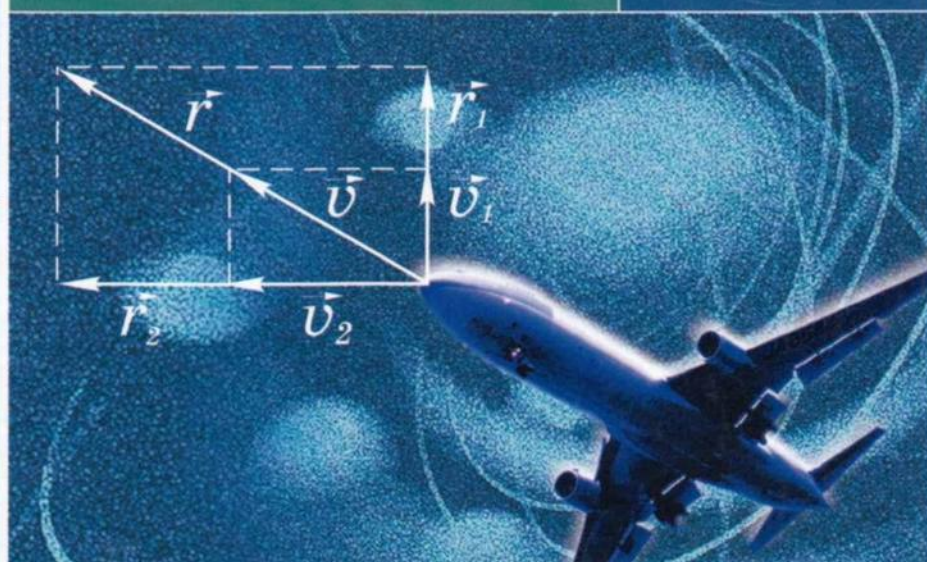
СБОРНИК ЗАДАЧ И ВОПРОСОВ ПО ФИЗИКЕ

10-е издание

ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ
ДИСЦИПЛИНЫ



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

П. И. САМОЙЛЕНКО, А. В. СЕРГЕЕВ

СБОРНИК ЗАДАЧ И ВОПРОСОВ ПО ФИЗИКЕ

*Допущено
Министерством образования Российской Федерации в качестве
учебного пособия для студентов образовательных учреждений
среднего профессионального образования*

10-е издание, стереотипное

96392

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ
БИБЛИОТЕКА



Москва
Издательский центр «Академия»
2013

УДК 53(075.32)
ББК 22.3я723
С 17

Рецензент:

начальник отдела Института проблем развития среднего
профессионального образования Российской Федерации
канд. техн. наук, доц. *Т. В. Герши*

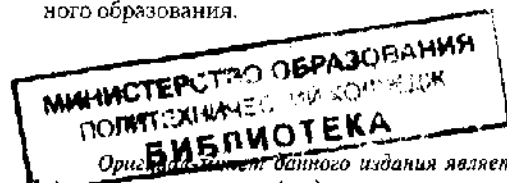
96392.

Самойленко П. И.
С 17 Сборник задач и вопросов по физике : учеб. пособие для
студ. образоват. учреждений сред. проф. образования / П. И. Са-
мойленко, А. В. Сергеев. — 10-е изд., стереотип. — М. : Изда-
тельский центр «Академия», 2013. — 176 с.

ISBN 978-5-7695-9620-9

В учебное пособие включены задачи и вопросы, способствующие раз-
витию физического мышления, более глубокому пониманию и усвоению
теоретического материала и выявлению связей физики с другими пред-
метами.

Для студентов образовательных учреждений среднего профессиональ-
ного образования.



*Оригинал-экземпляр данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

УДК 53(075.32)
ББК 22.3я723

© Самойленко П. И., Сергеев А. В., 2011
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2011
ISBN 978-5-7695-9620-9 © Оформление. Издательский центр «Академия», 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий «Сборник задач и вопросов по физике» написан в соответствии с действующей программой. Вместе с учебником «Физика» (П. И. Самойленко, А. В. Сергеев, М., 2011) он входит в учебный комплект для студентов средних профессиональных учебных заведений.

Цель «Сборника» — активизировать самостоятельную работу студентов, способствовать выработке у них прочных теоретических знаний, умений и навыков, которые будут использованы ими в будущей профессиональной деятельности. Хорошее усвоение теоретического материала невозможно без решения задач. У студентов в процессе решения задач развивается логическое мышление, появляется интерес к изучаемому предмету, они лучше запоминают законы и формулы.

В «Сборнике» даны общие методические указания по решению и оформлению задач, а также приведено большое количество задач с подробными решениями и анализом полученных результатов.

Краткое изложение основных теоретических понятий, законов и формул позволяет оказать максимальную помощь студентам при решении задач.

26636

Сборник задач и вопросов по физике
П. И. Самойленко, А. В. Сергеев
М., 2011

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
ПОЛТАВСКИЙ КОЛЛЕДЖ
БИБЛИОТЕКА

КАК РЕШАТЬ ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ

Решить физическую задачу — значит применить общие законы материального мира к конкретному случаю и получить конечный результат. Умение решать задачи — лучшая оценка уровня усвоения программного материала.

На изучение курса физики отводится сравнительно немного времени, поэтому при составлении сборника уменьшено количество задач, требующих громоздких математических вычислений, больше внимания уделено рассмотрению качественных задач и вопросов.

Прежде чем решать физическую задачу, следует тщательно изучить теорию вопроса. По способу решения различают устные (обычно качественные), экспериментальные, вычислительные и графические задачи. Деление это условно, обычно рекомендуется сначала решать качественные или экспериментальные задачи, а затем вычислительные и графические. Одну и ту же задачу можно решить различными способами. Целесообразность выбора способа должна быть определена самим студентом или указана преподавателем.

Решить большинство задач можно в четыре этапа: анализ условия задачи, построение схемы или чертежа; составление алгебраических уравнений, написание формул, которые связывают физические величины, характеризующие рассматриваемое явление с количественной стороны; решение полученных выражений (уравнений) и получение результата численного расчета; анализ полученного результата. Вычисления выполняют с использованием международной системы единиц (СИ).

В курсе физики многие задачи решают графическим методом. Если в условии задачи дан график зависимости между величинами, следует рассмотреть характер зависимости на каждом участке и получить искомые величины (их значения на осях координат, площадь, ограниченную графиком и соответствующими значениями величин по координатным осям, и т.п.). Если график не дан, в соответствии с условием задачи надо начертить координатные оси, выбрать определенный масштаб на них, составить таблицы, затем нанести точки на плоскости и, соединив их, получить график зависимости между заданными физическими величинами. После этого следует провести анализ и получить результат, как и в предыдущем случае, когда график задан.

При решении задач следует соблюдать правила оформления записей условия и хода решения данной задачи.

Вычисления желательно проводить с помощью вычислительной техники. Микрокалькулятор выдает данные с большим числом разрядов, как правило, не соответствующим точности исходных данных. Поэтому всегда необходимо обращать внимание на обоснованность получения высокой точности результата за счет того, что не учитывается порядок верных значащих цифр физических величин, заданных в условии задачи. На уроках физики нужно освоить приемы округления и правила приближенных вычислений.

Запись $Q = 1,30$ Дж означает, что в числе имеются три значащие цифры и следует учитывать ноль.

Имеются случаи, когда после значения физической величины указывается слово «точно», например, $273,16$ К (точно). Это значит, что получить число точнее нельзя.

Если имеются очень громоздкие числа, то для удобства целесообразно ставить в них запятую после первой значащей цифры слева и умножать это число на 10 в нужной степени. Такая запись удобна потому, что сразу видно количество значащих цифр и при действиях с приближенными числами легко определить порядок полученного значения для сравнения его, например, с табличным. Так, $m = 0,0581$ кг запишем в виде $m = 5,81 \cdot 10^{-2}$ кг, а $p = 215$ Па — в виде $2,15 \cdot 10^2$ Па. Поэтому, если в результате вычислений получено значение $251,1372$ кг, необходимо записать $251,14$ кг, т.е. округлить результат до двух значащих цифр после запятой.

Пример решения и оформления задачи.

Задача. Какую работу A надо совершить, чтобы растянуть на расстояние 10 см мыльную пленку на проволоочной раме с подвижной перекладиной длиной 5 см?

Решение. На проволоку со стороны пленки действует (см. рис. 1)

сила $F = 2\alpha l$ (у пленки две поверхности). На преодоление этой силы потребуется работа $A = 2\alpha ld$; $A = 2 \cdot 0,04 \cdot 0,05 \cdot 0,10 = 0,0004$ Н·м = $4 \cdot 10^{-4}$ Дж = $0,4$ мДж.

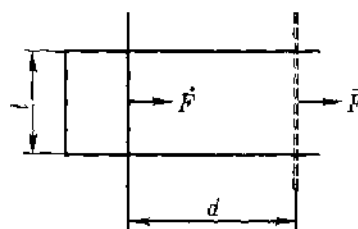


Рис. 1

Часть I

ТЕОРИЯ, ЗАДАЧИ, ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Глава 1

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

1.1. Основы кинематики

Теоретические сведения

В случае *прямолинейного равномерного движения* путь S , пройденный телом за время t , и скорость тела v связаны соотношением

$$S = vt. \quad (1)$$

При *равнопеременном прямолинейном движении* скорость v и путь S , соответствующие отрезку времени t , связаны следующими соотношениями:

$$v = v_0 + at; \quad (2)$$

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}; \quad (3)$$

$$v^2 - v_0^2 = 2as, \quad (4)$$

где v — начальная скорость; a — ускорение.

При $a = 0$ получается уравнение равномерного движения: $S = vt$. Ускорение a положительно при равноускоренном движении и отрицательно при равнозамедленном.

Скорость сложного движения определяется по правилу параллелограмма.

Для равномерного движения тела по окружности

$$v = \omega R = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi Rn; \quad (5)$$

$$a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = 4\pi^2 n^2 R, \quad (6)$$

где ω — угловая скорость движения; R — расстояние данной точки от оси вращения; T — период вращения; n — число полных оборотов в единицу времени.

При свободном падении тела под действием силы земного притяжения ускорение направлено вертикально вниз. Кроме особо оговоренных случаев, ускорение падающих тел $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Ускорение движения тел по наклонной плоскости без учета трения $a = g \sin \alpha$, где α — угол наклона плоскости к горизонту.

Если не учитывать сопротивления воздуха, наибольшая высота h и дальность полета S тел, брошенных под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0 ,

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}; \quad (7)$$

$$S = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}. \quad (8)$$

В случае *равномерного вращательного движения* угловая скорость

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu, \quad (9)$$

где T — период обращения; ν — частота обращения, т. е. число оборотов в единицу времени.

Угловая скорость ω связана с линейной скоростью v соотношением

$$v = \omega R. \quad (10)$$

Тангенциальное и нормальное ускорения при вращательном движении соответственно

$$a_\tau = \varepsilon R; \quad (11)$$

$$a_n = \omega^2 R, \quad (12)$$

где ε — угловое ускорение.

Примеры решения задач

Задача 1. Первую половину времени своего движения автомобиль двигался со скоростью 80 км/ч, а вторую — со скоростью 40 км/ч. Какова средняя скорость $v_{\text{ср}}$ движения автомобиля?

Дано: $v_1 = 80 \text{ км/ч}$, $v_2 = 40 \text{ км/ч}$.

Решение. Средняя скорость движения автомобиля $v_{\text{ср}} = S/t$, где $S = S_1 + S_2$.

По условию $t_1 = t_2 = t/2$. Таким образом,

$$v_{\text{ср}} = \frac{v_1 t/2 + v_2 t/2}{t} = \frac{v_1 + v_2}{2} = 60 \text{ км/ч}.$$

Задача 2. Электропоезд движется со скоростью 36 км/ч. Если выключить ток, то поезд, двигаясь равнозамедленно, остановится через 20 с. Найти: ускорение a электропоезда; на каком расстоянии S до остановки надо выключить ток?

Дано: $v_0 = 36 \text{ км/ч} = 10 \text{ м/с}$, $t = 20 \text{ с}$.

Решение. При равнопеременном движении имеют место уравнения движения (2) и (3). По условию $v = 0$. Тогда из формулы (2) имеем

$$a = -v_0/t. \quad (13)$$

Подставляя выражение (13) в формулу (3), найдем

$$S = v_0 t/2. \quad (14)$$

Подставляя численные данные в выражения (13) и (14), получим $a = -0,5 \text{ м/с}^2$ и $S \approx 100 \text{ м}$.

Задача 3. Два тела брошены вертикально вверх из одной и той же точки с одной и той же начальной скоростью 29,4 м/с с промежуток времени 0,5 с. Через какое время t с момента бросания первого тела и на какой высоте h они встретятся? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано: $v_0 = 29,4 \text{ м/с}$, $\Delta t = 0,5 \text{ с}$, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Решение. Выберем за начало отсчета времени момент бросания первого тела. Высота поднятия первого тела в момент времени t

$$h_1 = v_0 t - \frac{gt^2}{2}. \quad (15)$$

Высота поднятия второго тела выразится аналогичной формулой, но так как оно брошено на Δt позже, то для такого же момента времени

$$h_2 = v_0(t - \Delta t) - \frac{g(t - \Delta t)^2}{2}. \quad (16)$$

Тела встретятся в тот момент времени, когда высоты поднятия первого и второго тел будут одинаковы, т. е. $h_1 = h_2 = h$, поэтому

$$v_0 t - \frac{gt^2}{2} = v_0(t - \Delta t) - \frac{gt^2}{2} - \frac{g\Delta t^2}{2} + gt\Delta t, \quad (17)$$

откуда $t = \frac{v_0}{g} + \frac{\Delta t}{2} = 3,25 \text{ с}$;

$$h = v_0 \left(\frac{v_0}{g} + \frac{\Delta t}{2} \right) - \frac{1}{2} g \left(\frac{v_0}{g} + \frac{\Delta t}{2} \right)^2 = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{g\Delta t^2}{8} \approx 43,8 \text{ м}.$$

Задача 4. Колесо радиусом 10 см вращается с постоянным угловым ускорением $3,14 \text{ рад/с}^2$. Найти для точек на ободе колеса к концу первой секунды после начала движения: угловую скорость ω ; линейную скорость v ; тангенциальное ускорение a_τ ; нормальное ускорение a_n ; полное ускорение a .

Дано: $R = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$, $\epsilon = 3,14 \text{ рад/с}^2$.

Решение. При равнопеременном вращательном движении угловая скорость ω связана со временем t уравнением $\omega = \omega_0 + \epsilon t$. По условию $\omega_0 = 0$, тогда $\omega = \epsilon t$, т. е. ω растет пропорционально времени. К концу первой секунды $\omega = 3,14 \text{ рад/с}$.

Так как $v = \omega R$, то линейная скорость также пропорциональна времени. К концу первой секунды $v = 0,314 \text{ м/с}$.

Тангенциальное ускорение $a_\tau = \epsilon R$ не зависит от t , т. е. постоянно во время движения. В данном случае $a_\tau = 0,314 \text{ м/с}^2$.

Нормальное ускорение $a_n = \omega^2 R = \epsilon^2 t^2 R$, т. е. нормальное ускорение растет пропорционально квадрату времени: при $t = 1 \text{ с}$ $a_n = 0,986 \text{ м/с}^2$.

Полное ускорение к концу первой секунды равно: $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = 1,03 \text{ м/с}^2$.

Вопросы и задания

1. Ученик сказал, что материальная точка — это тело очень малых размеров. Действительно ли это так? Охватывает ли это определение все случаи движения тел в природе и технике?

2. Два тела, двигаясь прямолинейно, осуществили одинаковые перемещения. Можно ли считать, что и пути, пройденные ими, также равны? При каких условиях?

3. Тело движется прямолинейно, совершая за равные промежутки времени одинаковые перемещения. Можно ли утверждать, что движение тела равномерно? Почему? Обоснуйте ответ.

4. От какой скорости — средней или мгновенной — зависит степень повреждения автомобиля при аварийном столкновении с преградой на его пути?

5. Выведите формулу длины пути l , который проходит тело за последнюю секунду свободного падения ($v_0 = 0$).

6. Два тела падают из состояния покоя с одинаковой высоты одно после другого через время t_0 . Будет ли изменяться относительная скорость тел во время их общего падения? Выводы сделайте, не проводя вычислений.

7. Сформулируйте условия, при которых искусственный спутник Земли (ИСЗ) серии «Радуга», используемый в системе телерадиосвязи и телефонно-телеграфной связи, постоянно находится над одним и тем же пунктом Земли.

8. С вышки одновременно брошены два тела с одинаковой начальной скоростью v_0 ; одно вертикально вверх, другое вертикально вниз. Как с течением времени будет меняться расстояние между этими телами? Сопротивление воздуха не учитывать.

9. Каким должен быть наименьший угол наклона крыши, чтобы дождевая вода стекала с нее максимально быстро? Трение не учитывать.

10. Метеорологический шар-зонд поднимается относительно Земли на высоту 4000 м и одновременно движется в северном направлении на расстояние 3000 м. Найдите путь, пройденный шаром.

11. Велосипедист преодолел подъем длиной 1000 м с углом наклона к горизонту 3° . Определите перемещение велосипедиста в горизонтальном и вертикальном направлениях.

12. Две моторные лодки, двигаясь навстречу друг другу в стоячей воде, имеют относительную скорость 15 м/с. Чему равна их относительная скорость по реке, скорость которой 2 м/с?

13. Скорость движения катера в реке относительно воды 10 м/с, а скорость течения относительно берега 1,5 м/с. Какова скорость катера относительно берега в случаях, когда катер плывет по течению и против течения?

14. Автомобиль движется на подъеме со скоростью 20 м/с, а на спуске со скоростью 25 м/с. Какова средняя скорость автомобиля на всем пути, если длина подъема в четыре раза больше длины спуска?

15. С каким ускорением движется тело без начальной скорости, если через 4 с после начала движения оно прошло путь 16 м? Определите путь, пройденный за шестую секунду.

16. Какой путь проедет велосипедист, если он движется 30 с с постоянной скоростью 8 м/с, а затем 10 с с постоянным ускорением $0,4 \text{ м/с}^2$?

17. Тело упало с высоты 78,4 м. Какой путь оно прошло за последнюю секунду падения?

18. Два шарика выпущены из одной точки один после другого. Меняется ли расстояние между ними при падении?

19. Через сколько секунд мяч окажется на высоте 20 м, если его бросить вертикально вверх со скоростью 25 м/с?

20. Велосипедист движется со скоростью 0,6 м/с по дуге радиусом 10 м. Определите центростремительное ускорение. Как оно изменится, если скорость велосипедиста уменьшится в 2 раза?

21. Для тренировки спортсменов нередко используют движущуюся дорожку. Объясните, в каком случае спортсмен, находящийся на дорожке, будет неподвижен относительно Земли. Сделайте рисунок.

22. Играя в футбол, Вам часто приходится преграждать путь мячу. Установите, когда сильнее чувствуется удар мяча: если бежать на-

встречу к нему, от него или стоять на месте. Наблюдаемое явление объясните и дайте обоснованные рекомендации игрокам.

23. Исследуйте и объясните, почему увеличивается дальность прыжка, если спортсмен делает разбег. Зависит ли она от скорости и расстояния разбега? Почему перед прыжком без разбега спортсмен немного приседает?

24. Проведите наблюдения за действующим фонтаном в одном из скверов вашего города (поселка). Почему восходящая струя сжимающаяся, а нисходящая распадается на отдельные части?

1.2. Основы динамики

Теоретические сведения

Основной закон динамики (*второй закон Ньютона*) выражается формулой

$$F = ma, \quad (18)$$

где a — ускорение, приобретаемое телом массой m под действием силы F .

Сила, вызывающая упругую деформацию x , пропорциональна деформации:

$$F = -kx, \quad (19)$$

где k — коэффициент, численно равный силе, вызывающей деформацию (коэффициент упругости).

Сила трения скольжения

$$F = \mu N, \quad (20)$$

где μ — коэффициент трения скольжения; N — сила нормального давления.

Центростремительная сила

$$F = m\omega^2 R = \frac{mv^2}{R}, \quad (21)$$

где m — масса; ω — угловая скорость; v — линейная скорость; R — радиус окружности.

Сила притяжения двух точечных тел или однородных шаров массами m_1 и m_2 , находящихся на расстоянии R , определяется по закону всемирного тяготения:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}, \quad (22)$$

где G — гравитационная постоянная.

Примеры решения задач

Задача 1. Самолет делает «мертвую петлю» радиусом 800 м и движется по ней со скоростью 200 м/с. С какой силой тело летчика массой 70 кг давит на сиденье самолета в верхней и нижней точках петли (N_1 , N_2)?

Дано: $R = 800$ м, $v = 200$ м/с, $m = 70$ кг.

Решение. В верхней точке сила тяжести mg и сила реакции сиденья N_1 действуют вертикально вниз и сообщают летчику центростремительное ускорение $\frac{v^2}{R}$. Поэтому уравнение движения

$$N_1 + mg = \frac{mv^2}{R}, \text{ откуда } N_1 = \frac{mv^2}{R} - mg = m \left(\frac{v^2}{R} - g \right)$$

или $N_1 = 2814$ Н.

Поскольку в нижней точке сила реакции сиденья N_2 направлена вертикально вверх, то уравнение движения в нижней точке

$$mg - N_2 = -\frac{mv^2}{R}, \text{ откуда } N_2 = m \left(\frac{v^2}{R} + g \right) \text{ или } N_2 = 4186 \text{ Н.}$$

Задача 2. Максимальное удаление от поверхности Земли первого ИСЗ составляло 947 км. Какую скорость v должен иметь спутник на этой высоте, чтобы удержаться на круговой орбите? Радиус Земли 6370 км.

Дано: $R_3 = 6370$ км = $6,37 \cdot 10^6$ м, $h = 947$ км = $9,47 \cdot 10^5$ м, $g = 9,8$ м/с².

Решение. Сила притяжения спутника к Земле сообщает ему центростремительное ускорение $\frac{v^2}{R}$, где $R = R_3 + h$ — расстояние между центрами тяжести Земли и спутника. После преобразований получим:

$$\frac{mv^2}{R} = G \frac{mM}{R^2}, v = \sqrt{\frac{GM}{R}}. \text{ Но } GM = gr^2 \left(mg - \frac{GmM}{r^2} \right),$$

тогда $v = R_3 \sqrt{\frac{g}{R}}$, $v \approx 7300$ м/с.

Вопросы и задания

1. Тело движется с постоянной скоростью под действием нескольких сил. Можно ли это состояние тела рассматривать как движение по инерции?

2. Можно ли утверждать, что инерция одного из нескольких неодинаковых тел больше или меньше по сравнению с другими? Ответ обоснуйте.

3. Какое из понятий (инертность и масса тела) является физической величиной, а какое — свойством материи?

4. С точки зрения Аристотеля, сила — причина движения (скорости) тела; если отсутствует сила, тело неподвижно и только неподвижно. Опровергните эту точку зрения, воспользовавшись законом инерции Ньютона и примерами движения тел под действием реальных сил.

5. Может ли существовать сила без точки ее приложения? Может ли одна и та же сила иметь несколько точек приложения?

6. С точки зрения физики действие нельзя отличить от противодействия. Объясните, почему.

7. Подумайте, действительно ли численные значения ускорений тел, которые свободно падают, не зависят от их масс.

8. Проявлением каких сил — гравитационных или электромагнитных — является вес тел? Почему?

9. Если во Вселенной на какой-то планете возникнет жизнь, то обязательно ли жители этой планеты будут иметь вертикально-симметричную осанку, как у человека?

10. Все тела на Земле имеют вес. Имеет ли вес сама Земля как планета, которая вращается вокруг Солнца?

11. Какое понятие — центр масс или центр тяжести — является более общим? Почему?

12. Всегда ли центр масс тела совпадает с его центром тяжести?

13. Какова природа силы Архимеда?

14. Три ученика записали закон Гука на доске по-разному: $F = -kx$, $(F_{\text{уп}})_x = -kx$, $F = kx$. Кто из них ошибся? Ответ обоснуйте.

15. Изменяются ли математические записи закона всемирного тяготения и закона Гука при переходе от одной инерциальной системы отсчета (ИСО) к другой? Объясните.

16. Какая сила в механике не зависит от параметров тела, на которое действует? Назовите силы, которые зависят от тел, на которые действуют?

17. Можно ли формулу силы трения $F_t = \mu N$ записать в векторном виде, т.е. вместо модулей сил поставить их векторы?

18. Какая сила придаст вращательное движение шару, скатывающемуся по наклонной плоскости? Может ли шар скользить по наклонной плоскости?

19. Жонглер тренируется в вагоне движущегося поезда. Должен ли он учитывать движение поезда в случае, если это движение: а) равномерное; б) равноускоренное?

20. Гимнаст сначала прыгает на гибкую доску — трамплин, а затем вверх. Почему в этом случае прыжок получается более высоким, чем прыжок без трамплина?

21. Два человека, сидящие в лодках массами 200 и 600 кг, натягивая веревку длиной 8 м, начинают приближаться друг к другу. Какой путь проходит до встречи каждая лодка?

22. Артист ударом одного шара приводит в движение второй шар, находящийся в состоянии покоя, причем направления движения шаров совпадают. В каком случае первый шар: а) останавливается; б) продолжает двигаться вперед; в) движется назад?

23. С какой целью цирковые артисты при хождении по канату держат в руках тяжелые шесты?

24. Можно ли натянуть веревку горизонтально таким образом, чтобы она не провисала?

25. Сила 0,5 Н действует на тело массой 1 кг. Определите ускорение, с которым движется тело.

26. Определите массу тела, которое под действием силы 2 Н за 3 с прошло расстояние 9 м.

27. Какую силу прилагает человек массой 70 кг, поднимая себя за веревку, привязанную к его телу и перекинутую через неподвижный блок?

28. Сила F сообщает телу массой m_1 ускорение 5 м/с^2 , а телу массой m_2 — ускорение 15 м/с^2 . Какое ускорение под действием той же силы получат оба тела, если их соединить вместе?

29. Два бруска, соединенные между собой, движутся под действием силы 4 Н с ускорением 1 м/с^2 . Найти массы брусков, если известно, что масса первого в 3 раза больше массы второго. Какая сила действует на второй брусок?

30. Каков коэффициент жесткости пружины, если под нагрузкой 2 Н она удлинилась на 0,1 м? Насколько удлинится эта пружина под нагрузкой 3 Н?

31. Брусок массой 2 кг равномерно тащат по горизонтальной площадке. Сила тяги 1 Н. Определите коэффициент трения.

32. Почему цирковые наездники легко держатся сбоку седла с внутренней стороны окружности, по которой скачет лошадь, а с наружной стороны им это сделать труднее?

33. Почему для того, чтобы скорее вылить жидкость из бутылки, надо придать ей быстрое вращательное движение?

34. Диск вращается в горизонтальной плоскости с частотой $0,6 \text{ с}^{-1}$. На расстоянии 0,5 м от оси вращения на диске лежит тело. Каким должен быть коэффициент трения, чтобы тело не соскользнуло с диска?

35. Определить массу Солнца, если известно, что сила тяготения между Землей и Солнцем равна $3,6 \cdot 10^{22} \text{ Н}$, масса Земли $6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ и расстояние между ними $1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$.

36. Дорога имеет вираж с углом наклона к горизонту α и радиусом закругления r . Какую скорость должен иметь на вираже велосипедист, чтобы не упасть? Трением колес на вираже пренебречь.

37. Канат может удерживать тело весом не более 1000 Н. На канате поднимают груз массой 70 кг. При каком ускорении канат разорвется?

38. Камень, брошенный горизонтально с некоторой высоты с начальной скоростью 20 м/с, пролетел 30 м. С какой высоты был брошен камень? Каково время полета?

39. Мяч брошен с начальной скоростью 30 м/с под углом 60° к горизонту. Определите время t подъема на максимальную высоту и дальность l полета мяча.

40. Шарик массой 0,2 кг, подвешенный на нити длиной 1 м, отведи от положения равновесия и отпустили. Скорость шарика в нижней точке 0,6 м/с. Какова сила F натяжения нити в этот момент?

41. Длина наклонной плоскости 5 м, а высота 1 м. С каким ускорением должны скатываться тела при отсутствии трения?

42. По кривой какого радиуса r проедет велосипедист, если он движется со скоростью 10 м/с? Предельный угол наклона к дороге 60° .

43. Тело массой 1 кг падает вертикально вниз с ускорением 9 м/с^2 . Чему равна средняя сила сопротивления воздуха?

44. Брусек весом 1 Н скользит с постоянной скоростью по наклонной доске. Угол наклона доски по отношению к горизонту 30° . Определите коэффициент трения.

45. Выходя из воды, животные встряхиваются. Какой физический закон действует при этом?

46. Укажите, проведя соответствующие наблюдения, каково назначение перепонки на лапках водоплавающей птицы: уток, гусей и др. Объясните, почему утки и гуси ходят переваливаясь.

47. Каково назначение упругих волосков на подошве лапок зайца, кролика, кошки? Какое значение имеют щетинки на поверхности тела дождевого червя для его передвижения?

48. Как некоторые бобовые растения для разбрасывания своих семян используют принцип реактивного движения и свойство инерции? Приведите конкретные примеры.

49. Понаблюдайте на прозрачной отмели за движением мелких рыбок. Обратите внимание на движение их плавников и хвостов. Затем спугните их. Почему при быстром движении рыбки прижимают к себе плавники?

50. Почему овес противостоит ветру (почти никогда не ломается, редко полегает)?

51. В густом лесу всегда можно встретить поваленные ветром деревья. А на открытой местности? Объясните результаты Ваших наблюдений. Какое из деревьев — ель или сосна — более устойчиво? Почему сильный ветер летом ломает деревья чаще, чем зимой? Когда у дерева положение центра тяжести выше: летом или зимой? Сделайте выводы.

1.3. Законы сохранения в механике

Теоретические сведения

Работа силы F при перемещении S может быть выражена следующей формулой, если действующая сила постоянна и составляет угол α с перемещением:

$$A = FS \cos \alpha. \quad (23)$$

Мощность

$$N = A/t, \quad (24)$$

где A — работа, совершаемая за время t .

Мощность может быть определена также формулой

$$N = Fv \cos \alpha, \quad (25)$$

т.е. мощность определяется произведением скорости движения на проекцию силы на направление движения.

Кинетическая энергия тела массой m , движущегося со скоростью v ,

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (26)$$

Формулы для потенциальной энергии имеют разный вид в зависимости от характера действующих сил.

Потенциальная энергия упругих тел

$$E_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}. \quad (27)$$

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух материальных точек массами m_1 и m_2 , находящихся на расстоянии r друг от друга,

$$E_{\text{п}} = -G \frac{m_1 m_2}{r}. \quad (28)$$

Потенциальная энергия тела, поднятого над Землей на высоту h ,

$$E_{\text{п}} = mgh. \quad (29)$$

Закон сохранения импульса имеет вид:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 + m_3 v_3 + \dots + m_n v_n = \text{const}. \quad (30)$$

Вопросы и задания

1. Численные значения скорости тела и его массы не изменились, а импульс тела изменился. Как это могло случиться?
2. Чему равен импульс Земли в ее суточном вращении?

96332

3. Тело свободно падает. На первый взгляд, возникает нескомпенсированное изменение импульса. Действительно ли это так?

4. Пуля массой $9 \cdot 10^{-3}$ кг пробила доску и при этом скорость пули уменьшилась от 600 до 400 м/с. Насколько уменьшился импульс пули?

5. Мяч массой 1 кг падает на горизонтальную поверхность Земли с высоты 6 м и отскакивает на высоту 2 м. Какой импульс он приобретает?

6. В лодку массой 500 кг, движущуюся с постоянной скоростью 2 м/с, прыгнул с моста человек массой 70 кг. Как изменилась скорость лодки?

7. Человек, стоящий на неподвижной лодке, пошел со скоростью 4 м/с относительно лодки. Масса человека 60 кг, масса лодки 300 кг. С какой скоростью начала двигаться лодка по поверхности воды?

8. Чему равна полная работа A двух команд спортсменов, которые соревнуются по перетягиванию каната? Ответ обоснуйте.

9. Студент сказал, что работа силы тяжести во время свободного падения равна нулю, так как тело находится в состоянии невесомости. Действительно ли это так?

10. Какую работу A нужно совершить, чтобы поднять на высоту 2 м груз массой 50 кг, двигая его по наклонной плоскости, составляющей угол 45° с горизонтом. Коэффициент трения 0,2.

11. Пуля массой 10^{-2} кг, пушенная вертикально вверх, возвратилась обратно через 40 с. Определить работу пороховых газов в стволе ружья.

12. С какой скоростью v нужно бросить мяч вниз, чтобы он подпрыгнул на 4 м выше того уровня, с которого брошен? Удар о землю упругий.

13. Можно определить, яйцо сырое или вареное, если привести его во вращение. Вареное яйцо вращается долго, а сырое останавливается после одного-двух оборотов. Почему?

14. Где ходить труднее: по песку или по твердому грунту. Почему? Способ исследования придумайте сами.

15. Забить гвоздь в фанерную степку трудно, так как при ударе фанера прогибается. Однако гвоздь удаётся сравнительно легко забить, если с противоположной стороны стенки поместить массивное тело, например топор. Почему?

16. Проведите наблюдения и объясните, почему нагруженный автомобиль на грунтовой дороге с выбоинами движется плавнее, чем автомобиль без груза.

17. Проведя наблюдения, опишите процессы превращения энергии колеблющегося маятника (математического и пружинного). Ответ иллюстрируйте схематическими рисунками.

18. Переместите деревянный брусок с помощью динамометра вдоль стола на некоторое расстояние, а затем такое же расстояние под-

нимите его вертикально вверх. Вычислите работу в обоих случаях, сравните результаты и сделайте выводы.

19. Исследуйте, в каком случае расходуется больше энергии: при езде на велосипеде или ходьбе пешком. Влияет ли на эти процессы скорость перемещения? Способ исследования придумайте сами.

20. Налейте в стакан воды и погрузите в нее частички вещества с большей плотностью, чем плотность воды, и вращайте стакан. Частички перемещаются к стенке. Почему чайники в стакане кипятка, которые при перемешивании были у стенки, после помешивания собираются в середине на дне стакана? Сделайте выводы.

21. Выпуклой стороной чайной ложки прикоснитесь к льющейся из крана струе воды. Что Вы наблюдаете? Попробуйте отодвинуть верхний конец ложки на несколько сантиметров в сторону — ложка не отрывается от струи, хотя теперь наклонена к ней под значительным углом. Почему?

22. Зажмите открытый водопроводный кран пальцем так, чтобы оставалось только маленькое отверстие. Как изменится скорость вытекания воды? Почему? Почему сужается струя воды, равномерно вытекающей из крана? Какая сила ее сжимает? Можно ли рассчитать, как изменится диаметр струи с увеличением расстояния от отверстия крана? Сделайте вывод из проведенных наблюдений.

1.4. Основы специальной теории относительности

Теоретические сведения

Если τ_0 — промежуток времени между двумя событиями, происходящими в подвижной системе координат K' (рис. 2), то время между этими событиями в системе K , относительно которой система K' движется с постоянной скоростью v , составит

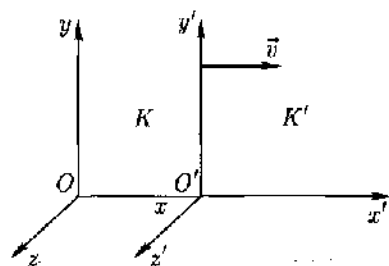


Рис. 2

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad (31)$$

где c — скорость света в вакууме.

Длина стержня, измеренная в системе K ,

$$l = l_0 \sqrt{1 - (v/c)^2}, \quad (32)$$

где l_0 — длина стержня, измеренная в системе K' .

Если v_0 — скорость тела относительно системы K' , а v_1 — скорость этого же тела относительно неподвижной системы K , то согласно *релятивистскому закону сложения скоростей*

$$v_1 = \frac{v_0 + v}{1 + v_0 v / c^2}. \quad (33)$$

В отличие от классической механики Ньютона масса тела зависит от скорости движения этого тела:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad (34)$$

где m_0 — масса покоя.

Закон взаимосвязи массы и энергии выглядит следующим образом:

$$E = mc^2; \quad (35)$$

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}. \quad (36)$$

Примеры решения задач

Задача 1. Космическая частица движется со скоростью $0,95c$ относительно системы K . Какой промежуток времени τ соответствует 1 мкс «собственного» времени частицы?

Дано: $v = 0,95c$, $\tau_0 = 1$ мкс.

Решение. Применив формулу (31), получим

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{1 - (0,95c/c)^2}} = 3,2 \text{ мкс.}$$

Задача 2. Длина линейки, неподвижной относительно земного наблюдателя, равна 1 м. Какова ее длина l для того же наблюдателя, если линейка движется относительно него со скоростью $0,6c$?

Дано: $v = 0,6c$, $l_0 = 1$ м.

Решение. Применив формулу (32), получим

$$l = 1\sqrt{1 - (0,6c/c)^2} = 0,8 \text{ м.}$$

Задача 3. Система K' движется относительно системы K со скоростью $v = 2/3c$. Частица движется относительно системы K' со скоростью $v_0 = 2/3c$. Определить скорость v_1 частицы в системе K .

Дано: $v = 2/3c$; $v_0 = 2/3c$.

Решение. Согласно релятивистскому закону сложения скоростей (33)

$$v_1 = \frac{u_0 + v}{1 + u_0 v / c^2};$$

$$v_1 = \frac{2/3c - 2/3c}{1 + 2/3c \cdot 2/3c / c^2} = \frac{4c}{3(1 + 4/9)} = \frac{12}{13}c.$$

Задача 4. Частица, масса покоя которой $m_0 = 1$ г, движется со скоростью $0,9c$ относительно наблюдателя. Определить массу m частицы в системе, связанной с наблюдателем.

Дано: $m_0 = 1$ г, $v = 0,9c$.

Решение. Согласно формуле (34),

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}};$$

$$m = \frac{1}{\sqrt{1 - (0,9c/c)^2}} \approx 2,2 \text{ г},$$

т. е. при скоростях, сравнимых со скоростью света в вакууме, учет зависимости массы от скорости необходим.

Вопросы и задания

1. Какие движения описывает специальная теория относительности: равномерные, равнопеременные, неравномерные? Ответ обоснуйте.

2. Может ли какая-либо ИСО двигаться со скоростью v , по модулю равной или большей абсолютного значения скорости света c ?

3. Что является относительным при взаимодействии тел: их импульсы, закон сохранения импульсов или и то и другое? Ответ обоснуйте.

4. Докажите, что масса покоя частиц, которые движутся со скоростью света (фотоны, нейтрино), должна равняться нулю.

5. Можно ли применять релятивистскую формулу импульса

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

для вычисления импульса фотона? Почему?

6. Изменяются ли при переходе от одной ИСО к другой значения таких фундаментальных величин, как сила и импульс?

7. Докажите, что так как в природе существует закон сохранения энергии, то должен существовать также закон сохранения массы, и наоборот.

8. Можно ли закон $E = mc^2$ трактовать как закон преобразования массы в энергию, и наоборот, т.е. как закон эквивалентности массы и энергии?

9. Какие изменения происходят с массой тел в следующих физических процессах: нагревание (охлаждение), плавление (отвердевание), испарение (конденсация)? Приведите обоснованный ответ.

10. Существует ли единая универсальная формула энергии, справедливая для всех ее видов?

11. В разных ИСО полная энергия тела неодинакова. Обоснуйте это.

12. Существует ли понятие потенциальной энергии для системы взаимодействующих между собой релятивистских частиц?

13. В чем отличие первого постулата теории относительности релятивистской физики от принципа относительности Галилея?

14. Как будет изменяться ускорение тела от действия постоянной силы при скоростях, близких к скорости света в вакууме?

15. С какой скоростью будет двигаться космический корабль относительно Земли, принятой за неподвижную систему отсчета, если ход времени на корабле замедлится в 2 раза с точки зрения земного наблюдателя?

16. При какой скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 10 %?

17. Какое время пройдет на Земле, если в космическом корабле, движущемся со скоростью $v = 0,8c$ относительно Земли, пройдет 21 год?

18. Для наблюдателя, находящегося на Земле, линейные размеры космического корабля по направлению его движения сократились в 4 раза. Во сколько раз медленнее идут часы на корабле относительно хода часов наблюдателя?

19. Собственная длина космического корабля 15 м. Определите его длину для наблюдателя, находящегося на корабле, и наблюдателя, относительно которого корабль движется со скоростью $1,8 \cdot 10^8$ м/с.

20. С какой скоростью должно двигаться тело, чтобы его собственная длина по направлению движения уменьшилась в 5 раз?

21. При какой скорости кинетическая энергия частицы равна ее энергии покоя?

22. Каким импульсом обладает электрон, масса покоя которого равна $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, а скорость $2,4 \cdot 10^8$ м/с.

23. Какова масса протона в системе отсчета, относительно которой он движется со скоростью $0,8c$?

24. До какой скорости нужно разогнать электрон, чтобы его масса была в 2 раза больше массы покоя?

25. Определите кинетическую энергию электрона (МэВ), движущегося со скоростью $0,6c$.

Глава 2

ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ

2.1. Молекулярно-кинетическая теория строения вещества

Теоретические сведения

Относительная молекулярная масса вещества

$$M_r = \frac{m_0}{1/12 m_C}, \quad (37)$$

где m_0 — масса молекулы данного вещества; m_C — масса атома углерода.

Масса отдельной молекулы

$$m_0 = M/N_A, \quad (38)$$

где M — молярная масса вещества; $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ — постоянная Авогадро, показывающая, сколько молекул содержится в одном моле вещества.

Моль — это единица количества вещества.

Количество вещества

$$\nu = N/N_A, \quad (39)$$

$$\text{или } \nu = m/M, \quad (40)$$

где N — число молекул в данном объеме; m — масса вещества.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории

$$p = \frac{1}{3} m_0 N \langle u_{\text{кв}} \rangle^2, \quad (41)$$

$$\text{или } p = \frac{2}{3} N \frac{m_0 \langle u_{\text{кв}} \rangle^2}{2}, \quad (42)$$

где p — давление газа на стенки сосуда; $\langle u_{\text{кв}} \rangle$ — средняя квадратическая скорость движения молекул газа.

Средняя квадратическая скорость $\langle u_{\text{кв}} \rangle$ поступательного движения молекул газа равна квадратному корню из среднего арифметического значения квадратов скоростей поступательного движения всех его молекул:

$$\langle u_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i^2}. \quad (43)$$

Разложив эту скорость по осям координат на составляющие u_x , u_y , u_z , по обобщенной теореме Пифагора получим

$$\langle u_{\text{кв}} \rangle^2 = \langle u_x \rangle^2 + \langle u_y \rangle^2 + \langle u_z \rangle^2. \quad (44)$$

Средняя кинетическая энергия движения молекулы

$$\langle E \rangle = m_0 \langle u_{\text{кв}} \rangle^2 / 2. \quad (45)$$

С учетом формулы (45) формулу (42) можно представить в виде:

$$p = \frac{2}{3} n \langle E \rangle. \quad (46)$$

Средняя кинетическая энергия движения молекулы

$$\langle E \rangle = \frac{3}{2} kT, \quad (47)$$

где T — термодинамическая температура; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана.

Из формул (45) и (47) следует

$$\frac{3}{2} kT = m_0 \langle u_{\text{кв}} \rangle^2 / 2.$$

Получаем значение средней квадратической скорости молекул:

$$\langle u_{\text{кв}} \rangle^2 = \sqrt{3kT/m_0} = \sqrt{3RT/M}, \quad (48)$$

где $R = 8,31$ Дж/(моль · К) — универсальная газовая постоянная.

Внутреннюю энергию одного моля идеального газа, обусловленную только поступательным (тепловым) движением молекул, определим как сумму кинетических энергий входящих в моль молекул:

$$U_0 = \frac{3}{2} kTN_A = \frac{3}{2} RT. \quad (49)$$

Для ν молей вещества выражение (49) примет вид:

$$U = \nu U_0 = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} \frac{mRT}{M}, \quad (50)$$

где m — масса газа.

Примеры решения задач

Задача 1. Определить массу молекулы водорода m_{H_2} .

Д а н о: $M = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$.

Р е ш е н и е. Подставив значения молярной массы водорода и постоянной Авогадро в формулу (38), получим:

$$m_{\text{H}_2} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг} = 3 \cdot 10^{-27} \text{ кг}.$$

Задача 2. Найти число молекул n в 2 кг углекислого газа.

Д а н о: $M = 44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$, $m = 2$ кг.

Р е ш е н и е. По формуле (38) масса одной молекулы углекислого газа $m_0 = M/N_A$. Число молекул равно отношению массы всего газа к массе одной молекулы:

$$n = m/m_0 = mN_A/M; \quad n = \frac{2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{44 \cdot 10^{-3}} = 2,7 \cdot 10^{25}.$$

Задача 3. Определить среднюю квадратическую скорость $\langle u_{\text{кв}} \rangle$ и среднюю кинетическую энергию $\langle E \rangle$ молекул азота при температуре 300 К.

Д а н о: $T = 300$ К, $M = 28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Р е ш е н и е. Воспользуемся формулами (47) и (48):

$$\langle u_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{3RT/M}; \quad \langle u_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 300}{28 \cdot 10^{-3}}} = 520 \text{ м/с};$$

$$\langle E \rangle = \frac{3}{2} kT; \quad \langle E \rangle = \frac{3}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 = 6,2 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$

П р и м е ч а н и е. При определении $\langle u_{\text{кв}} \rangle$ обратите особое внимание на действия с размерностями физических величин.

Задача 4. Какова внутренняя энергия U идеального газа, занимающего при температуре 300 К объем 10 м 3 , если концентрация молекул $5 \cdot 10^{17}$ м $^{-3}$?

Д а н о: $V = 10$ м 3 , $n_0 = 5 \cdot 10^{17}$ м $^{-3}$, $T = 300$ К.

Р е ш е н и е. Формула (47) позволяет определить энергию одной молекулы газа. В данном объеме газа содержится $N = n_0 V$ молекул. Следовательно, внутренняя энергия газа

$$U = N\langle E \rangle = \frac{3}{2} n_0 V kT;$$

$$U = \frac{3}{2} \cdot 5 \cdot 10^{17} \cdot 10 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 = 31,05 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = 31,05 \text{ мДж}.$$

Вопросы и задания

Молекулярно-кинетическая теория

1. Когда стекла с полированной поверхностью укладывают одно на другое, между ними кладут бумажные ленты. Почему?

2. Почему белье гладят горячим утюгом? Зачем при глажении ткань увлажняют?

3. Почему в холодильнике не рекомендуется рядом с молочными продуктами держать сельдь или нарезанный лук?

4. Поваренная соль (сахар), помещенная в воду, через некоторое время после растворения равномерно распределяется во всем объеме. Убедитесь в этом. Зависит ли скорость протекания процесса от температуры воды? Чем объяснить, что в жидкостях диффузия про-

текает гораздо медленнее, чем в газах, и значительно быстрее, чем в твердых телах? Зависит ли скорость протекания диффузии от рода соприкасающихся жидкостей? Способ исследования опишите. Сделайте обобщающие выводы.

5. Как изменится давление в сосуде с газом, если внезапно исчезнут силы притяжения между его молекулами?

6. Почему штукатурка обсыпается, если между кирпичной стеной и штукатуркой попадает дождевая вода?

7. Проведя наблюдения за высокими заводскими и фабричными трубами, объясните «исчезновение» дыма в воздухе. На какой приблизительно высоте он «исчезает»? От каких факторов это зависит? Какие физические явления способствуют «исчезновению» дыма? Зачем заводские трубы строят относительно высокими? Какие трубы предпочтительнее — железные или кирпичные? Какие пыле? Почему? Сделайте обобщающие выводы.

8. Выясните в домашних условиях, почему сливки отстаиваются значительно быстрее в холодном помещении (погребе) или в холодильнике, чем в теплом месте. Проверьте и объясните, почему продукты, оставленные в холодильнике открытыми, относительно быстро «высыхают».

9. Воспользуйтесь периодической таблицей Д. И. Менделеева и определите молярную массу озона O_3 . Ответ выразите в килограммах на киломоль. Чему равна масса одной молекулы озона?

10. Сколько молей содержится в 2 кг водорода и в 32 г кислорода?

11. Сколько молекул содержится в 10 г углекислого газа?

12. Какова масса 20 моль ацетилена C_2H_2 ?

13. Какое количество вещества содержится в алюминиевой отливке массой 5,4 кг?

Кинетическая теория идеального газа

14. Температура является микро- или макроскопическим понятием?

15. Является ли температура, подобно массе, длине тел, времени, величиной аддитивной? Приведите примеры.

16. Температура газа увеличилась от 1 до 2 °С, можно ли утверждать, что средняя кинетическая энергия его частиц увеличилась вдвое?

17. На основании уравнений кинетической теории газов докажите, что отрицательных термодинамических температур в природе быть не может.

18. Молекулы газа распадаются на атомы (диссоциируют) при постоянной температуре. Как это отражается на давлении газа в закрытом сосуде?

19. При какой температуре средняя квадратическая скорость молекул азота N_2 равна 830 м/с?

20. Определите концентрацию молекул кислорода O_2 , если его давление равно 0,2 МПа, а средняя квадратическая скорость молекул — 700 м/с.

21. Каково давление азота N_2 , если средняя квадратическая скорость его молекул 500 м/с, а плотность 1,35 кг/м³?

22. Какова средняя квадратическая скорость молекул газа, если, имея массу 6 кг, он занимает объем 4,9 м³ при давлении $2 \cdot 10^5$ Па?

23. Определите среднюю кинетическую энергию молекулы газа при давлении 20 кПа. При указанном давлении концентрация молекул газа $3 \cdot 10^{25}$ м⁻³.

24. Определите среднюю кинетическую энергию молекулы одноатомного газа и концентрацию его молекул при температуре 290 К и давлении 0,8 МПа.

2.2. Основы термодинамики

Теоретические сведения

Количество теплоты

$$Q = cm(T_2 - T_1) = cm\Delta T, \quad (51)$$

где c — удельная теплоемкость; m — масса данного вещества; $\Delta T = (T_2 - T_1)$ — изменение температуры.

Работу A , связанную с изменением объема газа, определяют по формуле

$$A = p(V_2 - V_1) = p\Delta V, \quad (52)$$

где p — давление; $\Delta V = (V_2 - V_1)$ — изменение объема.

Условимся считать, что если работа совершается над системой (в частном случае простейшая система — идеальный газ), то выражение (52) записывают в виде

$$A = -p\Delta V. \quad (53)$$

Если же система сама совершает работу, то работа положительна, т.е. определяется выражением (52).

Количество теплоты и работу нужно считать мерой изменения *внутренней энергии системы* ΔU . Внутренняя энергия в термодинамике зависит от значения термодинамических параметров T и V (температуры и объема). Эта связь выражена *первым началом термодинамики*:

$$Q = \Delta U + p\Delta V, \quad (54)$$

$$\text{или } \Delta U = Q - A = U_2 - U_1, \quad (55)$$

где Q — подведенное к системе или отданное системой количество теплоты; ΔU — изменение внутренней энергии; A — работа внешних сил.

Если система принимает теплоту, то Q берут со знаком плюс, а если отдает, то со знаком минус. В последнем случае выражение (54) перепишем в виде:

$$-Q = \Delta U + A. \quad (56)$$

Периодические процессы, при которых работа совершается благодаря передаче теплоты, осуществляются в тепловых двигателях.

Работу, совершаемую машиной за один цикл, можно рассчитать по формуле:

$$A = Q_1 - Q_2, \quad (57)$$

где Q_1 — количество теплоты, полученной машиной от нагревателя; Q_2 — количество теплоты, переданной холодильнику.

Коэффициент полезного действия (КПД) идеальной машины

$$\eta = A/Q_1 = (Q_1 - Q_2)/Q_1 = (T_1 - T_2)/T_1, \quad (58)$$

где T_1 и T_2 — температуры нагревателя и холодильника.

Примеры решения задач

Задача 1. Два шарика равной массы (медный и алюминиевый) сброшены с высоты 1000 м. Температура какого шарика при ударе о землю увеличится больше и на сколько (ΔT)? Потери теплоты на трение о воздух не учитывать.

Дано: $m_1 = m_2 = m$, $c_1 = 380$ Дж/(кг · К), $c_2 = 880$ Дж/(кг · К), $h = 1000$ м.

Решение. При ударе о землю оба шарика совершат одну и ту же работу $A = mgh$, которая идет на нагревание шариков: $W = Q_1 = Q_2$.

По формуле (51) вычислим

$$Q_1 = c_1 m \Delta T' = mgh; \quad Q_2 = c_2 m \Delta T'' = mgh.$$

Отсюда

$$\Delta T' = gh/c_1; \quad \Delta T'' = gh/c_2;$$

$$\Delta T' = \frac{9800}{380} \approx 26 \text{ К}; \quad \Delta T'' = \frac{9800}{880} \approx 11 \text{ К};$$

$$\Delta T = \Delta T' - \Delta T''; \quad \Delta T \approx 15 \text{ К},$$

т.е. температура медного шарика на 15 К больше, чем алюминиевого.

Задача 2. При нагревании газа его объем увеличился от 0,06 до 0,1 м³. Какую работу A совершил газ при расширении, если давление не изменилось ($p = 4 \cdot 10^5$ Па)?

Дано: $V_1 = 0,06$ м³, $V_2 = 0,1$ м³, $p = 4 \cdot 10^5$ Па.

Решение. Так как газ сам совершает работу, воспользуемся формулой (53):

$$A = p(V_2 - V_1) = p\Delta V,$$

$$A = 4 \cdot 10^5 \cdot (0,1 - 0,06) = 1,6 \cdot 10^4 \text{ Дж}.$$

Задача 3. При резком сжатии газа его температура повысилась, а внутренняя энергия изменилась на $2 \cdot 10^4$ Дж. Какую работу A совершает газ, если теплообмен со стенками цилиндра отсутствует?

Дано: $\Delta U = 2 \cdot 10^4$ Дж, $Q = 0$.

Решение. Воспользуемся формулой (55). Так как теплообмен со стенками цилиндра отсутствует, то $Q = 0$. Следовательно,

$$\Delta U = -A;$$

$$A = -2 \cdot 10^4 \text{ Дж (работа совершается над газом).}$$

Задача 4. Температура пара в нагревателе паровой турбины 300°C , в холодильнике 100°C . Определить теоретическое значение КПД паровой турбины (η).

Дано: $T_1 = 573$ К, $T_2 = 373$ К.

Решение. Воспользуемся формулой (58):

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1};$$

$$\eta = \frac{573 - 373}{573} \approx 0,35 \text{ или } 35 \, \%.$$

Вопросы и задания

Теплота и работа. Внутренняя энергия тела

1. В производственной практике нагретые до высокой температуры металлические детали часто охлаждают в воде, минеральном масле или на воздухе. В какой среде охлаждение идет наиболее быстро и почему?

2. Почему горячий чай охлаждают, помешивая его ложкой? В опыте Джоуля аналогичное действие приводит к нагреванию жидкости.

3. Известно, что на больших высотах (800...1000 км) скорости молекул газов, входящих в состав атмосферного воздуха, достигают значений, соответствующих температуре примерно 2000°C . Почему не плавятся оболочки искусственных спутников Земли, летающих на такой высоте?

4. Нормальная температура тела человека примерно 37°C . Почему человеку нехолодно при температуре окружающей среды 25°C и очень жарко при 37°C ?

5. Мука из-под жерновов выходит горячей. Хлеб из печи тоже вынимают горячим. Чем вызывается в каждом из этих случаев увеличение внутренней энергии тела (муки, хлеба)?

6. Почему большая часть метеорных тел не достигает Земли?

7. По куску свинца несколько раз ударили молотком. Что при этом произошло? Выберите правильный ответ:

- а) увеличилась внутренняя энергия свинца и температура его повысилась;
- б) свинец нагрелся;
- в) свинцу сообщилось некоторое количество теплоты;
- г) молоток отдал теплоту.

8. Почему при быстром сжатии температура газа повышается? Выберите правильный ответ:

- а) увеличилась внутренняя энергия;
- б) газ нагрелся;
- в) газу сообщено некоторое количество теплоты;
- г) газ отдал теплоту.

9. Почему при обогревании пламенем сосуда с газом температура газа повышается? Выберите правильный ответ:

- а) увеличивается внутренняя энергия;
- б) газ нагревается;
- в) газу сообщается некоторое количество теплоты;
- г) газ отдает теплоту.

10. Почему кусок льда на горячей плите тает? Выберите правильный ответ:

- а) увеличивается внутренняя энергия;
- б) лед нагревается;
- в) льду сообщается некоторое количество теплоты;
- г) лед отдает теплоту.

11. После сильного шторма вода в море становится теплее. Почему?

12. Найдите удельную теплоемкость вещества, если на нагревание некоторого его количества массой 0,2 кг от температуры 12 до 16,4 °С потребовалось 300 Дж теплоты.

13. На рис. 3 приведены графики 1 и 2 изменения температур двух тел в зависимости от подводимого количества теплоты. Каковы их удельные теплоемкости, если масса каждого из них 2 кг?

14. Какую работу совершает газ за один цикл, изображенный на рис. 4?

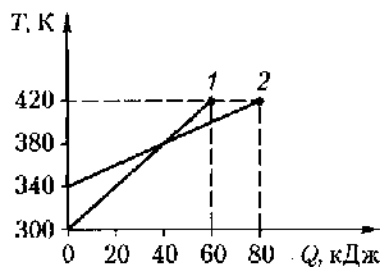


Рис. 3

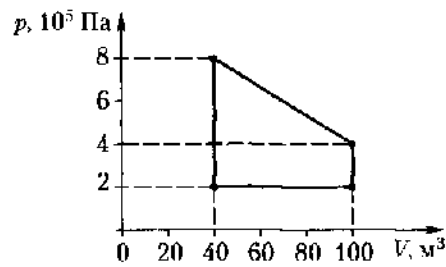


Рис. 4

15. Какой высоты должен быть водопад, чтобы падающая вода нагревалась на 1 К?

16. При охлаждении газа его объем уменьшился от 16 до 12 л. Какую работу совершили внешние силы, если давление газа оставалось равным 10^5 Па?

17. При нагревании газа объем его увеличился на $0,02$ м³. Какую работу совершил газ при расширении, если давление его оставалось 10 МПа?

18. Внутренняя энергия газа, заключенного в баллоне при температуре 0°C , равна 7400 Дж. После нагревания газа до комнатной температуры его энергия стала равной $13\,400$ Дж. Насколько увеличилась внутренняя энергия газа? Как называют это изменение энергии?

19. Молекулы какого газа при данной температуре обладают большей внутренней энергией – идеального или реального?

Первое начало термодинамики

20. Можно ли осуществить такой замкнутый процесс (цикл), при котором все подведенное к рабочему телу количество теплоты превращалось бы в механическую работу?

21. Один моль идеального газа расширяется в цилиндре с поршнем при постоянной температуре и при этом к нему подводится 500 Дж теплоты. Определите работу расширения газа.

22. В цилиндре с нетеплопроводными стенками происходит быстрое расширение идеального газа. Определите изменение внутренней энергии газа, если он совершил работу 350 кДж.

23. В закрытом баллоне находится газ. При охлаждении его внутренняя энергия уменьшилась на 525 Дж. Какое количество теплоты отдал газ? Совершает ли газ работу?

24. Насколько изменился объем газа, который, расширяясь, совершил работу 57 кДж при постоянном давлении $0,98$ МПа?

25. Воздух нагрели на 30 К при постоянном давлении 10^5 Па. Объем его при этом изменился от $1,5$ до $1,67$ м³. Определите работу, совершенную воздухом при расширении, и приращение внутренней энергии.

26. Водород массой $0,4$ кг нагрели при постоянном давлении на 20 К. Вычислить работу против внешних сил; количество теплоты, полученное газом; изменение внутренней энергии.

Тепловые двигатели

27. Правильны ли следующие утверждения:

а) уравнение теплового баланса выражает закон сохранения энергии для тепловых процессов;

б) уравнение теплового баланса выражает закон сохранения количества теплоты?

28. Исследуйте, как надо правильно поступить, чтобы быстрее остудить горячий чай: сразу бросить в него сахар и затем подождать 5 мин или, выждав 5 мин, положить сахар и растворить его. Растворение сахара сопровождается поглощением теплоты. Какова физическая сущность этого явления?

29. Определите, в каком случае кастрюля с горячей водой быстрее остынет: если поставить ее на лед или если положить на крышку кастрюли лед. Пронаблюдайте и объясните это явление.

30. Почему поршни двигателя внутреннего сгорания изготавливают из легких алюминиевых сплавов? Почему между цилиндром и поршнем двигателя внутреннего сгорания оставляют зазор?

31. В какой момент газ в цилиндре двигателя обладает большей внутренней энергией: после проскакивания искры или к концу рабочего хода?

32. Зимой для охлаждения двигателя внутреннего сгорания используют не воду, а особый состав, называемый антифризом (55 % этилена и 45 % воды), который замерзает при более низкой температуре, чем вода. Чем вызвана такая замена?

33. Температура в нагревателе паровой турбины 565°C , в холодильнике 30°C . Определите максимальное значение КПД паровой турбины.

34. В идеальной тепловой машине за счет каждого килоджоуля энергии, получаемой от нагревателя, совершается работа 300 Дж. Определите КПД и температуру нагревателя, если температура холодильника 280 К.

35. В идеальной тепловой машине за счет каждого килоджоуля энергии, получаемой от нагревателя, совершается работа 400 Дж. Определите КПД машины и температуру нагревателя, если температура холодильника 300 К.

36. Температура нагревателя идеальной тепловой машины 117°C , а холодильника 27°C . Количество теплоты, полученное машиной от нагревателя за 1 с, равно 60 кДж. Вычислите КПД и мощность машины.

37. Автомобиль «Волга» расходует 13 л бензина на 100 км пути. Определите развиваемую автомобилем мощность, если скорость его 90 км/ч, а КПД двигателя 0,24.

38. Определите КПД двигателя, если при расходе бензина 2 л/ч двигатель развивает мощность 5,0 кВт.

39. Чему равно изменение внутренней энергии рабочего тела тепловой машины, которая работает по замкнутому круговому циклу?

40. Назовите тепловой двигатель, который работает, не совершая циклический процесс.

41. Какой процесс изменения состояния газа играет основную роль «двигателя» ракеты? Почему?

42. Сравните работы, выполненные идеальным газом в процессах I и II (рис. 5).

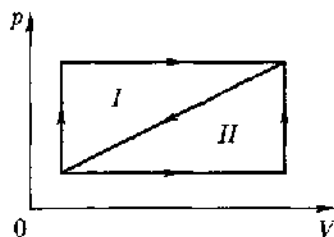


Рис. 5

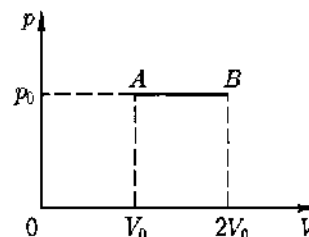


Рис. 6

43. Над одним молем идеального одноатомного газа совершают процесс $A \rightarrow B$ (рис. 6). Вычислите КПД этого процесса.

44. Почему для нагревания одного моля газа на 1°C при постоянном давлении требуется большее количество теплоты, чем при нагревании того же количества газа на 1°C при постоянном объеме?

45. При выпуске сжатого газа из баллона вентиль покрывается росой. Какой процесс происходит? Запишите первый закон термодинамики для этого случая.

2.3. Свойства газов, паров, жидкостей и твердых тел

Теоретические сведения

Состояние идеального газа характеризуют давлением p , объемом V , температурой T и массой m . Параметры связаны между собой уравнением Клапейрона – Менделеева:

$$pV = (m/M)RT, \quad (59)$$

где M – молярная масса газа.

Если масса m постоянна, то различные процессы, происходящие в газе, можно описать законами, следующими из уравнения состояния:

изотермический процесс – законом Бойля – Мариотта: при постоянной температуре произведение давления на объем есть величина постоянная ($m = \text{const}$):

$$pV = \text{const}; \quad (60)$$

$$\text{или } p_1V_1 = p_2V_2; \quad (61)$$

изобарный процесс – законом Гей-Люссака: при постоянном давлении и неизменной массе газа температурный коэффициент объемного расширения β для всех газов одинаков и равен $(1/273) \text{ K}^{-1}$:

$$V = V_0(1 + \beta t), \quad (62)$$

где V_0 — объем газа при $t_0 = 0^\circ\text{C}$; t — температура по Цельсию. В другом виде этот закон можно записать так:

$$V/V_0 = T/T_0; \quad (63)$$

изохорный процесс — *законом Шарля*: при постоянном объеме и неизменной массе коэффициент линейного расширения α для всех газов одинаков и равен $(1/273) \text{ K}^{-1}$.

$$p = p_0(1 + \alpha t), \quad (64)$$

где p_0 — давление при $t_0 = 0^\circ\text{C}$. Приведем другую запись этого закона:

$$p/p_0 = T/T_0. \quad (65)$$

Процесс превращения жидкости в пар называют *парообразованием*. На превращение в пар жидкости массой m требуется затратить некоторое количество теплоты:

$$Q = rm, \quad (66)$$

где r — удельная теплота парообразования.

Пар, находящийся в динамическом равновесии с жидкостью, называют *насыщенным*. Температуру t_p , при которой водяной пар становится насыщенным, называют *точкой росы*.

Давление, которое производил бы водяной пар, если бы другие газы отсутствовали, называют его *парциальным давлением*.

Отношение парциального давления p водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, к давлению p_n насыщенного пара при той же температуре, выраженное в процентах, называют *относительной влажностью воздуха*:

$$\varphi = (p/p_n) 100 \%. \quad (67)$$

Сила поверхностного натяжения жидкости

$$F = \sigma l, \quad (68)$$

где σ — коэффициент, называемый *поверхностным натяжением*, Н/м; l — длина границы поверхностного слоя.

Переход вещества из твердого состояния в жидкое называют *плавлением*, а обратный процесс — *кристаллизацией*.

Количество поглощаемой или выделяющейся теплоты при этих процессах

$$Q = \lambda m, \quad (69)$$

где λ — удельная теплота плавления, Дж/кг.

При нагревании жидкостей и твердых тел изменяется их объем. *Относительное изменение объема*

$$(V - V_0)/V_0 = \Delta V/V_0 = \beta \Delta t = \beta(t - t_0), \quad (70)$$

где V_0 и t_0 — начальные, а V и t — конечные значения объема и температуры тела. Откуда

$$\Delta V = V_0 \beta \Delta t, \quad (71)$$

где β — температурный коэффициент объемного расширения.

Для твердых тел вводят понятие линейного расширения:

$$(l - l_0)/l_0 = \Delta l/l_0 = \alpha(t - t_0) = \alpha \Delta t; \quad (72)$$

$$l = l_0(1 + \alpha \Delta t), \quad (73)$$

где α — температурный коэффициент линейного расширения; l и l_0 , t и t_0 — соответственно конечные и начальные значения линейных размеров тела и температуры. Известно, что

$$\beta \approx 3\alpha. \quad (74)$$

Примеры решения задач

Задача 1. Какое количество вещества газа ν находится в баллоне вместимостью 10 м^3 при давлении $1,028 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и температуре 17°C ?

Дано: $V = 10 \text{ м}^3$, $p = 1,028 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$, $T = 290 \text{ К}$.

Решение. Состояние идеальных газов описывается уравнением Менделеева — Клапейрона (59): $pV = \nu RT$.

Из него следует

$$\nu = pV/(RT);$$

$$\nu = \frac{1,028 \cdot 10^5 \cdot 10}{8,31 \cdot 290} = 0,4 \text{ кмоль}.$$

Задача 2. Сосуд вместимостью 12 м^3 , содержащий газ под давлением $4 \cdot 10^5 \text{ Па}$, соединяют с пустым сосудом вместимостью 3 м^3 . Найти конечное значение давления p_2 . Процесс изотермический.

Дано: $V_1 = 12 \text{ м}^3$, $p_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $V_2 = 3 \text{ м}^3$.

Решение. Воздух из первого сосуда займет весь объем. По закону Бойля — Мариотта (61)

$$p_2/p_1 = V_1/(V_1 + V_2).$$

Отсюда

$$p_2 = p_1 V_1/(V_1 + V_2);$$

$$p_2 = \frac{4 \cdot 10^5 \cdot 12}{12 + 3} = 3,2 \cdot 10^5 \text{ Па} = 320 \text{ кПа}.$$

Задача 3. Какую энергию Q необходимо затратить для превращения 5 кг воды, взятой с температурой 10°C , в пар с температурой 100°C ?

Дано: $m = 5 \text{ кг}$, $t_1 = 10^\circ \text{C}$, $t_2 = 100^\circ \text{C}$.

Решение. На нагревание воды до кипения затрачено теплоты

$$Q_1 = cm(t_2 - t_1).$$

Для превращения воды в пар потребовалось затратить теплоты [см. формулу (66)]

$$Q_2 = rm.$$

По закону сохранения энергии

$$Q = Q_1 + Q_2 = cm(t_2 - t_1) + rm;$$

$$Q = 4,2 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 90 + 5 \cdot 2,3 \cdot 10^6 = (1,9 \cdot 10^6 + 11,5 \cdot 10^6) \text{ Дж} = \\ = 13,4 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 13,4 \text{ МДж}.$$

Задача 4. Найти относительную влажность воздуха φ в комнате при температуре 18°C , если точка росы 10°C ?

Дано: $t_p = 10^\circ\text{C}$, $t = 18^\circ\text{C}$.

Решение. По точке росы (см. прил. 6) находим

$$p \approx 1,22 \cdot 10^3 \text{ Па}.$$

Для заданного t находим $p_n = 2,06 \cdot 10^3 \text{ Па}$. Тогда по формуле (67) определяем

$$\varphi = (p/p_n) 100 \%;$$

$$\varphi = \frac{1,22 \cdot 10^3}{2,06 \cdot 10^3} 100 \% = 59 \%.$$

Задача 5. Какую работу A надо совершить, чтобы надуть мыльный пузырь радиусом 4 см ? Для мыльного раствора $\sigma = 0,04 \text{ Н/м}$.

Дано: $r = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, $\sigma = 0,04 \text{ Н/м}$.

Решение. Работа совершается против сил поверхностного натяжения, т.е. положительна. Согласно формуле (68), для одной поверхности получим

$$F = \sigma l = 2\pi r \sigma.$$

Так как мыльный пузырь имеет две поверхности, то

$$A = 2F \cdot 2r = 8\sigma\pi r^2;$$

$$A = 8 \cdot 0,04 \cdot 3,14 \cdot 0,04^2 = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = 1,6 \text{ мДж}.$$

Задача 6. В сосуд налили 10 кг воды при температуре 10°C и положили кусок льда, охлажденного до -50°C . Температура образовавшейся массы льда оказалась равной -4°C . Какое количество льда m_2 было положено в сосуд?

Дано: $c_1 = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$, $c_2 = 2,1 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$, $m_1 = 10 \text{ кг}$, $t_1 = 10^\circ\text{C}$, $t_2 = -50^\circ\text{C}$, $\theta = -4^\circ\text{C}$, $\lambda = 3,36 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$, $t_0 = 0^\circ\text{C}$.

Решение. Вода, охлаждаясь от температуры $t_1 = 10^\circ\text{C}$ до $t_0 = 0^\circ\text{C}$, отдает льду теплоту

$$Q_1 = c_1 m_1 (t_1 - t_0).$$

На превращение воды в лед расходуется количество теплоты $Q_2 = \lambda m_1$. Образовавшийся при этом лед охлаждается до $\theta = -4^\circ\text{C}$, выделяя $Q_3 = c_2 m_1(t_0 - \theta)$ теплоты. За счет выделяемой во всех этих процессах теплоты лед нагревается от температуры $t_2 = -50^\circ\text{C}$ до $\theta = -4^\circ\text{C}$, поглощая количество теплоты

$$Q_4 = c_2 m_2(\theta - t_2).$$

Составим уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4;$$

$$c_1 m_1(t_1 - t_0) + \lambda m_1 + c_2 m_1(t_0 - \theta) = c_2 m_2(\theta - t_2).$$

Отсюда

$$m_2 = \frac{c_1 m_1(t_1 - t_0) + \lambda m_1 + c_2 m_1(t_0 - \theta)}{c_2(\theta - t_2)};$$

$$m_2 = \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10 + 3,36 \cdot 10^5 \cdot 10 + 2,1 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 4}{2,1 \cdot 10^3 \cdot 46} = 40 \text{ кг.}$$

Задача 7. Платиновая проволока длиной 1,5 м имеет температуру 0°C . При пропускании электрического тока она раскалилась и удлинилась на 15 мм. До какой температуры t_1 была нагрета проволока? ($\alpha = 9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$).

Д а н о: $l_0 = 1,5 \text{ м}$, $t_0 = 0^\circ\text{C}$, $\Delta l = 0,015 \text{ м}$, $\alpha = 9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Р е ш е н и е. Воспользуемся формулой (73):

$$l = l_0(1 + \alpha \Delta T).$$

Здесь $l = l_0 + \Delta l$, следовательно,

$$l_0 + \Delta l = l_0(1 + \alpha \Delta T) = l_0 + l_0 \alpha \Delta T.$$

По $\Delta l = \Delta T = (t_1 - t_0)$.

Так как $t_0 = 0^\circ\text{C}$, то $\Delta t = t_1$ и

$$\Delta t = (l_0 + \Delta l - l_0)/(l_0 \alpha);$$

$$t_1 = \Delta t = \frac{0,015}{1,5 \cdot 9 \cdot 10^{-6}} \approx 1100^\circ\text{C}.$$

Вопросы и задания

Уравнение Клапейрона — Менделеева. Изопроцессы в газах

1. Некоторая масса идеального газа сначала изохорически нагревается. После изотермического расширения и последующего изобарического охлаждения она возвращается в начальное состояние. Изобразите эти процессы в координатах V, T .

2. Накачивая камеру футбольного (волейбольного) мяча, каждый раз «посылают» в нее порцию воздуха. Почему через некоторое время камера перестает увеличиваться? Можно ли для определения давления в ней применять закон Бойля — Мариотта? Закройте пальцем трубку велосипедного насоса, надавите на поршень и отпустите его. Что Вы наблюдаете? Почему? Какой процесс происходит при накачивании насосом воздуха в велосипедную камеру (футбольную, волейбольную)? Сделайте выводы из проведенных наблюдений.

3. Теплый воздух поднимается вверх. Почему в тропосфере внизу теплее, чем наверху?

4. Как объяснить накаливание метеорных тел, влетающих в атмосферу Земли?

5. Почему от горящих поленьев с треском отскакивают искры?

6. Почему проколотый мячик не отскакивает при ударе о пол?

7. Почему батареи парового и водяного отопления помещают у пола, а не у потолка?

8. Где большая вероятность возникновения весенних утренних заморозков — на возвышенности или в долине?

9. Какой объем занимает кислород массой 10 г при давлении 99,7 кПа и температуре 293 К?

10. На диаграмме (рис. 7) точками *A* и *B* отмечены два состояния газа одной и той же массы. Какая из этих точек соответствует большему объему?

11. Два различных состояния газа одной и той же массы изображены на диаграмме (рис. 8) точками *A* и *B*. Какая из этих точек соответствует большему давлению?

12. Плотность некоторого газа при температуре 283 К и давлении 0,2 МПа равна 0,34 кг/м³. Чему равна молярная масса этого газа?

13. Определите плотность водорода при температуре 323 К и давлении $0,96 \cdot 10^5$ Па.

14. Азот массой 5 г, находящийся в закрытом сосуде вместимостью 4 м³ при температуре 293 К, нагревают до температуры 313 К. Вычислите давление газа до и после нагревания.

15. На рис. 9 приведена диаграмма процесса. Построить диаграмму в координатах p, T , если $3-1$ — изотерма.

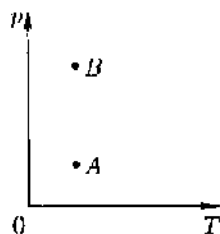


Рис. 7

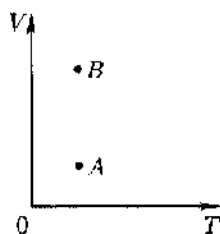


Рис. 8

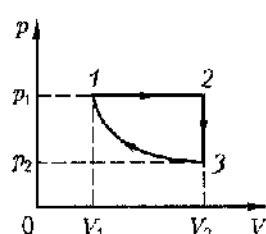


Рис. 9

16. В баллоне находится газ при температуре 15°C . Во сколько раз уменьшится давление газа, если 40 % его выйдет из баллона, а температура при этом понизится на 8°C ?

17. Каково давление сжатого воздуха, находящегося в баллоне вместимостью 20 л при температуре 285 К, если масса этого воздуха 2 кг? Молярную массу воздуха считать равной 0,029 кг/моль.

18. С некоторым количеством газа совершен круговой процесс (цикл $1-2-3-1$ на рис. 10). Изобразить тот же процесс в осях p , V . Указать, на каких стадиях процесса газ получает, а на каких отдает теплоту.

19. По плотности воздуха при нормальных условиях ($1,29 \text{ кг/м}^3$) определите его молярную массу.

20. В баллоне вместимостью 10 м^3 находится водород под давлением 2,03 МПа. Какой объем необходим для хранения такого же количества водорода при атмосферном давлении и той же температуре?

21. Воздух находится под давлением 50,65 кПа. Как изменится его объем, если давление станет равным 0,2026 МПа? Температура постоянная.

22. С помощью каких изопроцессов можно перейти из точки 1 в точку 2 (рис. 11)? Точки изображают два различных состояния газа одной и той же массы.

23. На диаграмме (рис. 12) представлен замкнутый процесс $1-2-3-4-1$. Изобразить указанный процесс в осях V , T и p , T .

24. Резиновую лодку накачали ранним утром, когда температура окружающего воздуха была 17°C . Насколько возрастет давление воздуха в лодке (в процентах), если днем под лучами солнца воздух прогреется до 37°C ?

25. Какова плотность сжатого воздуха при температуре 0°C в камере шины автомобиля, если она находится под давлением 0,17 МПа (избыточным по сравнению атмосферным)?

26. Стальной баллон содержит сжатый газ. При температуре 283 К давление составляет 0,26 МПа, а при температуре 305 К оно

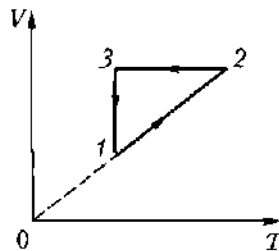


Рис. 10



Рис. 11

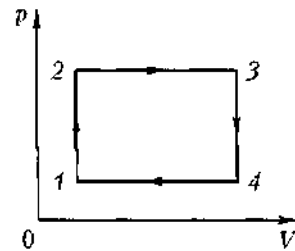


Рис. 12

равно 0,28 МПа. Вычислите по этим данным температурный коэффициент линейного расширения.

27. На рис. 12 приведен график изменения состояния идеального газа. Указать, на каких стадиях процесса газ получал и на каких отдавал теплоту.

28. Начальное состояние газа характеризуется параметрами p_1 и V_1 . При каком расширении до объема V_2 (изотермическом или изобарном) газ совершает большую работу.

29. Давление воздуха внутри плотно закупоренной бутылки при температуре 280 К равно 100 кПа. При нагревании бутылки пробка вылетела. До какой температуры нагрели бутылку, если известно, что пробка вылетела при давлении воздуха в бутылке 130 кПа?

30. В первом случае газ сжимался до определенного объема адиабатно, а во втором — изотермически. В каком из этих процессов изменение давления окажется большим?

31. Почему в качестве рабочего тела в тепловых двигателях используют только газы?

32. При накачивании резиновой камеры воздухом одновременно увеличиваются его объем и давление. Не противоречит ли это закону Бойля — Мариотта?

Парообразование. Влажность воздуха

33. Что произойдет с ненасыщенным паром, если его изотермически сжимать?

34. В цилиндре под поршнем насыщенный пар. Что произойдет с паром:

- а) если его объем изотермически увеличить;
- б) если его изохорически охладить?

35. Одинаковое ли количество молекул испарится с поверхности жидкости в сосуде:

- а) если сосуд закрыт;
- б) если сосуд открыт?

В обоих случаях температура жидкости поддерживается одинаковой.

36. Ненасыщенный пар охлаждают до появления росы: один раз изобарически, второй раз — изохорически. В каком случае роса появится при большей температуре? Почему?

37. Изолированный сосуд с водой и газом равномерно охлаждают. Поскольку давление газа над водой уменьшается, то вода должна закипеть. Действительно ли вода закипит?

38. Зависит ли скорость испарения жидкости от плотности ее пара в воздухе, относительной влажности? Что произойдет с относительной влажностью, когда давление насыщенного пара будет увеличиваться быстрее, чем плотность пара в воздухе?

39. Может ли относительная влажность воздуха равняться 100 %? Как в этом убедиться?

40. Может ли кипеть вода в кастрюле, плавающей в другой кастрюле с кипящей водой? Дать объяснение.

41. Почему после купания даже в самую сильную жару человек ощущает прохладу?

42. Почему вода гасит огонь? Что быстрее потушит пламя — кипяток или холодная вода?

43. Углекислотные огнетушители заряжают сжиженным углекислым газом. Почему при работе огнетушителя из него выходит плотное беловатое облако («углекислый снег»), а не жидкость? На чем основано тушение огня таким огнетушителем?

44. Почему нельзя пользоваться открытым огнем вблизи пустых емкостей, где хранились легковоспламеняющиеся вещества (бензин, ацетон, спирт, эфир и т. д.)?

45. В сосуд, содержащий 2,8 л воды при температуре 20 °С, бросают кусок стали массой 3 кг, нагретый до температуры 460 °С. Вода нагревается до температуры 60 °С, а часть ее превращается в пар. Найти массу воды, превратившейся в пар. Теплоемкостью сосуда пренебречь.

46. Колбу с водой массой 500 г при температуре 10 °С нагревают на спиртовке с КПД = 35 %. Через какое время вода закипит, если за 1 мин сгорает 2 г спирта? Теплоемкостью колбы пренебречь.

47. В сосуд, содержащий 1,5 кг воды при температуре 15 °С, впускают 200 г водяного пара с температурой 100 °С. Какая общая температура установится после конденсации пара?

48. Почему в осеннее время образуется по утрам туман? Почему туман рассеивается с первыми лучами солнца, что происходит при этом с мельчайшими капельками воды, образующими туман?

49. За высоко летящим реактивным самолетом иногда образуется облачный след. Почему?

50. Почему стекло покрывается тонким слоем влаги, если на него подышать?

51. Почему в зимнее время оконные стекла «потеют», если в комнате много людей?

52. Врачи для исследования горла или зубов иногда вводят в рот пациента зеркальце. При этом зеркальце предварительно нагревают несколько выше 37 °С. Зачем?

53. Когда стакан с холодной водой вносят в теплую комнату, он покрывается снаружи каплями воды. Почему? Почему эти капли через некоторое время исчезают?

54. Верно ли, что ласточки, летающие низко над землей, предвещают приближение дождя?

55. Относительная влажность воздуха 80 %, а температура 17 °С. Какова абсолютная влажность воздуха?

56. Влажный термометр психрометра показывает 10°C , а сухой 14°C . Вычислите относительную влажность и давление насыщенного водяного пара (φ и p_0).

57. При температуре 20°C относительная влажность воздуха 60 %. Сколько воды в виде росы выделится из каждого кубического метра воздуха, если температура понизится до 8°C ?

58. Относительная влажность в комнате при температуре 16°C составляет 65 %. Как она изменится при понижении температуры воздуха на 4 К, если давление водяного пара останется прежним?

59. Проведите наблюдения и объясните, почему в открытую форточку нагретой комнаты в морозный день как бы валит густой туман. Почему зимой лед образуется только на внутренних сторонах оконных стекол? Сделайте обобщающие выводы.

60. Убедитесь, что поздней осенью на улице после дождя относительно долго не высыхают лужи. Какова в этом случае влажность воздуха? Может ли относительная влажность воздуха быть больше 100 %? Могут ли показания влажного термометра в психрометре быть больше, чем показания сухого? При каких условиях показания сухого и влажного термометров совпадут?

61. Установите, проведя соответствующие наблюдения, какие факторы влияют на то, что вблизи лесопосадок (даже в засушливую погоду) грунт всегда влажнее, чем в открытом поле. Способ исследования придумайте сами. Какую закономерность Вы обнаружили?

62. Установите, с какой целью в жилых и производственных помещениях устанавливают кондиционеры воздуха. Каков принцип их работы?

Поверхностное натяжение жидкостей

63. Существует ли в твердых телах, как у жидкостей, поверхностное натяжение?

64. Поверхностный слой жидкости очень похож на растянутую резиновую пленку. Действительно ли сходство между ними играет существенную роль? Можно ли, в частности, к поверхностному слою жидкости применить закон Гука?

65. Какова природа сил поверхностного натяжения жидкости? Почему эти силы не зависят от степени растяжения поверхностного слоя жидкости?

66. Почему брызги, которые разлетаются при падении массивных тел в воду, приобретают сферическую форму?

67. Почему алюминий нельзя паять обыкновенным (оловянным) припоем?

68. Объясните сущность явления: с помощью чернильной ручки можно легко написать текст на плотной бумаге, трудно — на промокальной и невозможно — на промасленной?

69. Почему шелковый платок не так хорошо вытирает пот, как полотняный?

70. Будет ли портиться зерно, если его ссыпать на сухой укатанный ток под навес?

71. Положите в воду кусок меда. Из него во всех направлениях начнут выходить пузыри. Почему?

72. Какой грунт сохнет после дождя быстрее — песчаный или глинистый? Почему?

73. При возведении построек на кирпичный фундамент укладывают слой рубероида, т.е. толстой бумаги, пропитанной каменноугольной смолой. В противном случае помещение легко может оказаться сырым. Почему?

74. Можно ли в состоянии невесомости пользоваться обыкновенной авторучкой?

75. Рамка, охватывающая поверхность площадью 40 см^2 , затянута мыльной пленкой. Насколько уменьшится энергия пленки при сокращении ее площади вдвое? Температура постоянна.

76. Какую работу против сил поверхностного натяжения надо совершить, чтобы увеличить вдвое объем мыльного пузыря радиусом 1 см ? Коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора принять равным $0,043\text{ Н/м}$.

77. Насколько давление воздуха внутри мыльного пузыря радиусом 4 см превышает атмосферное, если для мыльного раствора коэффициент поверхностного натяжения равен $0,04\text{ Н/м}$?

78. Сделайте из кусочка пластилина шарик диаметром $2\ldots 3\text{ мм}$. Осторожно, при помощи проволочной петли положите его на поверхность воды. Рассмотрите форму поверхности воды около шарика. Какие силы действуют на шарик, находящийся на поверхности воды? Почему шарик удерживается на поверхности воды? Погрузите шарик в воду. Почему он тонет?

79. Опустите проволочную петлю в стакан с водой, а затем осторожно выньте из воды. В петле образовалась водяная пленка. Осторожно изменяйте площадь поверхности пленки. Для этого раздвигайте и сближайте концы проволочной петли. Какая сила удерживает воду в петле?

80. Наберите в пипетку воды. Слегка нажимайте на резиновый баллончик, при этом образуются капли. Какова их форма? Какие силы действуют на каплю воды? Как они изменяются в процессе роста капли? Почему капля воды отрывается от пипетки? Какие силы действуют на каплю во время ее падения? Силой сопротивления воздуха и архимедовой силой можно пренебречь.

81. Исследуйте зависимость поверхностного натяжения жидкости от температуры и природы граничащих сред. Сделайте из кусочка пластилина шарик диаметром $2\ldots 3\text{ мм}$. Положите его при помощи проволочной петли сначала на поверхность холодной воды, затем горячей. Сравните результаты опытов и объясните их. Зави-

сит ли поверхностное натяжение воды от температуры? По какому признаку можно судить об этом?

Плавление и кристаллизация. Тепловое расширение тел

82. Может ли поваренная соль быть жидкой?

83. Издавна существует египетская поговорка: «Все боится времени, только время боится пирамид». Эта поговорка подчеркивает долговечность древних египетских сооружений. Как Вы думаете, если пирамиды были бы возведены не в Египте, а на территории нашей страны, то была бы справедлива эта поговорка?

84. Из чайника налили чай в стакан с сахаром и в стакан без сахара. Почему чай в первом стакане холоднее?

85. Почему для очистки дорог и тротуаров от льда и снега нельзя использовать поваренную соль?

86. Почему весной после периода относительно теплой погоды вдруг наступает резкое похолодание? Осенью же, наоборот, после общего понижения температуры наступает потепление.

87. Почему при замерзании воды в водоемах сначала покрывается льдом их поверхность?

88. Почему нижняя поверхность льда в реке зимой не тает, хотя и находится в соприкосновении с водой?

89. Во время конькобежных соревнований, происходящих при сильном морозе, для лучшего восстановления гладкости льда на беговых дорожках практикуется поливка льда горячей водой. Почему менее пригодна в этом случае холодная вода?

90. Почему в холодильных камерах для охлаждения помещений по трубам циркулирует не чистая вода, а специальные растворы или жидкости?

91. Когда провода высоковольтных линий провисают больше: зимой или летом?

92. В калориметр, содержащий 250 г воды при температуре 15°C , брошено 20 г мокрого снега. Температура в калориметре понизилась на 5°C . Сколько воды было в снегу? Теплоемкостью калориметра пренебречь.

93. Для определения удельной теплоемкости меди был проделан следующий опыт. Медный шар массой 0,5 кг был нагрет до температуры 100°C . Затем его поместили в алюминиевый калориметр массой 0,05 кг, содержащий 0,4 кг воды при температуре 15°C . Установилась окончательная температура $23,4^{\circ}\text{C}$. Какое значение удельной теплоемкости меди получили при этом?

94. Сколько нужно затратить теплоты, чтобы 3 кг льда, взятого при температуре минус 20°C , расплавить и полученную воду нагреть до температуры 80°C ?

95. Сколько нужно затратить теплоты, чтобы расплавить 10 кг свинца при температуре 27°C ?

96. В стальной сосуд массой 300 г налили 1,5 л воды при температуре 17°C . В воду опустили комок снега массой 200 г. Когда снег растаял, установилась температура 7°C . Сколько воды содержалось в комке снега?

97. Сколько дров надо сжечь в печи с КПД = 40 %, чтобы получить из 200 кг снега с температурой минус 10°C воду с температурой 20°C ?

98. Латунная шкала ртутного барометра была выверена при температуре 0°C . При температуре 18°C барометр показывал давление $1,012 \cdot 10^5$ Па. Привести показания барометра к температуре 0°C . Температурные коэффициенты линейного расширения латуни и объемного расширения ртути взять из справочников.

99. Объемы, занимаемые латунным толкостенным сосудом и сплошным шаром при температуре 0°C , одинаковы и равны $0,1 \text{ м}^3$. Насколько изменятся объемы сосуда и шара при нагревании до температуры 20°C ?

100. Железнодорожная цистерна вместила 50 м^3 нефти. Какой оказалась разница в объеме нефти, если загружали ее в Баку при температуре 20°C , а разгружали в Архангельске при температуре 0°C ?

101. Алюминиевая пластина, площадь которой при температуре 0°C равна $0,2 \text{ м}^2$, нагрета до температуры 500°C . Вычислите площадь пластины после нагревания.

102. Длина газопровода Ставрополь — Москва при температуре 0°C равна 1300 км. Насколько удлинился бы газопровод при сезонном изменении температуры воздуха от минус 38 до плюс 42°C , если бы стальные трубы газопровода не были уложены в землю?

103. Нефть хранится в баке, имеющем форму цилиндра высотой 8 м. Выльется ли нефть при повышении температуры от минус 5 до плюс 30°C , если уровень нефти вначале не доходил до верхнего края бака на $0,2 \text{ м}$?

104. Объем керосина при нагревании увеличился на $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$. Какое количество теплоты было при этом израсходовано?

105. Объем бетонной плиты при температуре 0°C составляет 2 м^3 . Насколько увеличится ее объем при повышении температуры до 30°C ? Температурный коэффициент линейного расширения бетона $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$.

106. Стальной лист прямоугольной формы площадью 2 м^2 при температуре 0°C нагрели до температуры 400°C . Насколько изменилась его площадь?

107. Длина алюминиевой линейки при температуре 0°C равна 79,5 см, а стальной линейки — 80 см. При какой температуре их длины стали бы одинаковыми?

108. Медная линейка при температуре 0°C имеет длину 1 м. Насколько изменится ее длина при повышении температуры до 35°C , при понижении температуры до минус 25°C ?

Глава 3 ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

3.1. Электрическое поле

Теоретические сведения

Сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов определяется законом Кулона:

$$F = |\vec{F}| = k \frac{|Q_1||Q_2|}{\epsilon r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|Q_1||Q_2|}{\epsilon r^2}, \quad (75)$$

где r — расстояние между телами, имеющими заряды Q_1 и Q_2 ; ϵ — *диэлектрическая проницаемость* вещества; ϵ_0 — *электрическая постоянная*, равная $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Взаимодействие между электрическими зарядами осуществляется посредством *электрического поля*, созданного самими зарядами.

Силовой характеристикой электрического поля является его *напряженность* $\vec{E}$ в данной точке:

$$\vec{E} = \vec{F}/Q, \quad (76)$$

где $\vec{F}$ — сила, действующая на электрический заряд Q , помещенный в данную точку поля.

Если поле создается не одним, а многими точечными зарядами, то напряженность поля в каждой точке равна векторной сумме напряженностей полей, создаваемых каждым из зарядов в отдельности:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n. \quad (77)$$

Модуль напряженности электрического поля, созданного точечным зарядом Q на расстоянии r от заряда, вычисляется по формуле

$$E = |\vec{E}| = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}. \quad (78)$$

Модуль напряженности однородного электрического поля, созданного одной равномерно заряженной плоскостью площадью S , вычисляют по формуле

$$E = Q/(2\epsilon\epsilon_0 S), \quad (79)$$

где Q — заряд плоскости.

Так как

$$Q/S = \sigma, \quad (80)$$

где σ — поверхностная плотность заряда, формулу (80) можно представить в виде

$$E = \sigma / (2\varepsilon\varepsilon_0). \quad (81)$$

Работа A однородного электрического поля при перемещении в нем заряда Q не зависит от вида траектории:

$$A = QE l, \quad (82)$$

где l — проекция вектора перемещения заряда на направление поля.

Потенциал электрического поля в данной точке

$$\varphi = W/Q, \quad (83)$$

где W — потенциальная энергия пробного заряда Q , помещенного в данную точку поля.

Потенциал поля точечного заряда Q на расстоянии r от него

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \frac{Q}{r} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}. \quad (84)$$

Потенциал поля, созданного несколькими точечными зарядами, вычисляют по формуле (84), руководствуясь *принципом суперпозиции полей*, согласно которому потенциал поля нескольких точечных зарядов равен алгебраической сумме потенциалов, созданных отдельными зарядами.

Разность потенциалов и напряженность однородного электрического поля связаны соотношением

$$E = (\varphi_1 - \varphi_2)/l. \quad (85)$$

Работа, совершаемая силами поля по перемещению заряда из точки 1 в точку 2:

$$A = Q(\varphi_1 - \varphi_2) = Q\Delta\varphi. \quad (86)$$

Энергию электрического поля, локализованного между обкладками плоского конденсатора, определяют по любой из трех следующих формул:

$$W = Q\Delta\varphi/2; \quad (87)$$

$$W = C(\Delta\varphi)^2/2; \quad (88)$$

$$W = Q^2/(2C), \quad (89)$$

где Q — заряд; $\Delta\varphi$ — разность потенциалов; C — *электрическая емкость* (емкость).

Емкость проводника

$$C = Q/\varphi. \quad (90)$$

Емкость шара

$$C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r, \quad (91)$$

где r — радиус шара; ε — диэлектрическая проницаемость окружающей шар среды.

Емкость конденсатора измеряется отношением его заряда к разности потенциалов на обкладках:

$$C = Q/(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (92)$$

Емкость плоского конденсатора

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 S/d, \quad (93)$$

где S — площадь пластины; d — расстояние между пластинами; ε — диэлектрическая проницаемость вещества, заполняющего пространство между пластинами.

Емкость батареи конденсаторов при параллельном соединении равна сумме емкостей отдельных конденсаторов:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (94)$$

Величина, обратная общей емкости батареи последовательно соединенных конденсаторов, равна сумме величин, обратных емкостям отдельных конденсаторов:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}. \quad (95)$$

Примеры решения задач

Задача 1. С какой силой F_1 взаимодействуют два одинаковых маленьких шарика в вакууме, если один шарик имеет заряд плюс $6 \cdot 10^{-9}$ Кл, а второй — минус $3 \cdot 10^{-9}$ Кл? Расстояние между шариками 0,05 м. С какой силой F_2 будут взаимодействовать эти шарик, если их привести в соприкосновение, а затем удалить на прежнее расстояние?

Дано: $Q_1 = 6 \cdot 10^{-9}$ Кл, $Q_2 = -3 \cdot 10^{-9}$ Кл, $r_1 = 0,05$ м, $\varepsilon = 1$, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/(Н · м²).

Решение. Силу взаимодействия между шариками до их соприкосновения определяем по формуле (75):

$$F_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \frac{|Q_1||Q_2|}{r^2},$$

$$F_1 = \frac{6 \cdot 10^{-9} \cdot 3 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,05^2} = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ Н}.$$

Суммарный заряд

$$Q = Q_1 + Q_2;$$

$$Q = 6 \cdot 10^{-9} - 3 \cdot 10^{-9} = 3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}.$$

Этот заряд разделится поровну в момент удаления шариков на прежнее расстояние, поэтому заряд каждого шарика

$$Q'_1 = Q'_2 = Q/2 = 1,5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}.$$

Силу взаимодействия между шариками после их соприкосновения определим вновь по формуле (75):

$$F_2 = \frac{(1,5 \cdot 10^{-9})^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,05^2} = 0,83 \cdot 10^{-5} \text{ Н.}$$

Задача 2. Положительно заряженный шар A поднесли к металлическому шару B (рис. 13), однако взаимодействия шаров не наблюдалось. Как это объяснить?

Решение. Если бы шар B был не заряжен или заряжен отрицательно, то шары притянулись бы. Значит, шар B заряжен положительно. Пусть Q_1 — заряд шара A , а Q_2 — заряд шара B . Под влиянием поля шара A на шаре B индуцируются заряды плюс q и минус q , которые, взаимодействуя с Q_1 , обеспечивают равновесие шара B . Если считать все заряды условно точечными, то в соответствии с законом Кулона можно записать условие равновесия:

$$\frac{|Q_1||q|}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_1^2} = \frac{|Q_1|(|Q_2| + |q|)}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_2^2},$$

где r_1 и r_2 — средние расстояния между зарядом Q_1 и зарядами q и $(Q_2 + q)$, причем $r_2 = r_1 + d$, если d — диаметр шара.

Задача 3. Шарик A с зарядом плюс 10^{-8} Кл притягивает к себе с некоторой силой шарик B , находящийся на расстоянии $5 \cdot 10^{-2}$ м (рис. 14). Этому притяжению противодействуют, поднося к шарiku B с противоположной стороны шарик C с зарядом плюс $5 \cdot 10^{-8}$ Кл. На каком расстоянии r_{32} от шарика B нужно держать шарик C , чтобы шарик B остался в равновесии?

Дано: $Q_1 = 10^{-8}$ Кл, $r_{12} = 5 \cdot 10^{-2}$ м, $Q_3 = 5 \cdot 10^{-8}$ Кл, $\epsilon = 1$.

Решение. Для равновесия необходимо, чтобы шарик C притягивал к себе шарик B с такой же силой, с какой его притягивает шарик A :

$$F_{12} = F_{32}.$$

В соответствии с законом Кулона (75) условие равновесия можно записать так:

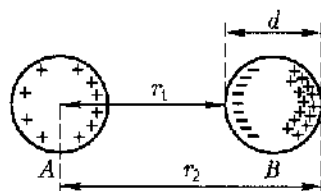


Рис. 13

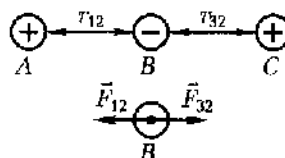


Рис. 14

$$\frac{|Q_1||Q_2|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_{12}^2} = \frac{|Q_2||Q_3|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_{32}^2},$$

откуда следует

$$r_{32} = \left(\frac{|Q_3|r_{12}^2}{|Q_1|} \right)^{1/2};$$

$$r_{32} = \left(\frac{5 \cdot 10^{-8} \cdot 25 \cdot 10^{-4}}{10^{-8}} \right)^{1/2} = 11,2 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Задача 4. Шарик массой $4 \cdot 10^{-5}$ кг, имеющий заряд 10^{-9} Кл, перемещается из бесконечности с начальной скоростью 0,1 м/с. На какое расстояние r может приблизиться шарик к точечному заряду, равному $1,33 \cdot 10^{-9}$ Кл?

Дано: $m = 4 \cdot 10^{-5}$ кг, $Q_1 = 10^{-9}$ Кл, $\varphi_0 = 0$, $v = 0,1$ м/с, $Q_2 = 1,33 \cdot 10^{-9}$ Кл.

Решение. В соответствии с законом сохранения и превращения энергии имеем

$$|\Delta W_k| = |\Delta W_n|,$$

где $|\Delta W_k| = m\Delta v^2/2$ — изменение кинетической энергии шарика.

Используя формулы (83) и (84), получим выражение для изменения его потенциальной энергии ΔW_n :

$$|\Delta W_n| = Q_1|\Delta\varphi| = Q_1 \frac{Q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}.$$

Тогда $m\Delta v^2/2 = Q_1 Q_2 / (4\pi\epsilon\epsilon_0 r)$, откуда

$$r = Q_1 Q_2 / (2\pi\epsilon\epsilon_0 m \Delta v^2);$$

$$r = \frac{10^{-9} \cdot 1,33 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 10^{-5} \cdot 0,01} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Задача 5. Конденсатор емкостью C_1 соединяют параллельно с конденсатором емкостью $C_2 = 2C_1$. До соединения параллельно напряжение на первом конденсаторе составляло U_1 , а на втором — $U_2 = 0,5U_1$. Какова разность потенциалов на зажимах полученной батареи?

Решение. До соединения заряд первого конденсатора $Q_1 = C_1 U_1$, после соединения $Q'_1 = C_1 U$. Соответственно $Q_2 = C_2 U_2$ — заряд второго конденсатора до соединения; $Q'_2 = C_2 U$ — после соединения. По закону сохранения заряда $Q_1 + Q_2 = Q'_1 + Q'_2$. Отсюда

$$U = \frac{C_1 U_1 + C_2 U_2}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 U_1 + 2C_1 \cdot 0,5U_1}{C_1 + 2C_1} = \frac{2C_1 U_1}{3C_1} = \frac{2}{3} U_1.$$

Вопросы и задания

Закон Кулона. Напряженность электрического поля

1. Как показать, что стеклянная палочка, наэлектризованная трением о шелк, имеет заряд другого знака, чем заряд эбонитовой палочки, наэлектризованной трением о шерсть?
2. Почему можно наэлектризовать трением эбонитовую палочку, держа ее в руке, а металлический стержень нельзя?
3. Почему становятся «дыбом» чистые волосы при расчесывании, особенно в сухую погоду?
4. Два одноименно заряженных металлических шара на некотором небольшом расстоянии друг от друга взаимодействуют с меньшей силой, чем если бы они были заряжены разноименно. Нет ли здесь противоречия с законом Кулона?
5. Могут ли линии напряженности электростатического поля пересекаться?
6. Охарактеризуйте поля зарядов Q_1 и Q_2 (рис. 15, а, б).
7. Проявляется ли в природе электромагнитное взаимодействие между ненаэлектризованными телами? Приведите примеры.
8. Обоснуйте, какую теорию — близкого действия или дальнего действия — выражает формула закона Кулона.
9. Чем отличаются картины силовых линий полей между двумя парами точечных зарядов $|Q|$ и минус $|Q|$ и $2|Q|$ и минус $2|Q|$? Нарисуйте их.
10. На двух одинаковых каплях воды находится по одному лишнему электрону, причем сила электрического отталкивания капель уравнивает силу их гравитационного притяжения. Каковы радиусы капель?
11. Во сколько раз отличаются силы кулоновского и гравитационного взаимодействия между двумя электронами, находящимися в вакууме?
12. С какой силой действуют два одноименных и равных заряда на третий заряд, помещенный на середине расстояния между ними?
13. Капля воды диаметром $1 \cdot 10^{-4}$ м находится во взвешенном состоянии в масле при напряженности электрического поля 10^4 Н/Кл. Напряженность однородного поля направлена вертикально вверх. Сколько элементарных зарядов находится в капле? Плотность масла $8 \cdot 10^2$ кг/м³.

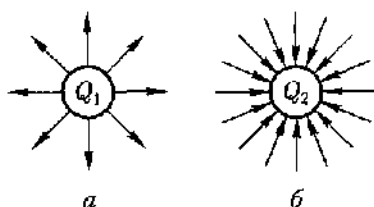


Рис. 15

14. Два одноименных заряда по $1 \cdot 10^{-7}$ Кл каждый расположены в вакууме на расстоянии 0,12 м друг от друга. Какова напряженность поля в точке, расположенной на пер-

пендикуляре, восстановленном из середины прямой, соединяющей заряды и удаленной от этой прямой на расстояние 0,16 м?

15. Наэлектризуйте палочку из оргстекла (например, линейку) сначала газетной бумагой, затем мехом. Воспользовавшись электроскопом, установите знак заряда на палочке в обоих случаях. Одинаков ли он?

16. Установите небольшую линейку на колбе обыкновенной электрической лампы и Вы получите простейший электроскоп. Приблизьте к концу линейки заряженную палочку (расческу). Что Вы наблюдаете? Почему электроскоп более чувствителен, если палочку подносить к концу линейки? Проверьте и объясните результаты опытов.

17. Какая из почв имеет большую диэлектрическую проницаемость: песчаная или чернозем, при условии, что их влажность одинакова? Способ исследования придумайте сами.

*Энергия электрического поля. Потенциал.
Разность потенциалов*

18. Можно ли изменить потенциал проводника, не касаясь его, не изменяя его заряда?

19. Почему, измеряя потенциал проводника, его соединяют с электрометром длинной проволокой?

20. Два заряженных металлических шара одинакового диаметра приводят в соприкосновение. Один из шаров полый. Поровну ли распределятся заряды на обоих шарах?

21. Двум металлическим шарам, имеющим разные диаметры, сообщили равные отрицательные заряды. Что произойдет, если шары соединить проводником?

22. Потенциал тел удобно измерять относительно Земли. Почему?

23. Небольшое заряженное тело переместилось по эквипотенциальной поверхности. Изменилась ли при этом его скорость? Действием других сил пренебречь.

24. Всегда ли увеличение угла отклонения стрелки электрометра означает пропорциональное ему увеличение потенциала?

25. Равномерно ли распределится по куску линейного проводника сообщенный ему электрический заряд, потенциал?

26. Металлический шарик диаметром $1 \cdot 10^{-2}$ м заряжен отрицательно до потенциала -300 В. Сколько электронов находится на поверхности шарика?

27. Три заряженные водяные капли радиусом $1 \cdot 10^{-3}$ м каждая сливаются в одну большую каплю. Вычислите потенциал большой капли, если заряд малой $1 \cdot 10^{-10}$ Кл.

28. Какой заряд сообщен шару, если шар заряжен до потенциала 100 В? Электрическая энергия, запасенная шаром, 0,02 Дж.



Рис. 16

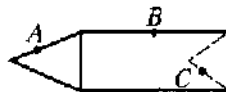


Рис. 17

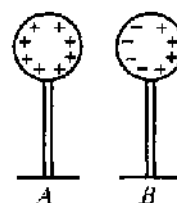


Рис. 18

29. Точка A находится на расстоянии 2 м, а точка B — на расстоянии 1 м от точечного заряда $Q = 1 \cdot 10^6$ Кл. Чему равна разность потенциалов точек A и B ?

30. Какой скоростью обладает электрон, пролетевший ускоряющую разность потенциалов 200 В?

31. Электрон вылетает из точки, потенциал которой равен 600 В, имея скорость $1 \cdot 10^6$ м/с, направленную вдоль линий напряженности поля. Определите потенциал точки, дойдя до которой электрон остановится.

32. Дана картина расположения эквипотенциальных линий электростатического поля (рис. 16). Известно, что $\varphi_1 > \varphi_2$. Изобразите линии напряженности электрического поля с указанием их направления. В какой области напряженность поля больше?

33. Маленьким металлическим шариком прикасаются поочередно к точкам A , B и C заряженного тела (рис. 17). После каждого соприкосновения приблизительно определяют заряд шарика, прикасаясь шариком к электроскопу. Будут ли листочки электроскопа в указанных случаях расходиться на одинаковые углы?

34. Шар B зарядился под действием индукции в электрическом поле шара A (рис. 18). Является ли при этом поверхность шара B эквипотенциальной?

Электрическая емкость проводника. Конденсаторы

35. Может ли иметь место разность потенциалов между двумя соприкасающимися проводниками, несущими одинаковый положительный заряд?

36. Может ли иметь электрическую энергию проводник, полный заряд которого равен нулю?

37. На каком основании Землю относят к сферическому конденсатору? Что представляет собой вторая обкладка такого «конденсатора»?

38. Сообщив проводнику заряд $1 \cdot 10^{-8}$ Кл, его потенциал увеличили на 100 В. Определите емкость проводника.

39. Площадь пластины плоского воздушного конденсатора 6×10^{-3} м². Заряд конденсатора $1 \cdot 10^{-9}$ Кл, разность потенциалов

между его пластинами 90 В. Определите расстояние между пластинами конденсатора.

40. Какой станет разность потенциалов в воздушном конденсаторе, если между его обкладками поместить прилегающую к ним фосфорную пластинку ($\epsilon = 5$). Первоначально конденсатор был заряжен до напряжения 200 В, а затем источник отключили.

41. Как нужно соединить два одинаковых конденсатора, чтобы емкость увеличилась (уменьшилась) в 2 раза?

42. Три конденсатора различной емкости соединены: а) параллельно; б) последовательно. Каковы разности потенциалов между обкладками отдельных конденсаторов в том и другом случаях? Каковы заряды конденсаторов?

43. Воздушный конденсатор емкостью C заполняют диэлектриком с диэлектрической постоянной ϵ . Конденсатор какой емкости надо дополнительно включить, чтобы такая батарея вновь имела емкость C ?

44. Напряжение 300 В подано на батарею из двух конденсаторов, соединенных последовательно. Какова разность потенциалов на обкладках каждого конденсатора, если емкость первого 2 пФ, второго 3 пФ?

45. Два конденсатора емкостями C_1 и $C_2 = 2C_1$ соединены последовательно. Каково соотношение энергии этих конденсаторов?

46. Внутри полый проводящей незаряженной сферы помещен шарик с зарядом плюс Q . Действует ли этот заряд на заряженный шарик, находящийся вне сферы? Если да, то с какой силой?

47. Два одинаковых по модулю заряда находятся на некотором расстоянии друг от друга. В каком случае напряженность поля в точке, лежащей на середине расстояния между ними, больше: если эти заряды одноименны или разноименны?

48. Чему равны напряженность поля и потенциал внутри заряженного шарового проводника?

49. Почему из двух конденсаторов одинаковой емкости и с одинаковыми диэлектриками тот, который рассчитан на более высокое напряжение, имеет большие размеры?

50. Что произойдет с разностью потенциалов на пластинах заряженного конденсатора, если расстояние между ними уменьшить?

51. Два конденсатора разной емкости соединены параллельно. Какой из них обладает большей энергией?

52. На конденсаторе указывается рабочее напряжение, а иногда и напряжение, под которым испытан конденсатор. Что означают значения этих напряжений? Почему нельзя превышать эти напряжения при эксплуатации конденсатора?

53. Зная емкость и рабочее напряжение конденсатора постоянной емкости (они указаны на корпусе), найдите номинальное значение энергии, которую может иметь конденсатор. Определите емкость батареи, если три таких конденсатора соединить сначала последовательно, а затем параллельно.

3.2. Постоянный ток

Теоретические сведения

Сила тока I — отношение количества электричества ΔQ , проходящего через поперечное сечение проводника, ко времени Δt :

$$I = \Delta Q / \Delta t.$$

Сила тока в проводнике определяется по *закону Ома для участка цепи*:

$$I = (\varphi_1 - \varphi_2) / R, \quad (96)$$

где $(\varphi_1 - \varphi_2)$ — разность потенциалов на концах участка; R — сопротивление участка. Для однородного участка $\varphi_1 - \varphi_2 = U$, где U — напряжение.

Сопротивление проводника

$$R = \rho l / S, \quad (97)$$

где ρ — удельное сопротивление материала проводника; l — длина проводника; S — его поперечное сечение.

Параметр ρ зависит от температуры по закону

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t), \quad (98)$$

где ρ_0 — удельное сопротивление при температуре $t = 0^\circ\text{C}$, α — температурный коэффициент сопротивления.

Закон Ома для замкнутой цепи имеет вид

$$I = \mathcal{E} / (R + r), \quad (99)$$

где $\mathcal{E}$ — электродвижущая сила (ЭДС) источника; R — сопротивление внешней цепи; r — сопротивление внутренней цепи.

Общее сопротивление R последовательно соединенных сопротивлений $R_1, R_2, \dots, R_n$ равно сумме сопротивлений:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (100)$$

Общее сопротивление параллельно соединенных сопротивлений $R_1, R_2, \dots, R_n$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}. \quad (101)$$

Количество теплоты, выделяющейся на участке цепи с сопротивлением R , по которому идет ток I в течение времени t , определяется соотношением

$$Q = I^2 R t. \quad (102)$$

Примеры решения задач

Задача 1. Найти сопротивление между точками A и D , если $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ (рис. 19).

Решение. Заменяем схему (см. рис. 19) эквивалентной схемой, показанной на рис. 20. Три резистора соединены параллельно, а четвертый присоединен к ним последовательно. Поэтому $R = R_1 + R'$, где $R' = R_1/3$. Таким образом,

$$R = R_1 + R_1/3 = 4/3 R_1.$$

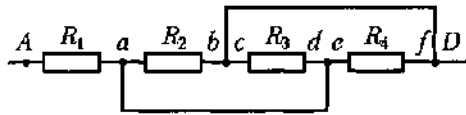


Рис. 19

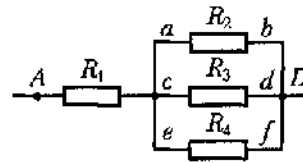


Рис. 20

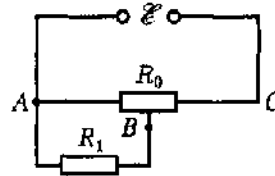
Задача 2. В цепи (рис. 21) ЭДС источника $\mathcal{E} = 110$ В, сопротивление реостата, используемого в качестве делителя напряжения, $R_0 = 3 \cdot 10^3$ Ом, сопротивление нагрузки $R_1 = 10^4$ Ом. Определить напряжение U , подаваемое на нагрузку, если движок реостата находится посередине.

Дано: $R_1 = 10^4$ Ом, $R_0 = 3 \cdot 10^3$ Ом, $\mathcal{E} = 110$ В, $R'_0 = R_0/2$.

Решение. Сопротивление R' участка AB в соответствии с формулой (101)

$$R' = \frac{(R_0/2)R_1}{R_0/2 + R_1} = \frac{R_0 R_1}{2R_1 + R_0}.$$

Рис. 21



Полное сопротивление цепи, т.е. сопротивление участков AB и BC

$$R = R' + \frac{R_0}{2} = \frac{R_0 R_1}{2R_1 + R_0} + \frac{R_0}{2} = \frac{4R_1 R_0 + R_0^2}{2(2R_1 + R_0)}.$$

В соответствии с законом Ома

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{2\mathcal{E}(2R_1 + R_0)}{4R_1 R_0 + R_0^2};$$

$$U = IR' = \frac{2\mathcal{E}(2R_1 + R_0)}{4R_1 R_0 + R_0^2} \frac{R_0 R_1}{2R_1 + R_0} = \frac{2\mathcal{E} R_1}{4R_1 + R_0};$$

$$U = \frac{2 \cdot 110 \cdot 10^4}{4 \cdot 10^4 + 3 \cdot 10^3} = \frac{2200}{43} \text{ В} \approx 51,2 \text{ В}.$$

Задача 3. Номинальная мощность P_1 лампы, рассчитанной на напряжение 120 В, составляет 25 Вт. Какую мощность P_2 будет потреблять эта лампа, если ее включить в сеть напряжением 220 В? Изменение сопротивления лампы не учитывать.

Дано: $P_1 = 25$ Вт, $U_1 = 120$ В, $U_2 = 220$ В.

Решение. Из формулы (102) следует, что $P = \frac{Q}{t} = \frac{I^2 R t}{t} = I^2 R = \frac{U^2}{R}$. R определяем из соотношения $P_1 = U_1^2 / R$

$$R = U_1^2 / P_1.$$

Тогда

$$P_2 = \frac{U_2^2}{R} = \frac{U_2^2 P_1}{U_1^2} = \frac{220^2 \cdot 25}{120^2} = 84 \text{ Вт}.$$

Вопросы и задания

Сила тока. Сопротивление. Закон Ома для участка цепи

1. Почему от «динамки» велосипеда к лампочке проведен только один провод? Ведь чтобы цепь была замкнута, необходимо иметь два провода?

2. Почему амперметр нельзя подключить параллельно потребителю энергии?

3. Почему спираль электрической плитки нагревается сильнее в том месте, где она тоньше?

4. Почему общее сопротивление участка цепи при параллельном соединении проводников меньше сопротивления отдельных проводников?

5. Как узнать массу и длину медного проводника, из которого сделана обмотка катушки электромагнита, если не разматывать катушку. Можно ли выполнить задание, располагая источником тока, вольтметром, амперметром и микрометром?

6. Определите общее сопротивление цепи (рис. 22), если $R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = R_6 = 1$ Ом, $R_4 = 8$ Ом.

7. Определите общее сопротивление цепи (рис. 23), если $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R$.

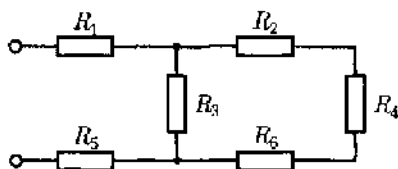


Рис. 22

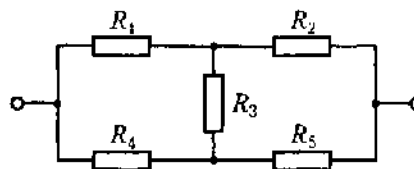


Рис. 23

8. Вычислите сопротивление контура (рис. 24).

9. Какие сопротивления можно получить с помощью трех резисторов сопротивлением по 2 Ом каждый?

10. Учащийся по неопытности присоединил дома лампу $EL1$ так, как показано на рис. 25. Как будут гореть лампы $EL1$ и $EL2$ при включенном и выключенном выключателе S ?

11. Между пунктами M и N протянута двухпроводная линия связи сопротивлением $0,8 \text{ кОм}$. Расстояние между M и N равно 40 км . На каком расстоянии от M произошло замыкание линии, если вольтметр показывает 10 В , а амперметр $0,04 \text{ А}$ (рис. 26)?

12. Каким должно быть сопротивление дополнительного резистора, чтобы в сеть напряжением 220 В можно было включить елочную гирлянду, которая должна работать нормально через трансформатор при напряжении 120 В и токе 4 А ?

13. Сопротивления двух проводников круглого сечения, имеющих одинаковую длину и изготовленных из одного материала, относятся как $1:2$. Какой из них тяжелее и во сколько раз?

14. Ток 16 мА иногда называют «обездвиживающим», потому что при поражении таким током человек не может освободиться от электродов без посторонней помощи. При сухой коже сопротивление у человека между крайними точками тела (от одной руки до другой) может быть равным $1 \cdot 10^5 \text{ Ом}$ и больше. Полное сопротивление тела между потными руками 1500 Ом . Какова потенциальная опасность от контакта с бытовой электроцепью с напряжением 220 В ?

15. Сопротивление медного провода при температуре 10°C равно 60 Ом . Определите его сопротивление при температуре минус 40°C ($\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$).

16. Определите площадь поперечного сечения и длину проводника из алюминия, если его сопротивление $0,1 \text{ Ом}$, а масса $5,4 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$, плотность $2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, удельное сопротивление $\rho = 2,9 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

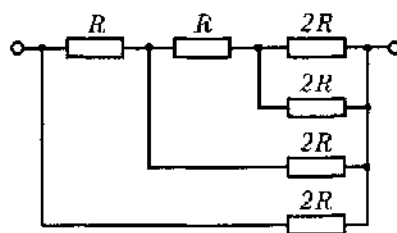


Рис. 24

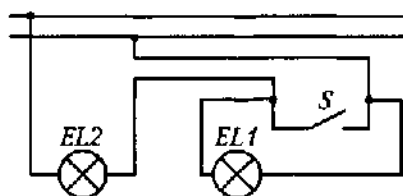


Рис. 25

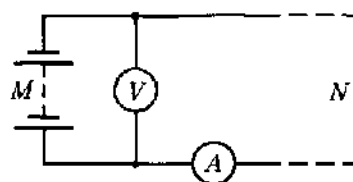


Рис. 26

17. Определите удельное сопротивление провода, если известны его диаметр ($1,5 \cdot 10^{-3}$ м) и длина (14,2 м), а при напряжении 18 В в нем устанавливается ток 2,25 А.

18. Медный звонковый изолированный проводник намотан на катушку. Диаметр медной жилы $8 \cdot 10^{-4}$ м. Определите длину проводника, не разматывая катушку. При включении катушки в цепь постоянного тока оказалось, что при напряжении 1,4 В по ней протекает ток 0,4 А ($\rho_{\text{меди}} = 0,017 \cdot 10^{-6}$ Ом · м).

Закон Ома для полной цепи. Работа и мощность тока

19. Источником тока в цепи служит батарея $\mathcal{E} = 30$ В. Напряжение на зажимах батареи 18 В, а сила тока в цепи 3 А. Определите сопротивление цепи и внутреннее сопротивление источника.

20. К источнику тока подключены последовательно амперметр и катушка (рис. 27). Вольтметр подключен параллельно катушке. Показания вольтметра 200 В, амперметра 0,5 А. Сопротивлением амперметра можно пренебречь. Определите сопротивление катушки в случаях, когда сопротивление вольтметра бесконечно велико или равно 2000 Ом.

21. Цепь сопротивлением 100 Ом питается от источника постоянного напряжения. Для измерения силы тока в цепь включили амперметр с внутренним сопротивлением 1 Ом. Какова была сила тока в цепи до выключения амперметра, если амперметр показал 5 А?

22. Аккумуляторная батарея напряжением 12 В подключена для зарядки к сети напряжением 15 В. Каким сопротивлением должен обладать дополнительный резистор, включенный в цепь, чтобы сила зарядного тока не превышала 1 А? Внутреннее сопротивление батареи 2 Ом.

23. Гальванический элемент с ЭДС 1,5 В и внутренним сопротивлением 1 Ом замкнут на внешний резистор сопротивлением 4 Ом. Вычислите силу тока в цепи, падение напряжения во внутренней части цепи и напряжение на зажимах элемента.

24. Как изменятся показания амперметров $A1$ и $A2$, если в схеме, показанной на рис. 28, разомкнуть ключ S ?

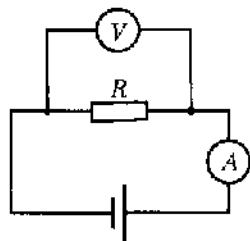


Рис. 27

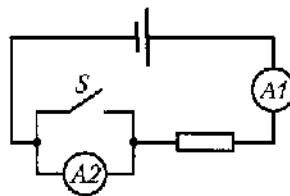


Рис. 28

25. Две батареи с ЭДС $\mathcal{E}_2$ и $\mathcal{E}_1$ включены в цепь по схеме (рис. 29). Сопротивление подобрано так, что амперметр не обнаруживает тока. Что показывает вольтметр?

26. Почему при коротком замыкании напряжение на клеммах источника близко к нулю, хотя сила тока в цепи максимальна?

27. Плавкий предохранитель рассчитан на силу тока 6 А. Можно ли при наличии такого предохранителя включить в сеть напряжением 220 В прибор мощностью 2400 Вт?

28. Какой должна быть сила тока в проводнике, включенном в сеть напряжением 120 В, чтобы в нем каждую секунду выделялось 420 Дж теплоты?

29. Напряжение в цепи зарядной станции составляет 13 В. Внутреннее сопротивление аккумулятора, поставленного на зарядку, равно 0,4 Ом и его остаточная ЭДС составляет 11 В. Какая мощность расходуется станцией на зарядку этого аккумулятора? Какая часть этой мощности расходуется на нагревание аккумулятора?

30. За время 40 с в цепи, состоящей из трех одинаковых проводников, соединенных параллельно, выделилось некоторое количество теплоты. За какое время выделится то же количество теплоты, если проводники соединить последовательно?

31. Какая работа совершается при прохождении тока по проводнику сопротивлением 10 Ом за время 20 с, если к концам проводника приложено напряжение 12 В?

32. Две лампы имеют одинаковую мощность. Одна из них рассчитана на напряжение 127 В, другая — на напряжение 220 В. Во сколько раз отличаются сопротивления ламп?

33. Является ли работа, совершаемая источником тока во внутренней части цепи, величиной постоянной для данного источника?

34. Куда надо передвинуть ползунок реостата в цепи, чтобы увеличить накал спирали лампы (рис. 30)?

35. Елочная гирлянда, рассчитанная на номинальное напряжение 220 В, состоит из 13 ламп мощностью по 2 Вт. Можно ли пользоваться ею после того, как сгорели три лампы, если допустимое превышение тока не должно быть больше 20 % номинального значения?

36. В цепи комнатной электропроводки, рассчитанной на напряжение 220 В, имеется предохранитель на 5 А. Можно ли в этой комнате пользоваться обогревателем, потребляющим мощность 1,5 кВт при напряжении 220 В?

37. Медный и алюминиевый проводники имеют одинаковые массы и сопротивления. Какой проводник длиннее и во сколько раз?

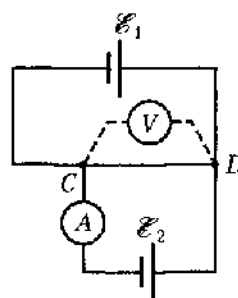


Рис. 29



Рис. 30

38. Имеется моток тонкой медной проволоки (без изоляции). Как с помощью весов и омметра определить длину проволоки и площадь поперечного сечения?

39. Плавательный бассейн вмещает 100 м^3 воды. Чтобы повысить температуру воды в бассейне от 20 до 28°С , используют электрический нагреватель. Какова стоимость нагревания воды в бассейне, если половина сообщаемого воде количества теплоты теряется в результате теплопроводности воды и излучения теплоты? Решив задачу, ответьте на вопрос: целесообразно ли нагревать воду в плавательном бассейне с помощью электронагревателя?

40. Емкость автомобильного аккумулятора обычно выражают в ампер-часах ($\text{А} \cdot \text{ч}$). Емкость $60 \text{ А} \cdot \text{ч}$ означает, что аккумулятор может вырабатывать ток 60 А в течение 1 ч или 1 А в течение 60 ч . Если не выключать фары автомобиля (каждая фара потребляет мощность 50 Вт), то через какое время аккумулятор разрядится?

41. Электрочайник мощностью 500 Вт забыли выключить. Через какое время выкипит вся вода в чайнике? Вместимость чайника 2 л , КПД — 50% , начальная температура воды 18°С .

42. Найдите максимальную силу тока, которая будет проходить через электрический счетчик при включении всех имеющихся в квартире потребителей. Сравните полученный результат с силой тока, указанной на панели счетчика. Какой можно сделать вывод? Выдерживает ли счетчик нагрузку всех имеющихся потребителей тока?

43. Определите фактическое напряжение электрической цепи в квартире, если нет вольтметра, но работает электросчетчик и на включенных потребителях указаны номинальные напряжения и мощность. Как, пользуясь предохранителем, определить наибольшую мощность тока, которую могут потреблять одновременно включенные электроприборы в Вашей квартире? Обобщите проведенные опыты и наблюдения.

3.3. Электрический ток в различных средах

Теоретические сведения

Электрический ток в электролитах возникает вследствие перемещения ионов обоих знаков в противоположных направлениях под действием электрического поля. Прохождение тока через электролит сопровождается *электролизом*.

В ходе электролиза на электродах выделяется вещество, масса которого может быть рассчитана по *первому закону Фарадея*:

$$m = kQ = kIt, \quad (103)$$

где k — электрохимический эквивалент данного вещества; Q — количество электричества, прошедшего через электролит.

В соответствии со *вторым законом Фарадея* электрохимический эквивалент вещества пропорционален химическому эквиваленту $\frac{M}{z}$:

$$k = \frac{1}{F} \frac{M}{z}, \quad (104)$$

где $F = 9,65 \cdot 10^4$ Кл/моль — постоянная Фарадея; M — молярная масса; z — валентность иона. Учитывая этот закон, масса вещества, выделившегося на электроде,

$$m = \frac{1}{F} \frac{M}{z} Q^*, \quad (105)$$

Электрический ток в газах представляет собой упорядоченное перемещение электронов и ионов обоих знаков под действием электрического поля. Необходимые для поддержания тока в газе ионы и электроны возникают в процессе соударения частиц.

Ионизация происходит, если кинетическая энергия частиц больше или равна энергии ионизации атома:

$$\frac{m\langle u \rangle^2}{2} \geq W_{\text{и}}. \quad (106)$$

Необходимого значения кинетической энергии можно достичь, нагревая газ до температуры T [см. формулу (50)]:

$$\frac{m\langle u \rangle^2}{2} = \frac{3}{2} \frac{mRT}{M} \quad (107)$$

или разгоняя заряженные частицы в электрическом поле.

Тогда

$$\frac{m\langle u \rangle^2}{2} = eU_{\text{и}}, \quad (108)$$

где $U_{\text{и}}$ — потенциал ионизации; e — заряд электрона.

Приведем потенциалы ионизации некоторых атомов, В: Н — 13,5; Не — 24,5; Нг — 10,4.

Ток в вакууме — это направленное движение электронов под действием электрического поля. Электроны испускаются катодом вследствие термо-, фотоэлектронной или вторичной электронной эмиссии. Скорость, которую приобретают электроны в процессе эмиссии, можно определить, используя формулы (107) и (108).

* Объединенный закон Фарадея.

Примеры решения задач

Задача 1. Определить массу m серебра, выделившегося на катоде при электролизе азотнокислого серебра за 220 с, если к ванне приложено напряжение 2 В, сопротивление ванны 5 Ом, а ЭДС поляризации 0,8 В.

Д а н о: $t = 220$ с, $U = 2$ В, $\mathcal{E}_{\text{пол}} = 0,8$ В, $R = 5$ Ом, $M = 0,108$ кг/моль, $z = 1$.

Р е ш е н и е. В соответствии с формулой (103)

$$m = kIt.$$

По закону Ома (96)

$$I = (U - \mathcal{E}_{\text{пол}})/R.$$

По формуле (104) имеем

$$k = \frac{1}{F} \frac{M}{z}.$$

Тогда

$$m = \frac{1}{F} \frac{M}{z} \frac{U - \mathcal{E}_{\text{пол}}}{R} t;$$

$$m = \frac{0,108 \cdot (2 - 0,8) \cdot 220}{9,65 \cdot 10^4 \cdot 5} = 5,9 \cdot 10^{-5} \text{ кг}.$$

Задача 2. Сколько электронов n испускает каждую секунду катод при токе насыщения 10^{-2} А?

Д а н о: $I_{\text{н}} = 10^{-2}$ А, $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Р е ш е н и е. По определению силы тока

$$I_{\text{н}} = Q/t = ent/t = en,$$

где n — количество электронов, выделяющихся из катода за 1 с; e — заряд электрона.

Тогда $n = I_{\text{н}}/e$, откуда

$$n = \frac{10^{-2}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 6,3 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}.$$

Вопросы и задания

Электрический ток в электролитах. Законы Фарадея

1. Каков физический смысл постоянной Фарадея?
2. Почему в водных растворах солей, кислот и щелочей происходит распад молекул растворимых веществ на ионы?
3. Почему сопротивление электролитов уменьшается с повышением температуры?

4. Какие вещества выделяются на угольных электродах при электролизе раствора нитрата серебра AgNO_3 ?

5. Сколько никеля выделится при электролизе за время 3600 с при токе 10 А, если известно, что молярная масса никеля 0,05817 кг/моль, а валентность $z = 2$?

6. Какое количество двухвалентного никеля можно выделить электролитическим путем из раствора сернокислого никеля за 1 ч при токе 1,5 А (электрохимический эквивалент $k = 3,04 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл)?

7. В электролитическую ванну поместили медную пластинку, служащую анодом. Пластика покрыта воском, на котором нацарапан рисунок. Что получится после пропускания тока и удаления воска с пластины?

8. При электролизе раствора ZnSO_4 была затрачена энергия $7,20 \cdot 10^6$ Дж. Определить массу m выделившегося цинка, если напряжение на зажимах ванны 4 В (для цинка $k = 0,34 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл).

9. За какое время при электролизе водного раствора хлорной меди CuCl_2 на катоде выделится $4,74 \cdot 10^{-3}$ кг меди? Сила тока 2 А, $k = 3,29410 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

10. При серебрении изделий за 3 ч на катоде отложилось $4,55 \times 10^{-3}$ кг серебра. Определите силу тока при электролизе.

11. Через раствор сернистой меди (медный купорос) прошло $2 \cdot 10^4$ Кл электричества. Сколько меди выделилось?

12. Сколько серебра выделится на катоде, если через раствор азотно-серебряной соли пропустить заряд 100 Кл?

13. При электролизе раствора HCl на катоде за некоторое время выделится 1 г водорода. Сколько за это же время выделилось на аноде хлора?

Электрический ток в газах, вакууме и полупроводниках

14. Какова природа проводимости газов? В чем разница в образовании ионов в электролитах и газах?

15. Почему вакуум является идеальным диэлектриком (непроводником)? Каково необходимое условие прохождения тока через вакуумное пространство? Что представляет собой ток в вакууме?

16. Каково отличие ионизованного атома от возбужденного?

17. Как зависит электрическая проводимость металлов, полупроводников и диэлектриков от температуры? Почему?

18. Как влияет на проводимость металлов, полупроводников и диэлектриков присутствие в них небольшого количества примесей?

19. Назовите основные различия между полупроводниками с электронной проводимостью и металлами.

20. Можно ли, повышая температуру полупроводника, довести его проводимость до проводимости металла? Почему?

21. Какой тип полупроводника получится, если в германий включить небольшое количество мышьяка?

22. При каком условии полупроводник может стать диэлектриком? Сохранит ли он при этом свойства полупроводника?

23. Можно ли получить p - n -переход сплавлением алюминия в индий?

24. Почему свободные электрические заряды не удерживаются на границе p - n -перехода?

25. В телевизорах напряжение между анодом и катодом электронно-лучевой трубки 10 кВ, а сила тока в анодной цепи 300 мкА. Определите энергию электронов и мощность электрического пучка.

26. При какой температуре атомы ртути имеют среднюю кинетическую энергию поступательного движения, достаточную для ионизации?

27. Вычислите работу ионизации атома гелия.

28. Какой наименьшей скоростью должен обладать электрон для того, чтобы ионизировать атом водорода?

29. Почему в трубке А (рис. 31) при достаточно высоком вакууме катодные лучи исчезают, а в трубке В нет?

30. Энергия ионизации атомов ртути 10,4 эВ. Какой наименьшей скоростью должен обладать электрон, чтобы произвести ионизацию атома ртути ударом ($1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$)?

31. Почему при дуговом разряде для прохождения тока через газовый промежуток не требуется высокого напряжения ионизации?

32. Определите напряженность электрического поля, при которой может произойти ионизация молекул воздуха при нормальном давлении. Энергия ионизации 15 эВ, длина свободного пробега электрона $5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

33. Из нити накала электронной лампы при данной температуре вылетает $2,5 \cdot 10^{16}$ электронов за 1 с. Определите максимальный анодный ток в лампе.

34. С поверхности катода эмиттирует ежесекундно $5 \cdot 10^{16}$ электронов. Каково предельное значение силы тока насыщения?

35. Сколько электронов эмиттирует ежесекундно с поверхности катода при токе насыщения 12 мА?

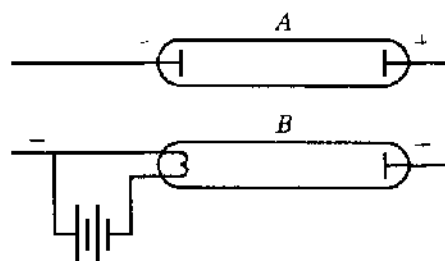


Рис. 31

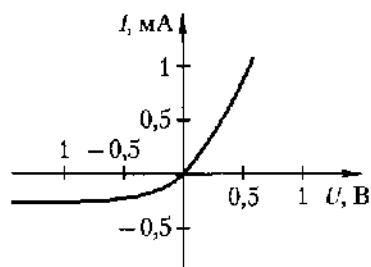


Рис. 32

36. Рабочая температура вольфрамового катода 2500 К. Могут ли электроны, обладающие средней кинетической энергией, соответствующей этой температуре, совершить работу выхода в 0,726 эВ?

37. Работа выхода электрона для вольфрамовой нити равна 4,5 эВ. Какую минимальную скорость должны иметь электроны, чтобы вылететь из нити?

38. В радиолампе электроны ускоряются до энергии 76,5 Дж. Найти их скорость у анода.

39. На рис. 32 приведена вольт-амперная характеристика германского диода. Определите прямой ток при $U_1 = 0,5$ В и обратный при $U_2 = -1$ В.

40. Как определить знаки полюсов автомобильного аккумулятора, пользуясь двумя медными проводниками и сырой картошкой?

41. Через водный раствор серной кислоты пропускали ток 1 А в течение 2 мин. Каков объем выделившегося при этом водорода, кислорода? Считать, что эти газы находятся при нормальных условиях.

3.4. Электромагнетизм

Теоретические сведения

Два прямолинейных проводника с током взаимодействуют между собой (в соответствии с *законом Ампера*) в вакууме с силой, модуль которой определяется равенством

$$F = \mu\mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi r} \Delta l, \quad (109)$$

где I_1, I_2 — токи в проводниках; r — расстояние между проводниками; Δl — длина проводника; μ — относительная магнитная проницаемость среды (для вакуума $\mu = 1$); $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнитная постоянная.

Индукцию магнитного поля B , созданного длинным прямолинейным проводником с током I на расстоянии r от проводника, определяют по формуле

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2\pi r}. \quad (110)$$

Модуль силы, действующей на прямолинейный проводник с током I в магнитном поле, индукция которого B , можно определить равенством

$$F = I\Delta l B \sin \varphi, \quad (111)$$

где φ — угол между вектором B и направлением тока I .

Энергию магнитного поля контура с током определяют по следующей формуле:

$$W = LI^2/2, \quad (112)$$

где L — индуктивность контура; I — сила тока в контуре.

Электродвижущая сила индукции в замкнутом контуре, пронизанном потоком магнитной индукции, пропорциональна скорости изменения потока магнитной индукции через площадь, ограниченную контуром:

$$\mathcal{E}_i = -\Delta\Phi/\Delta t, \quad (113)$$

где $\Delta\Phi$ — изменение магнитного потока, происходящее за время Δt ; $\mathcal{E}_i$ — среднее за время Δt значение ЭДС индукции.

Формула (113) выражает закон индукции.

Если проводник движется в магнитном поле со скоростью v , перпендикулярной проводнику и линиям индукции магнитного поля, то возникающая при этом ЭДС индукции

$$\mathcal{E}_i = |B|\Delta l v, \quad (114)$$

где Δl — длина проводника; B — индукция магнитного поля.

Если магнитный поток, пронизывающий контур, меняется благодаря изменению тока в самом контуре, то возникающая ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E}_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}, \quad (115)$$

где L — индуктивность контура; ΔI — изменение силы тока, происходящее за время Δt ; $\mathcal{E}_s$ — среднее за время Δt значение ЭДС самоиндукции.

Примеры решения задач

Задача 1. Вычислить вращающий момент M сил, действующих на рамку с током, если длина рамки 10 см, ширина 20 см, сила тока в рамке 1 А. Магнитная индукция поля, в которое помещена рамка, 0,2 Тл. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости рамки.

Д а н о: $\Delta l = 0,1$ м, $a = 0,2$ м, $I = 1$ А, $B = 0,2$ Тл.

Р е ш е н и е. Вращающий момент сил, действующих на рамку, определим по формуле

$$M = Fa.$$

В соответствии с формулой (111) $F = IB\Delta l$.

Таким образом,

$$M = IB\Delta la;$$

$$M = 1 \cdot 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,2 = 0,004 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Задача 2. Катушка из n витков, площадь каждого из которых равна S , присоединена к гальванометру, с помощью которого можно измерять количество электричества, прошедшего через него. Сопротивление всей цепи R . Вначале катушка находится между полюсами магнита в области, где магнитная индукция B однородна и направлена перпендикулярно виткам катушки. Затем катушку перемещают в пространства, где магнитное поле отсутствует. Какое количество электричества проходит через гальванометр?

Решение. Количество электричества выразим через ток и время существования тока:

$$\Delta Q = I \Delta t.$$

Определим силу тока на основании закона Ома и закона индукции (113):

$$I = \mathcal{E}_i / R = -\Delta \Phi / (\Delta t R) = -(\Phi - \Phi_0) / (\Delta t R),$$

где $\Phi_0 = |B|Sn$ — начальный, а Φ — конечный магнитные потоки.

Тогда

$$\Delta Q = -\frac{\Phi - \Phi_0}{\Delta t R} \Delta t = -\frac{\Phi - \Phi_0}{R} = \frac{BSn}{R}.$$

Вопросы и задания

Магнитное поле тока

1. Для изучения электрического поля пользуются пробным электрическим зарядом. Какой аналогией пользуются при изучении магнитного поля?

2. По двум параллельным проводникам в одном направлении протекают токи I_1 и I_2 , при этом $I_1 \neq I_2$. Одинаковы ли модули магнитных сил F_1 и F_2 , с которыми токи взаимодействуют между собой? Ответ обоснуйте.

3. Почему взаимодействие проводников, по которым течет ток, нельзя объяснить на основании закона Кулона?

4. В опыте Эрстеда магнитная стрелка не притягивается к проводнику с током и не отталкивается от него, а только поворачивается. Какая важная особенность линий магнитной индукции следует из этого факта?

5. Как узнать, намагничено ли старое ножовочное полотно или нет, не пользуясь приборами или другими телами?

6. Как с помощью сильного магнита (лучше подковообразного) определить, постоянным или переменным током питается электрическая лампочка?

7. Существует гипотеза о том, что магнитное поле Земли обусловлено кольцевым электронным током, который протекает в расплавленном металлическом ядре Земли. В каком направлении

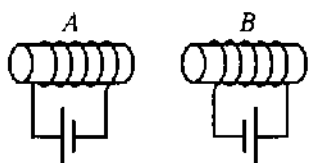


Рис. 33

должны двигаться там электроны, чтобы обеспечить имеющую место полярность земного магнитного поля?

8. У подковообразного магнита стерлись обозначения полюсов. Чтобы узнать, какой из них является северным, а какой южным, Вам предложили воспользоваться телевизором. Как Вы должны поступить?

9. Определите индукцию магнитного поля в воздухе на расстоянии $r = 0,1$ м от прямолинейного проводника, по которому проходит ток 20 А.

10. Индукция магнитного поля, созданного прямолинейным проводником с током 10 А, равна $1 \cdot 10^{-5}$ Тл. На каком расстоянии от проводника находится точка, в которой определена индукция?

11. Намотка катушки А (рис. 33) выполнена по часовой стрелке, а катушка В — против часовой стрелки. Одинаковые ли полюсы имеют левые концы электромагнитов?

12. Два прямолинейных параллельных проводника длиной 1 м каждый находятся в вакууме на расстоянии 0,2 м друг от друга. По ним проходят токи 40 и 30 А в одном направлении. Какова сила притяжения между проводниками?

13. Почему два параллельных пучка катодных лучей одинакового направления отталкиваются, хотя они представляют собой токи одного направления и поэтому должны притягиваться?

14. В однородном магнитном поле с индукцией 0,82 Тл находится прямолинейный проводник с током силой 18 А, расположенный перпендикулярно линиям индукции. Определите силу, действующую на проводник, если его длина 1,28 м.

15. На прямолинейный проводник длиной 0,2 м, расположенный перпендикулярно направлению магнитного поля, действует сила 8 Н. Определите магнитную индукцию, если ток в проводнике 40 А.

16. Какая сила выталкивает проводник из магнитного поля, если магнитная индукция поля 1,3 Тл, длина проводника 0,2 м, ток в нем 10 А и угол между направлениями тока и поля 30° ?

17. Два параллельных проводника с токами по 100 А находятся в вакууме. Определите расстояние между проводниками, если вследствие их взаимодействия на отрезок проводника длиной 0,75 м действует сила $5,0 \cdot 10^{-2}$ Н.

18. Определите силу тока в проводнике, если он притягивает к себе параллельный проводник длиной 2,8 м с током 58 А с силой $3,4 \cdot 10^{-3}$ Н. Как направлены токи в обоих проводниках? Расстояние между проводниками 0,12 м.

19. На проволоочный виток радиусом 0,16 м, помещенный между полюсами магнита, действует максимальный механический момент $1,3 \cdot 10^{-5}$ Н·м. Сила тока в витке 4 А. Определите индукцию В поля между полюсами магнита.

20. В однородном магнитном поле, индукция которого 0,6 Тл, равномерно движется проводник длиной 0,2 м. По проводнику проходит ток силой 4 А. Проводник со скоростью 0,2 м/с движется перпендикулярно направлению магнитного поля. Вычислите работу перемещения проводника за 10 с движения.

21. Вычислите энергию магнитного поля катушки с индуктивностью 0,5 Гн при токе в 2 А.

22. Индуктивность соленоида длиной 60 см и площадью поперечного сечения 4 см² равна $4 \cdot 10^{-7}$ Гн. При какой силе тока объемная плотность энергии магнитного поля внутри соленоида составит $2 \cdot 10^{-3}$ Дж/м³?

23. Как распределяются железные опилки, насыпанные на плоский лист картона, на который положен прямой длинный провод, через который пропускают электрический ток. Наблюдаемое явление объясните. Нарисуйте магнитный спектр.

24. Нарисуйте магнитные силовые линии: вокруг прямолинейного проводника с током; проводника, имеющего форму кольца; вокруг соленоида. Для каждого случая отметьте направления тока и силовых линий. Опыт проведите с железными опилками. Сделайте выводы.

25. Рассмотрите подковообразный магнит. Начертите расположение силовых линий поля внутри него. Как должно измениться расположение линий, если полюсы магнита замкнуть железным якорем? Проверьте на опыте с железными опилками.

26. Шнур настольной лампы, которая питается переменным током, поднесите к компасу (или к магнитной стрелке). Будет ли магнитное поле тока влиять на стрелку? Изменится ли это действие, если лампа будет питаться постоянным током? Поясните это явление.

27. Некоторые стальные предметы, находящиеся продолжительное время на одном месте (в магнитном поле Земли), со временем намагничиваются. Убедитесь в этом, воспользовавшись компасом. Объясните наблюдаемое явление. Как располагаются при этом полюсы? Почему?

*Электромагнитная индукция.
Магнитные свойства вещества*

28. При каком условии напряжение на концах проводника, который движется в магнитном поле не параллельно линиям индукции поля, равно ЭДС индукции?

29. Вокруг проводника с током возникло магнитное поле. Что является источником энергии этого поля?

30. Магнитное поле в веществе, которое находится в сверхпроводимом состоянии, возбуждать невозможно. Почему?

31. Концы сложенной вдвое проволоки присоединены к гальванометру. Проволока движется, пересекая силовые линии магнитно-

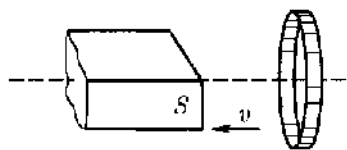


Рис. 34

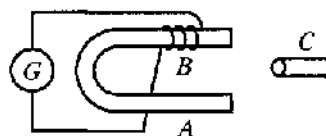


Рис. 35

го поля, но стрелка гальванометра остается на нуле. Чем это можно объяснить?

32. Южный полюс магнита удаляют с некоторой скоростью от металлического кольца (рис. 34). Определите направление индукционных токов в кольце.

33. Как получить индукционный ток, не перемещая магнит A и моток проволоки B (рис. 35) (C — стальной стержень).

34. Проводник AB перемещают так, что ток идет от точки A к точке B (рис. 36). В какой из этих точек потенциал выше?

35. Одинаково ли влияние постукивания в процессе намагничивания тела и на уже намагниченное тело?

36. Как надо двигать проводник, чтобы в нем индуцировался ток, направленный от точки A к точке B (рис. 37)?

37. Длинную изолированную проволоку складывают вдвое и наматывают на катушку (как и из обычной одинарной проволоки). Концы проволоки присоединяют к гальванометру. Будет ли индуцироваться ток в катушке при введении в нее прямого магнита?

38. Прямолинейный проводник длиной $0,5$ м движется в магнитном поле со скоростью 6 м/с под углом 30° к направлению вектора индукции. Определите индукцию магнитного поля, если в проводнике возникает ЭДС электромагнитной индукции 3 В.

39. Скорость летящего горизонтально самолета 900 км/ч. Вычислите ЭДС индукции, возникающую на концах крыльев этого самолета, если вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли равна $0,5 \cdot 10^{-4}$ Тл, а размах крыльев самолета $12,5$ м.

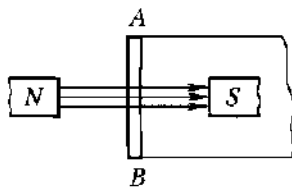


Рис. 36

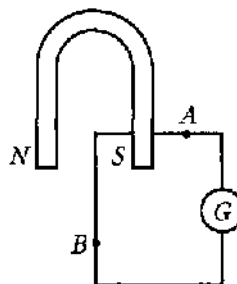


Рис. 37

40. В однородном магнитном поле, индукция которого B , равномерно вращается катушка из N витков проволоки. Число оборотов катушки за 1 с равно n , площадь сечения катушки S . Ось вращения перпендикулярна оси катушки и направлению магнитного поля. Вычислите максимальную ЭДС индукции во вращающейся катушке.

41. Рамка, имеющая 25 витков, находится в магнитном поле. Определите ЭДС индукции, возникающую в рамке при изменении магнитного потока в ней от 0,098 до 0,013 Вб за 0,16 с.

42. Прямолинейный проводник длиной 0,86 м движется со скоростью 14 м/с в однородном поле с индукцией 0,025 Тл. Определите угол между векторами индукции поля и скорости, если в проводнике создается ЭДС 0,12 В.

43. Прямолинейный проводник движется со скоростью 25 м/с в однородном магнитном поле с индукцией 0,0038 Тл перпендикулярно линиям магнитной индукции. Чему равна длина проводника, если напряжение на его концах 25 мВ?

44. В вертикальном однородном магнитном поле (рис. 38) с индукцией 0,2 Тл поступательно движется горизонтально расположенный проводник длиной 0,5 м со скоростью 10 м/с так, что вектор скорости образует с вектором магнитной индукции угол $\alpha = 30^\circ$ и с проводником угол $\beta = 60^\circ$. Определите ЭДС индукции в проводнике.

45. Какой должна быть длина активной части проводника, движущегося со скоростью 10 м/с в магнитном поле с индукцией 0,8 Тл перпендикулярно направлению потока, чтобы в проводнике индуцировалась ЭДС, равная 8 В?

46. Определите значение ЭДС, индуцируемой в прямом проводнике, который перемещается в магнитном поле со скоростью 7 м/с, если его длина 0,4 м, а магнитная индукция 0,9 Тл. Решить задачу для случая, когда угол, под которым проводник пересекает поле, равен 30° .

47. Прямой проводник длиной 0,3 м пересекает магнитное поле под углом 60° к магнитной индукции со скоростью 6 м/с. Определите магнитную индукцию поля, если ЭДС, индуцируемая в проводнике, равна 3,2 В.

48. Индуктивность катушки с сердечником равна 22 Гн, сила тока 10 А. Какая ЭДС самоиндукции возникнет в катушке, если цепь размыкают, и ток за 0,1 с равномерно спадает до нуля?

49. При какой скорости изменения тока в обмотке электромагнита с индуктивностью 2 Гн среднее значение ЭДС самоиндукции равно 20 В?

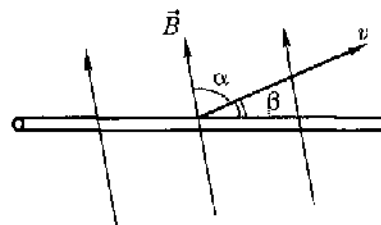


Рис. 38

50. Какова индуктивность дросселя, если при скорости изменения в нем силы тока 80 А/с ЭДС самоиндукции равна 30 В ? Ответ выразите в Гн, мГн, мкГн.

51. Две катушки намотаны на один сердечник. Индуктивность катушек $1,6$ и $0,1 \text{ Гн}$. Во сколько раз в первой катушке число витков больше, чем во второй?

52. Какова индуктивность катушки, если при постепенном изменении тока от 5 до 1 А за $0,1 \text{ с}$ в ней возникает ЭДС самоиндукции 20 В ?

53. Шасси автомобиля и оси колес составляют замкнутый проводимый контур. Индуцируется ли в нем ток при движении автомобиля?

54. Сквозь отверстие катушки падает магнит. С одинаковыми ли ускорениями он движется при замкнутой и разомкнутой обмотках катушки?

55. В сочинении французского физика Араго «Гром и молния» приводится много случаев перемagnetивания компасной стрелки, намагничивания стальных предметов под действием молнии. Как можно объяснить эти явления?

56. В узкую щель между досками пола упала стальная иглолка. Как вынуть иглолку, используя магнит, который не проходит в щель, и тонкую железную пластинку?

57. Почему кусок железной проволоки, притянувшись к одному из полюсов подковообразного магнита, притягивается вторым концом к другому полюсу?

58. Будет ли намагниченная полоса, согнутая в кольцо, притягивать стальные предметы?

59. Какой полюс появится на шляпке гвоздя, если к его заостренному концу приблизить северный полюс стального магнита?

60. Как можно быстро разделить смешавшиеся на полу мастерской железные и цинковые опилки?

Глава 4

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

4.1. Механические и электромагнитные колебания и волны

Теоретические сведения

Основными параметрами колебательного движения являются *период* T и *частота* ν , которые связаны между собой соотношением

$$T = 1/\nu. \quad (116)$$

Общий вид уравнения гармонического колебательного движения:

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (117)$$

где x — смещение тела в момент времени t от положения равновесия; A — амплитуда; $(\omega t + \varphi_0)$ — фаза; φ_0 — начальная фаза; ω — круговая частота колебаний.

Круговая частота связана с частотой и периодом колебаний соотношением

$$\omega = 2\pi\nu = 2\pi/T. \quad (118)$$

При начальной фазе $\varphi_0 = 0$ уравнение гармонического колебательного движения принимает вид

$$x = A \sin \omega t. \quad (119)$$

Период собственных колебаний математического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{l/g}, \quad (120)$$

где l — длина маятника; g — ускорение свободного падения.

Скорость v распространения колебательного движения зависит от свойств среды:

$$v = \lambda/T = \lambda\nu, \quad (121)$$

где λ — длина волны, характеризующая расстояние, на которое распространяется волновой процесс при скорости v за время T . При сложении двух когерентных волн от двух источников колебаний имеет место явление *интерференции* — усиления (или ослабления) амплитуды колебаний в определенных точках. Если разность хода волн в данной точке

$$\Delta r = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}, \quad (122)$$

где $k = 0, 1, 2, \dots, n$ — целые числа, то в данной точке амплитуда колебаний максимально ослабляется ($A \rightarrow \min$). Если разность хода волн

$$\Delta r = 2k\frac{\lambda}{2}, \quad (123)$$

то в данной точке амплитуда колебаний максимально усиливается ($A \rightarrow \max$).

В колебательном контуре период T электромагнитных колебаний зависит от индуктивности L , емкости C и определяется по *формуле Томсона*:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (124)$$

Примеры решения задач

Задача 1. Частота колебаний струны 196 Гц. Вычислите период колебаний T .

Дано: $\nu = 196 \text{ с}^{-1}$.

Решение. На основании формулы (116) получим

$$T = 1/\nu; T = 1/196 \text{ с}^{-1} = 0,005 \text{ с}.$$

Задача 2. Колебательное движение описывается уравнением $x = 0,06 \sin(12,56t + 0,6)$. Определите амплитуду A и период колебания T .

Дано: $x = 0,06 \sin(12,56t + 0,6)$.

Решение. Сопоставим данное уравнение с уравнением гармонического колебательного движения (117), записанным в общем виде:

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0).$$

Приравняв коэффициенты при одинаковых членах, получим $A = 0,06$; $\omega t = 12,56t$; $\omega = 12,56 \text{ с}^{-1}$. Из выражения (118) следует, что

$$T = \frac{2\pi}{\omega}; T = \frac{2 \cdot 3,14}{12,56} = 0,5 \text{ с}.$$

Задача 3. Математический маятник совершает колебания с частотой 4 Гц. Вычислите длину l подвеса.

Дано: $\nu = 4 \text{ с}^{-1}$.

Решение. Из соотношений (120) и (116) следует, что

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{l/g}}.$$

Откуда

$$l = \frac{g}{4\pi^2\nu^2}; l = \frac{9,8}{631} = 0,015 \text{ м}.$$

Задача 4. Вычислите скорость v распространения колебаний в металлическом стержне, вызванных ударами пневматического молотка, если при ударах частотой 50 Гц в металле возбуждаются волны длиной 117 м.

Дано: $\nu = 50 \text{ с}^{-1}$, $\lambda = 117 \text{ м}$.

Решение. По формуле (121) имеем:

$$v = \lambda\nu; v = 117 \cdot 50 = 5850 \text{ м/с}.$$

Задача 5. Разность волновых путей двух источников колебаний в данной точке равна 2 м. Скорость распространения колебаний равна 320 м/с, а частота колебаний — 250 Гц. Усиливаются или ослабляются колебания в данной точке?

Дано: $\Delta r = 2 \text{ м}$, $v = 320 \text{ м/с}$, $\nu = 250 \text{ с}^{-1}$.

Решение. Для того чтобы ответить на поставленный вопрос, следует определить, четное или нечетное число полуволен укладывается в Δr :

$$n = \frac{\Delta r}{\lambda/2} = \frac{2\Delta r}{\lambda}.$$

Если полученное значение n — четное, то, согласно формуле (123), произойдет усиление колебаний, если n — нечетное, колебания ослабятся. С учетом формулы (121) полученное соотношение можно переписать в виде

$$n = \frac{2\Delta r\nu}{v} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 250}{320} = 3,125.$$

Так как разность хода двух когерентных волн равна нечетному числу полуволн, в рассматриваемой точке среды колебания ослабляются.

Задача 6. Найти частоту ν собственных электрических колебаний в контуре, состоящем из катушки индуктивностью 3 мГн и конденсатора емкостью 3 мкФ.

Дано: $L = 3 \text{ мГн} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$, $C = 2 \text{ мкФ} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$.

Решение. На основании формул (116) и (124) найдем

$$\nu = 1/T = 1/2\pi\sqrt{LC};$$

$$\nu = \frac{1}{2 \cdot 3,14\sqrt{3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}} = 2057 \text{ Гц}.$$

Вопросы и задания

Механические колебания и звук

1. Гармоническое колебание материальной точки задано уравнением $x = x_m \cos \frac{2\pi}{T} t$. Какой путь проходит точка в этом движении за время t ?

2. При расчетах, не требующих высокой точности, период математического маятника $T^2 = 4l$. Обоснуйте это приближение. Какую относительную ошибку допускают в таком приближении? Воспользуйтесь микрокалькулятором при подсчете.

3. Как изменится период колебаний маятника, если его перенести из воздуха в воду?

4. Как изменится период колебаний маятника с железным шариком, если под ним поместить магнит?

5. Будет ли совершать колебания математический маятник внутри космического корабля-спутника, движущегося по круговой орбите вокруг Земли?

6. Как объяснить, что звуки оркестра, различные по высоте тона, доходят до слушателя одновременно?

7. Зависит ли период колебаний качелей от того, как качаются на них: сидя или стоя?

8. Для записи колебательного движения используют воронку в виде конуса, наполненную песком. Песок высыпается из воронки и оставляет след на пластине, равномерно перемещающейся под воронкой. Изменяется ли частота колебаний такого маятника по мере высыпания песка?

9. Для какой цели «чечевица» маятниковых часов не закрепляется неподвижно на его стержне, а надевается на него таким образом, что ее можно перемещать по этому стержню вверх и вниз и закреплять на любой высоте?

10. Если настенные маятниковые часы отстают, то что надо сделать, чтобы восстановить правильность их хода?

11. Прислушайтесь к ходу разных часов. Легко заметить, что продолжительность «тиканья» часов разных марок неодинакова, хотя все они исправно отмеряют привычные нам промежутки времени в секундах, минутах, часах. Какие промежутки времени отмеряют часы своим «тиканьем»?

12. Зависит ли энергия колебаний от частоты колебательного процесса?

13. Только ли при совпадении частот собственных и вынуждающих колебаний увеличивается амплитуда колебаний?

14. В ведре несут воду. Если ведро начинает сильно раскачиваться и вода выплескивается, достаточно изменить частоту шагов, чтобы это явление прекратилось. Почему?

15. Для защиты портовых сооружений от морских волн акваторию порта ограждают сплошной каменной стеной-молот. Почему нельзя ограничиться установкой только отдельных свай, разделенных промежутками, которые поглощали бы энергию морских волн?

16. Почему при некоторой скорости движения оконные стекла в автобусе начинают дребезжать?

17. Когда дисковой пилой начинают перепиливать доску, слышен высокий звук. По мере того как пила входит в доску, звук понижается. Почему?

18. В каком случае камертон звучит дольше: если его держать в руке или укрепить на резонаторном ящике?

19. В каком случае камертон звучит громче: если его держать в руке или прижать его ножку к крышке стола?

20. Продольными или поперечными являются волны, возбуждаемые в гитарной струне, в воздухе?

21. Рассказывают, что когда Бетховен потерял слух, он, тем не менее, слушал игру на рояле, но для этого прижимал один конец трости к роялю, а другой — сжимал зубами. Можно ли верить подобным рассказам?

22. Для чего смычок перед игрой натирают канифолью?

23. Громкость воспринимаемого звука убывает обратно пропорционально квадрату расстояния до источника. Слушатель, сидящий в пятом ряду, находится приблизительно втрое дальше от музыканта-исполнителя, чем сидящий в первом ряду. Однако условия слышимости в обоих случаях мало отличаются друг от друга. Почему?

24. Голос слышен на большом расстоянии, но слов иногда разобрать нельзя. Чем это объяснить?

25. Почему иногда летучие мыши садятся на головы людей?

26. Почему в помещении радиоприемник звучит более громко, чем на открытом воздухе?

27. Период колебания пружины 0,5 с. Вычислите частоту колебаний.

28. Частота колебаний ножек камертона «ля» составляет 440 Гц. Определите период колебаний ножек камертона.

29. Определите длину математического маятника, колеблющегося с частотой 1 Гц при $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

30. Дано уравнение гармонических колебаний: $x = 0,2 \sin(6,28t)$. Определите амплитуду и период колебаний.

31. Напишите уравнение гармонических колебаний точки, имеющей наибольшее отклонение 30 см от положения равновесия и совершающей 50 полных колебаний за 1 мин 40 с.

32. Имеют ли место в волне взаимные преобразования кинетической энергии частиц среды в потенциальную и наоборот как при колебательных движениях?

33. Две волны, полученные на воде, распространяются навстречу друг другу. Что можно наблюдать в точке схождения волн, если разность хода волн равна 13,2 м, а длина волны 1,2 м?

34. Первый раскат грома дошел до наблюдателя через 8 с после того, как была замечена вспышка молнии. На каком расстоянии от наблюдателя возникла молния?

35. Какой путь пройдет ультразвуковая волна длиной 3 см за 0,001 с, если генератор, испускающий такие волны, работает на частоте 1 МГц?

36. Для обработки твердых материалов (германий, кремний, алмаз и т.д.) применяют ультразвуковой станок. Определите частоту ударов ультразвуковой волны по абразиву, разрушающему материал, если период между ударами $5 \cdot 10^{-5} \text{ с}$.

37. Летучая мышь издает ультразвук, а затем улавливает эхо, отраженное от препятствия. Таким образом летучая мышь с помощью звуковых волн как бы ощупывает находящиеся перед ней предметы. Частота звуков, издаваемых летучей мышью, достигает 50 кГц. Чему равна длина звуковых волн, излучаемых летучей мышью? Скорость звука в воздухе принять равной 340 м/с.

38. На каком расстоянии находится лес, если эхо слышится через 2,5 с после произнесения звука?

39. Как изменится звучание ноты «ля» (частота колебаний 440 Гц), записанной на граммофонной пластинке, если диск проигрывателя будет делать не 33,3, а 45 оборотов в 1 мин.

40. Определите скорость звука в воде, если колебания с периодом 0,005 с вызывают волну длиной 7,175 м.

41. Какое выражение верно:

- 1) всякое звучащее тело колеблется;
- 2) всякое колеблющееся тело звучит?

Ответ объясните.

42. Математический маятник, представляющий собой шарик на тонкой нити, отклоняясь от положения равновесия, поднимается на высоту 10 см. С какой скоростью шарик маятника проходит положение равновесия?

43. Приведите в колебательное движение груз (гайку), подвешенный на резиновой нити (пружине). Сколько колебаний совершит груз до полного затухания колебаний в воздухе, а затем в воде? Начальная амплитуда колебаний в обоих случаях должна быть одинаковой. Какой вывод можно сделать из проведенных опытов?

44. Рассчитайте и изготовьте маятник с полупериодом 1 с. Маятник совершает свободные колебания. Изменяется ли при этом сила натяжения нити маятника? Начертите график зависимости частоты колебаний маятника от его длины. Почему длина маятника в настенных часах-ходиках другая? Сделайте обобщающие выводы.

45. Осторожно выведите из положения равновесия рычажные весы и наблюдайте за колебаниями чашек. Что общего и различного в их колебаниях? Какие преобразования энергии происходят при колебаниях чашек?

46. Исследуйте грунтовую дорогу, по которой современные многотонные самосвалы возят из карьера камень, песок, щебень, глину. Почему на такой дороге с течением времени образуются периодически повторяющиеся впадины и бугры? Сделайте зарисовки и объясните наблюдаемое явление.

47. Иногда при определенной скорости работы швейной машины стол, на котором она установлена, начинает вибрировать. Постарайтесь пронаблюдать это явление и объяснить его суть.

48. Если ведра с водой нести на коромысле, то при определенном темпе ходьбы они начинают сильно раскачиваться. Выясните, при каких условиях это возможно. Как объяснить это явление? Как уменьшить раскачивание ведер? Как избежать расплескивания воды?

49. Проведите по зубцам расчески листком картона или толстой бумаги сначала быстро, а затем медленно. Когда звук выше? От чего зависит высота звука? Объясните наблюдаемое явление. Какую закономерность Вы обнаружили?

50. Почему при проверке колес вагонов во время стоянки поездов на узловых железнодорожных станциях их обстукивают молот-

ком с длинной деревянной ручкой? Какое физическое явление при этом используется?

51. Попробуйте делать рукой небольшие, возможно более быстрые колебания и подсчитайте, какое наибольшее число колебаний в 1 с Вам удастся достигнуть. Дают ли колебания руки уловимый ухом звук? При какой частоте?

52. Попытайтесь негромко петь в пустую банку. При определенном тоне звук очень усиливается, а банка задрожит. Почему? Исследуйте, как зависят эффект от размеров банки. Сделайте выводы.

53. В домашних условиях изучите, как влияют на громкость звука занавески и мягкая мебель, наличие ковров. Способ исследования предложите сами. Сделайте обобщающий вывод.

54. Поставьте будильник на стол. Слышно ли его тиканье, если Вы находитесь на расстоянии 1 м от него? Приложите ухо к столу примерно на таком же расстоянии от будильника. Слышно ли тиканье теперь? Повторите опыт, поставив будильник на бумагу, вату, кусок ткани, металлическую или стеклянную пластинку, блюдо. Запишите Ваши наблюдения и сделайте вывод о передаче звука различными телами. Приведите примеры хороших и плохих проводников звука.

55. Установите, почему телеграфные провода «гудят» даже при незначительном ветре. При каком направлении ветра «гудение» проводов максимальное? Почему? Будет ли наблюдаться это явление в безветренную погоду?

56. При каком минимальном расстоянии возникает эхо. Способ определения придумайте самостоятельно. В больших помещениях всегда есть эхо. Проверьте это. Полезно или вредно оно для театрального, концертного залов? Почему мы не слышим эхо в обычной жилой комнате?

57. Рассмотрите через лупу поверхность граммпластины. Какой вид имеет звуковая бороздка? Почему? Если изменить скорость вращения диска, то изменится и звучание граммпластины. Как и почему изменится звук? Почему старая граммпластина звучит хуже? Зачем меняют иглу в электрофоне? Рассмотрите долгоиграющую пластинку и сравните ее с обычной. За счет чего увеличивается длительность звучания?

58. Почему концертные залы обычно строят узкими, с высокими потолками. Почему акустика зала, заполненного зрителями, намного лучше, чем пустого?

59. Рассмотрите детскую игрушку «поющий волчок». Объясните, как при вращении волчка возникает звук. Какие из величин, характеризующих звук (высота тона, громкость, тембр), зависят от скорости вращения волчка?

60. Постучите карандашом по пустым бутылкам разного размера. Какие бутылки издадут звук выше? Что это значит? Возьмите несколько одинаковых бутылок и наполните их разным количеством

воды. Постучите по ним карандашом. Когда звук выше? Какой вывод можно сделать из проведенных опытов?

Электромагнитные колебания и волны

61. Колебательный контур состоит из катушки с постоянной индуктивностью и конденсатора переменной емкости с раздвигающимися пластинами. Что нужно сделать с пластинами конденсатора, чтобы настроить контур на прием более длинных волн?

62. Почему бапти телескопов строят очень высокими?

63. Если включенный карманный приемник поместить в кастрюлю и закрыть крышкой, то радиоприем сразу же прекратится. Почему?

64. Почему со временем прекращаются электромагнитные колебания в закрытом колебательном контуре?

65. Для настройки радиоприемника на станцию изменяют собственную частоту колебательного контура. Какие параметры L или C при этом изменяют?

66. Каково происхождение «тресков», которые мешают приему радиопередачи радиоприемником?

67. Почему затруднена радиосвязь на коротких волнах в горной местности?

68. Почему ухудшается или совсем прекращается радиоприем в автомобилях при проезде их под мостами или в тоннеле?

69. Как изменится частота электромагнитных колебаний в закрытом колебательном контуре, если в его катушку ввести железный сердечник?

70. Определите индуктивность катушки колебательного контура, если известно, что при емкости 250 пФ контур настроен в резонанс на электромагнитные колебания длиной волны 300 м .

71. Сравните длину электромагнитной волны в данной среде с длиной волны в вакууме, если электромагнитные колебания частотой $1 \cdot 10^6\text{ Гц}$ возбуждают в некоторой однородной среде электромагнитные волны длиной 200 м .

72. Металлоискатель представляет собой генератор незатухающих колебаний звуковой частоты. Когда катушку индуктивности этого генератора приближают к металлическому предмету, скрытому в земле или стене, в телефонных наушниках высокий тон сменяется низким. Почему?

73. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $0,001\text{ мкФ}$ и катушки индуктивностью $0,0001\text{ Гн}$. Каковы период и частота электромагнитных колебаний в таком контуре?

74. В каком диапазоне длин волн может работать приемник, если емкость конденсатора в его колебательном контуре плавно изменяется от 50 до 500 пФ , а индуктивность катушки постоянна и равна 20 мкГн ?

75. Дальность действия авиационной радиолокационной станции достигает 400 км. Через какое время вернется в приемник станции отраженный сигнал, если цель находится на максимальном расстоянии?

76. Судовая радиолокационная станция излучает электромагнитные волны длиной 0,8 см. Какие размеры должен иметь предмет, чтобы его можно было обнаружить с помощью судового радиолокатора?

77. Чем отличаются электромагнитные излучения вибратора Герца и заряда, движущегося с произвольным, периодически переменным, ускорением?

78. Как известно, антенны системы радиовещания монтируют вертикально, а телесантенны — горизонтально. Чем объяснить такую особенность монтирования антенн?

79. Начертите схему открытого колебательного контура и объясните, какую роль играют в нем антенна и заземление.

80. Как должна двигаться электрически заряженная частица, чтобы она излучала электромагнитные волны?

81. Назовите основные свойства электромагнитных волн.

82. Почему металлы отражают и поглощают электромагнитные волны?

83. Почему неподвижные электрические заряды не взаимодействуют с магнитными полями, а подвижные — взаимодействуют?

84. Какие характеристики электромагнитного поля периодически изменяются в бегущей электромагнитной волне?

85. Как осуществляется настройка радиоприемника на частоту радиостанции?

86. Включите и выключите несколько раз освещение в комнате в то время, когда работает радиоприемник. Что Вы наблюдаете? Почему наблюдаемый эффект не зависит от того, на какую длину волны настроен радиоприемник?

87. Почему работающие электрические звонки, швейные машины, пылесосы, утюги с терморегуляторами, лампы дневного света могут быть источниками радиопомех. Передко утверждают, что работающие рентгеновские установки, а также тракторы также создают радиопомехи. Так ли это на самом деле?

88. Поместите работающий карманный радиоприемник в металлическое ведро или кастрюлю с крышкой. Как это отражается на радиоприеме? Почему? Будет ли иметь место тот же эффект, если приемник поместить в пластмассовое ведро?

89. Выясните, проведя соответствующие наблюдения, почему, когда человек приближается к работающему радиоприемнику или телевизору с комнатной антенной, заметно нарушается качество принимаемого сигнала. При наличии наружной антенны нарушения незаметны.

90. Одним из признаков хорошей погоды является заметное усиление радиопомех к середине дня и после полудня (треск, щелчки,

шумы в радиоприемнике), а предвестником неустойчивой погоды — сильные радиопомехи в течение суток. Проведите наблюдения и объясните физическую сущность этих признаков. Из проведенных наблюдений сделайте обобщающие выводы.

91. Изучите устройство наружной антенны радиоприемника. Попробуйте оборудовать внутреннюю (комнатную) антенну. Проведите эксперименты по исследованию зависимости громкости звука в радиоприемнике от ориентации антенны. От чего еще может зависеть громкость? Сравните работу радиоприемника с наружной и внутренней антеннами. Сделайте аргументированные выводы.

4.2. Электромагнитные волны оптического диапазона (световые волны)

Теоретические сведения

Длину электромагнитной волны λ в вакууме определяют как

$$\lambda = cT = c/\nu, \quad (125)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — *скорость распространения электромагнитных волн в вакууме*, ν — частота, T — период колебаний. При решении задач мы будем считать, что скорость распространения электромагнитных волн в атмосфере с некоторым приближением равна скорости их распространения в вакууме.

Скорость v распространения световых электромагнитных волн (света) в среде

$$v = c/n, \quad (126)$$

где n — показатель преломления среды относительно вакуума (воздуха):

$$n = \sqrt{\epsilon\mu}, \quad (127)$$

где ϵ и μ — диэлектрическая и магнитные проницаемости среды.

При переходе светового луча из одной среды с показателем преломления n_1 в другую среду с показателем преломления n_2 выполняется *закон преломления света*:

$$\sin \alpha / \sin \beta = n, \quad (128)$$

где α — угол падения; β — угол преломления светового луча;

$$n = n_2/n_1, \quad (129)$$

где n — показатель преломления второй среды относительно первой.

При явлении *полного отражения* света

$$\sin \alpha_r = n_2/n_1, \quad (130)$$

где α_n — предельный угол падения, для которого угол преломления равен 90° .

В этом случае всегда $n_2 < n_1$.

Интенсивность света, прошедшего поляризатор и анализатор,

$$I = I_0 \cos^2 \varphi, \quad (131)$$

где φ — угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора; I_0 — интенсивность света, прошедшего через поляризатор.

Существует такой угол падения i , называемый углом Брюстера, при котором отраженный свет оказывается полностью поляризованным (закон Брюстера):

$$\operatorname{tg} i = n_{21}, \quad (132)$$

где $n_{21} = n_2/n_1$ — показатель преломления среды, в которой распространяется преломленный свет, относительно среды, в которой распространяется падающий свет.

Примеры решения задач

Задача 1. Первый в мире искусственный спутник Земли, запущенный в Советском Союзе 4 октября 1957 г., имел на борту две радиостанции, излучающие радиоволны $\lambda_1 = 15$ м и $\lambda_2 = 7,5$ м. Вычислите частоты ν_1 и ν_2 электромагнитных колебаний, генерируемых этими станциями.

Дано: $\lambda_1 = 15$ м, $\lambda_2 = 7,5$ м.

Решение. По известной формуле (125)

$$\nu = c/\lambda;$$

$$\nu_1 = \frac{3 \cdot 10^8}{15} = 20 \text{ МГц}; \quad \nu_2 = \frac{3 \cdot 10^8}{7,5} = 40 \text{ МГц}.$$

Задача 2. Частота монохроматического излучения $6 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$. Определите длину волны λ данного излучения.

Дано: $\nu = 6 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

Решение. Согласно формуле (125), имеем

$$\lambda = c/\nu;$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^{14}} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 500 \text{ нм}.$$

Задача 3. Длина волны красной линии водорода в вакууме равна 656,3 нм. Какова длина этой волны $\lambda_{\text{ст}}$ в стекле, если показатель преломления стекла равен 1,6?

Дано: $\lambda = 656,3 \text{ нм} = 6,563 \cdot 10^{-7} \text{ м}$, $n = 1,6$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

Решение. Используя формулы (125) и (126), найдем

$$\lambda_{\text{ст}} = v_{\text{ст}}/\nu = c/(\nu n) = \lambda/n;$$

$$\lambda_{\text{ст}} = \frac{6,563 \cdot 10^{-7}}{1,6} = 4,1 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 410 \text{ нм.}$$

Задача 4. Параллельный пучок света падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку под углом α , синус которого равен 0,8. Вышедший из пластинки пучок смещен относительно продолжения падающего пучка на расстояние 2 см. Какова толщина пластинки l , если показатель преломления стекла равен 1,7?

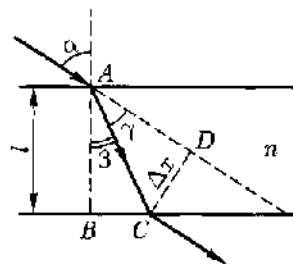


Рис. 39

Дано: $\sin \alpha = 0,8$, $\Delta x = 2 \text{ см}$, $n = 1,7$.

Решение. Толщина пластинки определяется из $\triangle ABC$ (рис. 39) как $l = AC \cos \beta$.

Используя формулу (128), найдем

$$\sin \beta = \sin \alpha / n = 0,8 / 1,7 = 0,472;$$

$$\beta = 28^\circ 6' \text{ и } \cos \beta = 0,882.$$

Из $\triangle ADC$ определяем $AC = \Delta x / \sin \gamma = \Delta x / \sin(\alpha - \beta)$, так как $\gamma = \alpha - \beta$. Поскольку $\sin \alpha = 0,8$, то $\alpha = 53^\circ 12'$. Окончательно получим

$$l = \frac{\Delta x}{\sin(\alpha - \beta)} \cos \beta; \quad l = \frac{2}{\sin(53^\circ 12' - 28^\circ 6')} 0,882 = 4,2 \text{ см.}$$

Вопросы и задания

Распространение электромагнитных волн

1. Что изменяется: длина волны или частота при переходе монохроматического света из одной прозрачной среды в другую?
2. Длина волны красного света в воде равна длине волны зеленого света в воздухе. Какой цвет увидит человек под водой, если вода освещена красным светом?
3. За какое время свет проходит расстояние от Луны до Земли, если среднее расстояние между ними $3,8 \cdot 10^5 \text{ км}$?
4. От ближайшей звезды (альфа-Центавра) свет доходит до Земли за 4,1 года. Определите расстояние до этой звезды.
5. Расстояние от Солнца до Земли 149,6 млн км. Это расстояние принимается в астрономии за одну астрономическую единицу (а. е.). Сколько времени идет свет от Солнца до Земли?
6. В астрономии за единицу расстояния иногда принимают «световой год» — расстояние, которое проходит свет в вакууме за 1 год. Выразите «световой год» в метрах и астрономических единицах.
7. Частота света $7,5 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$. Какая длина волны и какой цвет соответствуют этой частоте в воздухе?

8. Какие частоты колебаний соответствуют крайним лучам видимой части спектра ($\lambda_{\text{кп}} = 760$ нм; $\lambda_{\text{ф}} = 400$ нм)?

9. Какие частоты колебаний соответствуют длинам волн: в крайней инфракрасной области ($\lambda_1 = 2700$ нм), красной части видимого спектра ($\lambda_2 = 759,4$ нм), крайней фиолетовой части видимого спектра ($\lambda_3 = 395$ нм) и в крайней ультрафиолетовой области ($\lambda_4 = 185$ нм)?

10. Желтому цвету натрия соответствует длина волны 589 нм в воздухе. Каковы длины волн этого света в воде и алмазе? Показатель преломления алмаза 2,42.

11. Длина волны красных лучей в воздухе 700 нм. Какова длина их волны в воде? Вода освещена красным светом. Какой цвет видит человек, открывший глаза под водой?

12. Определите, насколько меняется длина волны красных лучей при переходе из вакуума в стекло, если показатель преломления стекла 1,5 (частоту красных лучей взять из справочников).

13. С какой скоростью распространяется свет в воде и алмазе ($n_{\text{в}} = 1,33$; $n_{\text{ал}} = 2,42$)?

14. Показатель преломления сероуглерода для света с $\lambda = 589$ нм равен 1,629. Определите скорость распространения этого света в сероуглероде.

15. Показатель преломления одного из сортов стекла для красных лучей равен 1,5, а для фиолетовых — 1,54. Определите скорости распространения этих лучей в стекле.

16. Определите скорость распространения света в скипидаре, если известно, что при угле падения $\alpha = 45^\circ$ угол преломления $\beta = 30^\circ$.

17. Для тяжелого «флинта» (разновидность стекла) показатели преломления для красных и фиолетовых лучей соответственно равны 1,745 и 1,709. Насколько отличаются их скорости в данном стекле?

18. Для демонстрации опытов Герца с преломлением электромагнитных волн иногда берут большую призму, изготовленную из парафина. Определите показатель преломления парафина, если диэлектрическая проницаемость его равна 2, а магнитная проницаемость — 1.

Прямолинейное распространение света. Законы отражения и преломления света

19. Почему обувь, начищенная гуталином, блестит?

20. Монохроматический пучок света падает из вакуума на среду с показателем преломления n . Как связаны между собой частоты падающей и преломленной волн? Каково соотношение между длинами этих волн?

21. Почему измеряемая угловая высота небесного тела над горизонтом кажется больше, чем в действительности?

22. Почему, сидя у горящего костра, мы видим предметы, расположенные по другую сторону костра, колеблющимися?

23. Какой представляется точка, падающая на поверхность воды, смотрящему из воды: приближенной к поверхности или более удаленной? Поясните явление чертежом.

24. Почему с улицы через оконные стекла трудно рассмотреть, что находится внутри комнаты?

25. Почему законченная медная монета, положенная на дно сосуда с водой, кажется серебряной?

4.3. Волновые свойства света

Теоретические сведения

Когерентные волны двух когерентных источников света могут складываться, или интерферировать. В результате интерференции происходит усиление или ослабление световых колебаний и образуются *интерференционные полосы*.

Пусть t — расстояние между когерентными источниками, L — расстояние от источника до экрана, где наблюдается интерференционная картина, λ — длина распространяющейся волны, тогда *ширина* интерференционной полосы

$$\Delta l = (L/t)\lambda. \quad (133)$$

Если свет распространяется в вакууме, где показатель преломления среды $n = 1$, то оптическая разность хода δ лучей равна геометрической разности Δr хода и условие образования максимума (усиления) при интерференции выглядит так:

$$\delta = k\lambda_0. \quad (134)$$

Условие образования минимума (ослабления или гашения волн)

$$\delta = (2k + 1)\lambda_0/2, \quad (135)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$ — целое число; λ_0 — длина волны в вакууме.

Следует иметь в виду, что

$$\delta = n\Delta r. \quad (136)$$

Если плосковыпуклую линзу большого диаметра, лежащую выпуклостью на плоской стеклянной пластинке, осветить монохроматическим светом, на ней возникают светлые и темные кольца — *кольца Ньютона*. Вычислить радиусы r_k колец Ньютона, возникающих в отраженном свете, при неизменном радиусе R кривизны линзы можно по формулам ($n = 1$):

$$r_k = \sqrt{k\lambda_0 R} \quad (\text{для темных колец}); \quad (137)$$

$$r_k = \sqrt{(2k-1)R\lambda_0/2} \quad (\text{для светлых колец}), \quad (138)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$ — порядковый номер кольца.

Примеры решения задач

Задача 1. На каком расстоянии Δr_2 в вакууме уложится столько же длин волн монохроматического света, сколько их укладывается на отрезке $\Delta r_1 = 3$ мм в воде?

Дано: $\Delta r_1 = 3$ мм, $n_1 = 1,33$, $n_2 = 1$.

Решение. В обоих случаях оптическая разность хода лучей остается одинаковой. Применив формулу (136), получим

$$n_1 \Delta r_1 = n_2 \Delta r_2 = \delta; \quad \Delta r_2 = \frac{n_1 \Delta r_1}{n_2};$$

$$\Delta r_2 = \frac{1,33 \cdot 3}{1} \approx 4 \text{ мм.}$$

Задача 2. Найти радиус r_1 первого темного кольца Ньютона, если между линзой и пластинкой налит бензол ($n = 1,5$). Радиус кривизны линзы $R = 1$ м. Показатели преломления линзы и пластинки одинаковы. Наблюдение ведется в отраженном натриевом свете ($\lambda = 589$ нм).

Дано: $n = 1,5$, $R = 1$ м, $\lambda = 589$ нм, $k = 1$.

Решение. Применив формулу (137) с учетом того, что $n = 1,5$, получим

$$r_k = \sqrt{k\lambda R/n}; \quad r_1 = \sqrt{\lambda R/n};$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{1 \cdot 5,89 \cdot 10^{-7}}{1,5}} = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,63 \text{ мм.}$$

Вопросы и задания

Интерференция. Дифракция и поляризация световых волн

1. Объясните, почему явление интерференции убедительно доказывает, что свет — это типично волновой процесс.

2. Параллельный пучок света падает на небольшое отверстие в экране. Какие изменения он претерпевает, пройдя через отверстие?

3. Чем объясняется расцветка крыльев стрекоз?

4. Почему не могут интерферировать лучи, идущие от двух различных источников или даже от двух различных точек одного и того же источника?

5. Почему меняется окраска крыльев насекомого, если его рассматривать под разными углами?

6. С помощью зеркал Френеля получили интерференционные полосы, пользуясь красным светом. Как изменится картина интерференционных полос, если воспользоваться фиолетовым светом?

7. Можно ли «потушить» свет светом? Как это сделать?

8. Для уменьшения потерь света на отражение в оптических приборах применяют «просветление» оптики. Чему должна быть равна толщина нанесенной на линзу пленки, чтобы отраженные лучи были полностью «погашены»?

9. Какова приблизительно толщина пленки мыльного пузыря в местах, где он кажется голубым?

10. Какой должна быть толщина пластинки при $n = 1,6$ и $\lambda = 550$ нм, если с введением пластинки на пути одного из интерферирующих лучей картина смещается на четыре полосы?

11. Какой путь пройдет фронт волны монохроматического света в вакууме за то же время, за которое он проходит 1 м в воде?

12. Определите длину волны монохроматического излучения, если в опыте Юнга (рис.40) расстояние первого интерференционного максимума от центральной полосы равно 0,05 см, расстояние между отверстиями — 0,5 см, а экран расположен на расстоянии 5 м от отверстий S_1 и S_2 .

13. Расстояние между двумя когерентными источниками света ($\lambda = 500$ нм) равно 0,1 мм. Расстояние между светлыми полосами на экране в средней части интерференционной картины 1 см. Определите расстояние от источников до экрана.

14. Для наблюдений колец Ньютона используют плосковыпуклую линзу с радиусом кривизны $R = 1,6$ м. Определите радиус девятого темного кольца ($\lambda = 625$ нм) в отраженном свете.

15. Радиус кривизны плосковыпуклой линзы равен 4 м. Определите длину волны падающего света, если радиус пятого светлого кольца в отраженном свете равен $3,6 \cdot 10^{-3}$ м.

16. Вычислите радиус первого темного кольца Ньютона, если между линзой и пластиной налит бензол ($n = 1,6$). Радиус кривизны линзы 1 м. Показатели преломления материала линзы и пластины одинаковы. Наблюдение ведется в отраженном свете ($\lambda = 640$ нм).

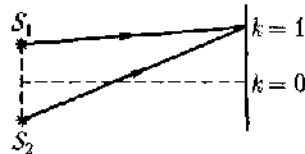


Рис. 40

17. Как объясняется возникновение радужных кругов, наблюдаемых вокруг уличных фонарей, если смотреть через капроновую ткань?

18. При изготовлении искусственных перламутровых пуговиц на их поверхности делают мельчайшую штриховку. Почему после этого пуговица приобретает радужную окраску?

19. В чем различие когерентных и некогерентных источников света?

20. Плоскопараллельную пластинку освещают белым светом. Изменится ли цвет пластинки при изменении угла падения на нее лучей света?

21. Почему на фотографиях звездного неба, полученных с помощью телескопа, изображения звезд получаются не в виде точки, а в виде дифракционных кружков?

22. Изображения звезд в телескопе имеют вид дифракционных кружков, кружки имеют радужную окраску. Почему?

23. Как влияет число штрихов дифракционной решетки на расстояние между полосами и на их размеры в спектрах решетки?

24. Как изменится вид спектров дифракционной решетки, если ее погрузить в воду?

25. Хотя граммофонная пластинка имеет всего 3...5 штрихов на 1 мм, в отраженном от нее свете при больших углах падения отчетливо виден дифракционный спектр. Объясните происхождение спектра. Какое значение при его возникновении имеет угол падения?

26. Установлено, что отраженный луч поляризуется полностью, если он образует угол 90° с преломленным лучом. Какой угол падения i соответствует этому случаю?

27. Будет ли полностью поляризованным преломленный в прозрачном диэлектрике свет согласно условиям предыдущей задачи?

28. Определите угол полной поляризации при переходе луча из воздуха в алмаз. Показатель преломления алмаза 2,42.

29. Угол полной поляризации при падении луча на поверхность некоторой жидкости равен $50^\circ 30'$. Что это за жидкость?

30. При каком условии происходит полная поляризация луча, отраженного от поверхности прозрачного вещества? Определите угол падения и преломления при полной поляризации отраженного луча от поверхности глицерина ($n = 1,47$).

31. Если на мокрый асфальт падает капля бензина, образуется пятно, окрашенное в цвета радуги. Каков механизм образования цветных пятен? Проанализируйте и объясните это явление.

32. Какие цвета появляются на поверхности нагретого элемента паяльника по мере повышения температуры? Каков механизм этого явления?

33. Объясните наличие радужной окраски у некоторых автомобильных стекол. Будут ли меняться цвета, если рассматривать стекло под разными углами?

34. Закройте плотно ставни окон и оставьте маленькое отверстие, чтобы проникал пучок света. Какие изображения Вы наблюдаете

на стене, которая находится напротив окна? Зависит ли наблюдаемая картина от размеров отверстия? Почему?

35. В куске картона сделайте иглой отверстие и посмотрите через него на раскаленную нить лампы накаливания. При этом лист с отверстием расположите на расстоянии 25...30 см от глаза. Что Вы видите? Посмотрите на эту нить через птичье перо, батистовый платочек или капроновую ткань. Что Вы наблюдаете? Одинаковы ли результаты опытов? Почему?

36. Как изменится разрешающая сила дифракционной решетки, если одну ее половину прикрыть поляроидом, ориентированным параллельно штрихам решетки, а другую — поляроидом, ориентированным перпендикулярно штрихам? Будет ли зависеть разрешающая сила решетки от поляризации света?

37. Если смотреть через поляризационную пластинку на ясное небо, то при ее поворачивании интенсивность пропущенного света изменяется вдвое. Если через пластинку рассматривать облако, это явление не наблюдается. Чем это объяснить? Посмотрите через поляроид на блики на блестящей поверхности, небо под углом 90° к направлению на Солнце, на радугу. Наблюдайте изменение видимой яркости при повороте поляроида. Как Вы объясните увиденное?

Дисперсия света

38. Одинакова ли скорость распространения красного и фиолетового излучений в вакууме, в воде?

39. Обладает ли дисперсией монохроматический световой пучок?

40. В чем отличие дифракционного спектра белого излучения от призматического?

41. Докажите, что при переходе монохроматического света из одной среды в другую, показатели преломления которых различны, длины волн пропорциональны скоростям распространения света в этих средах.

42. Какое тело называется белым? Какое тело называется черным?

43. Каким будет казаться цвет зеленых листьев, если смотреть на них через красный или зеленый светофильтр?

44. Почему днем, при ярком солнечном свете, на большой глубине в морях и океанах темно?

45. Коричневый цвет отсутствует в сплошном спектре. Как возникает этот цвет?

46. Как влияют первая и вторая поверхности призмы на разложение белого света на спектр?

47. Белый луч света переходит из стеклянной призмы в воздух. Что при этом происходит?

48. Что видит наблюдатель, рассматривающий сквозь стеклянную призму черту на белой бумаге?

49. На черный экран наклеили горизонтальную узкую полосу белой бумаги. Какими будут казаться верхний и нижний края этой бумаги, если на нее смотреть сквозь призму, обращенную преломляющим ребром вверх?

50. В сосуд из зеленого стекла налиты красные чернила. Какого цвета кажутся чернила? Почему?

51. Объясните происхождение цвета синей бумаги, синего светофильтра, голубого неба.

52. Чем объясняется белый цвет снега, черный цвет сажи, зеленый цвет листьев, красный цвет флага?

53. Для чего при стирке белья в воду добавляют «синьку»?

54. Какого цвета должны казаться трава и листья деревьев, если рассматривать их через фиолетовый светофильтр?

55. Светофор дает три сигнала: красный, желтый, зеленый, тогда как внутри него установлены обычные лампы накаливания. Почему и как получаются разноцветные сигналы светофора?

56. Почему на транспорте сигнал опасности красного цвета?

57. Некоторые автомобили имеют дополнительные противотуманные фары желтого цвета. Почему такие фары освещают дорогу в туманную погоду?

58. Лента, имеющая при дневном свете светло-синий цвет, при свете свечей кажется другого цвета. Каков этот цвет и почему?

59. Почему с Земли небо кажется голубым, а с Луны — черным?

60. Почему художники пишут красками только при дневном освещении?

61. Два луча желтого цвета с $\lambda = 600$ нм сходятся в одной точке. Разность хода этих лучей 0,3 мм. Что наблюдают в точке схождения лучей?

62. На поверхности грампластинки, рассматриваемой под небольшим углом, видны цветные полосы. Как объяснить это явление?

Виды излучения. Рентгеновские лучи

63. Почему атомы каждого химического элемента имеют строго определенный линейчатый спектр излучения и поглощения?

64. Чем отличаются линейчатые спектры излучения различных химических элементов?

65. Как определить химический состав вещества с помощью спектрального анализа?

66. Какой физический смысл фраунгоферовых линий в сплошных спектрах Солнца и звезд?

67. Излучают ли электромагнитные волны горящие дрова, негорящие дрова?

68. По какому свойству ультрафиолетового излучения легко обнаружить его существование?

69. При какой температуре возникает инфракрасное излучение тел?

70. По какому свойству инфракрасного излучения легко обнаружить его существование?

71. Где больше интенсивность ультрафиолетовых лучей солнечного излучения: у поверхности Земли или в открытом Космосе?

72. Как доказать, что рентгеновское излучение имеет волновую природу?

73. Почему под солнечными лучами люди загорают? Можно ли загореть через стекло?

74. Почему ртутные лампы ультрафиолетового излучения делают из кварца, а не из стекла?

75. Почему высоко в горах загорают быстрее, чем на равнине внизу?

76. Можно ли использовать в качестве источников освещения ртутные лампы?

77. Для чего спецодежду сталеваров и мартенников покрывают специальным металлическим слоем?

78. Каким излучением можно быстрее высушить древесину: солнечным или инфракрасным?

79. Комнатный электронагреватель состоит из накаливаемой спирали и вогнутого металлического зеркала (рефлектора). Зачем нужен рефлектор?

80. Инфракрасное облучение зерна уничтожает жучков и вредителей. Почему жучки погибают, а зерно нет?

81. Какое излучение преимущественно поглощается земной атмосферой?

82. При рентгенодиагностике желудка больному дают «бариевую кашу». Зачем?

83. Электроны в катодном луче телевизионной трубки, достигнув экрана, останавливаются. Не возникает ли при этом рентгеновского излучения? Не опасно ли смотреть телевизионные передачи?

84. Подсчитайте длину волны излучения в рентгеновской трубке, к которой приложено напряжение 50 кВ, в предположении, что вся энергия движущихся электронов переходит в излучение.

85. Какое напряжение нужно приложить к рентгеновской трубке, чтобы получить излучение с длиной волны 1 нм?

86. Кинетическая энергия электронов, достигающих анода рентгеновской трубки, равна $1,6 \cdot 10^{-15}$ Дж. При каком анодном напряжении работает эта трубка?

87. Электроны достигают анода рентгеновской трубки, обладая скоростью $1,2 \cdot 10^8$ м/с. Под каким напряжением работает трубка?

88. Почему цвет некоторых швейных изделий при дневном и электрическом освещении различен?

89. При фотографировании нередко применяются желтые и красные светофильтры. Как они влияют на изображение? Почему при использовании светофильтров нужно увеличивать время экспозиции?

90. Раскаленная нить накала электрической лампы имеет красный оттенок, если смотреть на нее через матовую поверхность плафона. Объясните это явление.

91. Почему лампа, баллон которой изготовлен из синего стекла, вызывает ощущение более интенсивного тепла, чем лампа такой же мощности с баллоном, изготовленным из бесцветного стекла. Способ исследования придумайте сами.

92. Изучите, при каком свете (дневном, от люминесцентной лампы, лампы накаливания) быстрее утомляются глаза во время работы (при прочих равных условиях). Какой вывод можно сделать?

Глава 5 КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

5.1. Квантовые свойства света

Теоретические сведения

Одним из явлений, подтверждающих квантовую природу света, является внешний *фотоэффект*, т. е. процесс вырывания электронов из вещества под действием света.

Квант света с энергией $h\nu$, попадая, например, на металл, может выбить из него электрон. Энергия кванта при этом пойдет на совершение так называемой работы выхода A и сообщение электрону кинетической энергии $mv^2/2$.

Это утверждение называется *законом фотоэффекта* и записывается в виде уравнения Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$h\nu = A + mv^2/2. \quad (139)$$

При некотором значении частоты ν_0 излучения кинетическая энергия электронов может стать равной нулю и тогда

$$h\nu_0 = A, \quad (140)$$

где ν_0 — *граничная* или минимальная частота, при которой еще возможен фотоэффект; h — постоянная Планка.

Соответствующее значение $\lambda_0 = c/\nu_0$ называется *красной границей* фотоэффекта:

$$\lambda_0 = hc/A. \quad (141)$$

С помощью квантовой теории удалось объяснить также такие явления, как *давление света* и *люминесценцию*.

Давление света при нормальном падении на поверхность

$$p = \frac{E}{c}(1 - \rho), \quad (142)$$

где E — энергия фотонов, падающих на 1 м^2 тела за 1 с ; c — скорость света; ρ — коэффициент отражения.

Если число фотонов, падающих на 1 м^2 поверхности за 1 с , равно n , то

$$E = nh\nu. \quad (143)$$

Тогда давление света

$$p = \frac{nh\nu}{c}(1 - \rho) = \frac{nh}{\lambda}(1 - \rho). \quad (144)$$

Примеры решения задач

Задача 1. Цезиевый катод фотоэлемента освещают натриевой лампой ($\lambda = 600 \text{ нм}$). Определите скорость v вырываемых из катода фотоэлектронов, если красная граница фотоэффекта для цезия $\lambda_0 = 650 \text{ нм}$.

Дано: $\lambda = 600 \text{ нм} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$, $\lambda_0 = 650 \text{ нм} = 6,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$, $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$.

Решение. Согласно формуле (141), $A = hc/\lambda_0$. С учетом формулы (139) получим $\frac{hc}{\lambda} = \frac{mv^2}{2} + \frac{hc}{\lambda_0}$.

Отсюда

$$v = \sqrt{\frac{2hc(\lambda_0 - \lambda)}{m\lambda\lambda_0}};$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 (6,5 \cdot 10^{-7} - 6 \cdot 10^{-7})}{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 6,5 \cdot 10^{-7} \cdot 6 \cdot 10^{-7}}} \approx \\ \approx 2,36 \cdot 10^5 \text{ м/с} \approx 236 \text{ км/с}.$$

Задача 2. Давление монохроматического света ($\lambda = 600 \text{ нм}$) на черную поверхность, расположенную нормально к падающим лучам, равно 10^{-11} Н/см^2 . Сколько фотонов n падает за 1 с на 1 см^2 этой поверхности?

Дано: $\lambda = 600 \text{ нм} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$, $p = 10^{-11} \text{ Н/см}^2 = 10^{-7} \text{ Н/м}^2$, $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$; $\rho = 0$.

Решение. Общий импульс, перелаваемый n фотонами площадке 1 м^2 за 1 с , представляет собой давление света. Тогда на основании формулы (144) $p = nh/\lambda$ получим

$$n = \frac{p\lambda}{h};$$

$$n = \frac{10^{-7} \cdot 6 \cdot 10^{-7}}{6,62 \cdot 10^{-34}} \approx 9 \cdot 10^{19} \text{ фотон}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$$

или $n \approx 9 \cdot 10^{15} \text{ фотон}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$.

Вопросы и задания

Фотоэлектрический эффект

1. Объясните с точки зрения квантовой природы излучения безынерционность фотоэффекта.
2. В чем состоит различие между внешним и внутренним фотоэффектом?
3. Начертите схему устройства фоторезистора и объясните его преимущества и недостатки при эксплуатации.
4. Почему фоторезисторы обладают инертностью, несмотря на то, что явление фотоэффекта безынерционно?
5. Опыт показывает, что красная граница фотоэффекта при больших интенсивностях может исчезать. Это означает, что максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов зависит не только от частоты, но и от потока света. Объясните опытный факт.
6. Почему первые опыты по обнаружению фотоэффекта проводились на цинковой пластинке?
7. Каково максимальное значение кинетической энергии электронов, вырываемых из катода фотоэлемента при задерживающем напряжении U_3 ? Как выглядит уравнение фотоэффекта при условии запираания фототока?
8. Будет ли иметь место фотоэффект, если на поверхность серебра направить ультрафиолетовые лучи длиной волны 300 нм? Работа выхода электрона из серебра $7,5 \cdot 10^{-19}$ Дж (4,7 эВ).
9. Работа выхода цинка $5,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. Возникает ли фотоэффект под действием излучения, имеющего длину волны 350 нм?
10. Определите работу выхода электрона из металла, если фотоэффект наблюдают при облучении металла светом длиной волны не меньше 400 нм.
11. Наибольшая длина волны света, при которой может наблюдаться фотоэффект на цинке, равна 370 нм. Определите работу выхода электрона из цинка.
12. Определите работу выхода электронов из натрия, если красная граница фотоэффекта равна 500 нм.
13. Излучение с длиной волны 300 нм падает на вещество, для которого граничная частота равна $4,3 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$. Чему равна кинетическая энергия фотоэлектронов?
14. Определите длину волны света, которым освещается поверхность металла, если фотоэлектроны имеют кинетическую энергию $4,5 \cdot 10^{-20}$ Дж, а работа выхода электрона из металла $7,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

15. Наибольшая длина волны света, при которой может наблюдаться фотоэффект на калии, равна 450 нм. Вычислите скорость электронов, вырванных из калия светом с длиной волны 300 нм.

16. Работа выхода электронов у золота равна 4,59 эВ. Определите поверхностный скачок потенциала у золота.

17. Определите длину волны света, которым освещается поверхность металла, если фотоэлектроны имеют кинетическую энергию $4,5 \cdot 10^{-20}$ Дж, а работа выхода равна $3,3 \cdot 10^{-19}$ Дж.

18. Определите скорость фотоэлектронов при освещении калия фиолетовым светом с длиной волны 420 нм, если работа выхода электронов с поверхности металла равна 1,92 эВ.

19. Фотоэффект у данного металла начинается при частоте света $6 \cdot 10^{14}$ Гц. Определите частоту света, если задерживающий потенциал равен 3 В.

Фотон. Корпускулярно-волновой дуализм

20. Имеет ли квант света как частица, обладающая массой и импульсом, кинетическую энергию?

21. Фотон поглощается веществом. Что происходит с массой фотона?

22. Почему не записывают в таблицу массу фотона подобно тому, как это делают с массами других элементарных частиц?

23. Может ли фотон при каких-либо условиях замедлить свое движение в однородной среде (вакууме) или остановиться?

24. Каков импульс фотона, если длина световой волны $5 \cdot 10^{-5}$ см?

25. Определите энергию кванта, соответствующего длине волны 500 нм.

26. Каков импульс фотона, если длина соответствующей световой волны равна 500 нм?

27. При какой длине электромагнитной волны энергия фотона была бы равна $2,8 \cdot 10^{-19}$ Дж?

28. Определите энергии фотонов, соответствующих наиболее длинным ($\lambda = 760$ нм) и наиболее коротким ($\lambda = 400$ нм) волнам видимой части спектра.

29. Подсчитайте массу фотона видимого света, длина волны которого равна 500 нм.

30. Трепированный глаз, длительно находящийся в темноте, воспринимает свет с длиной волны 500 нм при мощности не менее $2,1 \cdot 10^{-17}$ Вт. Сколько фотонов в 1 с попадает в этом случае на сетчатку глаза?

31. Формулу для определения частоты кванта света можно записать в двух вариантах:

$$a) \nu = \frac{c}{\lambda};$$

$$б) \nu = \frac{E}{h},$$

где λ — длина волны; E — энергия кванта; h — постоянная Планка.

Какая из этих формул выражает волновые, а какая корпускулярные свойства света?

32. В формуле Планка $E = h\nu$ заложена идея корпускулярно-волнового дуализма. Прокомментируйте эту мысль.

33. Правильно ли утверждение, что в природе света проявляется корпускулярно-волновой дуализм? Объясните почему.

34. Проанализируйте два утверждения:

- 1) свет — это и волны, и частицы;
- 2) свет — ни волны, ни частицы.

Какое из них, на Ваш взгляд, более правильное? Почему?

35. Объясните интерференционную картину света, опираясь только на его корпускулярные свойства.

Давление света

36. Одни явления объясняются только волновой теорией света, другие — только корпускулярной теорией. Существуют ли явления, которые можно объяснить с точки зрения обеих теорий? О чем это говорит?

37. Одинаково ли давление, оказываемое светом, на черную или белую поверхности?

38. Приведите формулу для определения давления света с учетом отражательной (поглощательной) способности поверхности, на которую падает свет?

39. Параллельный пучок монохроматических лучей ($\lambda = 662$ нм) падает нормально на плоскую зачерненную поверхность и оказывает на нее давление $3 \cdot 10^{-7}$ Н/м². Определите число фотонов, падающих на эту поверхность за 1 с.

40. Пучок параллельных лучей монохроматического света с длиной волны 662 нм падает нормально на зеркальную плоскую поверхность. Поток излучения составляет 0,6 Вт. Определите силу давления на поверхность.

41. Метеорит диаметром 1,2 мм находится на земной орбите. Во сколько раз сила его притяжения к Солнцу больше силы светового давления, если плотность вещества метеорита $7 \cdot 10^3$ кг/м³, и метеорит полностью поглощает все падающие на него излучения ($\rho = 0$)?

42. Два источника света имеют идентичные спектры, только спектральные линии у первого ярче и шире, чем у второго. Что можно сказать о физических условиях, в которых находятся газы в этих источниках излучения?

43. Определите силу светового давления перпендикулярных солнечных лучей на поверхность площадью 100 м², если коэффициент отражения лучей 0,2 и солнечная постоянная $1,4 \cdot 10^3$ Вт/м².

44. На каждый 1 см^2 поверхности, полностью поглощающей световое излучение, каждую секунду падает $3 \cdot 10^{18}$ фотонов оранжевого излучения с длиной волны 600 нм . Какое давление создает это излучение?

5.2. Физика атома

Теоретические сведения

Атом любого элемента состоит из положительно заряженного ядра, вокруг которого по различным орбитам вращаются электроны. При этом выполняются следующие условия:

суммарный заряд всех электронов, входящих в состав атома, равен заряду ядра, т.е. $Q = \Sigma e$, где $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ — заряд электрона;

в стационарном состоянии атом не излучает. Движение электрона вокруг ядра возможно только по определенным орбитам, радиусы r_n которых удовлетворяют соотношению (*первый постулат Бора*):

$$m_e v_n r_n = n \hbar / 2\pi, \quad (145)$$

где m_e — масса электрона; v_n — скорость электрона на n -й орбите; $n = 1, 2, 3, \dots$ — порядковый номер орбиты; $\hbar = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ — постоянная Планка;

испускание (поглощение) света происходит при переходе атома из одного стационарного состояния в другое. Энергия фотона равна разности энергий стационарных состояний (*второй постулат Бора*):

$$\hbar \nu = E_1 - E_2 = \Delta E, \quad (146)$$

где ν — частота излучения; E_1 и E_2 — значения энергии электрона на соответствующих орбитах.

Энергия электрона на n -й стационарной орбите в простейшем по своему строению атоме водорода

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 \hbar^2}, \quad (147)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ — электрическая постоянная; $n = 1, 2, 3, \dots$ — номер орбиты (главное квантовое число).

Длина волны λ света, испускаемого атомом водорода при переходе с орбиты n_2 на орбиту n_1 , может быть определена из формулы

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \quad (148)$$

где $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ — постоянная Ридберга. Для видимого света $n_1 = 2, n_2 = 3, 4, 5, \dots$

Примеры решения задач

Задача 1. Определить энергию E , испускаемую при переходе электрона в атоме водорода с пятой орбиты на вторую.

Д а н о: $n_1 = 2, n_2 = 5$.

Р е ш е н и е. При переходе электрона с пятой орбиты на вторую испускается энергия [см. формулу (146)] $E = E_{n_2} - E_{n_1}$, где E_{n_1} и E_{n_2} определяются по формуле (147):

$$E = \frac{m_e e^4}{8h^2 \varepsilon_0^2 n_2^2} + \frac{m_e e^4}{8h^2 \varepsilon_0^2 n_1^2} = \frac{m_e e^4}{8h^2 \varepsilon_0^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right);$$

$$E = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^4 9,1 \cdot 10^{-31}}{8(6,62 \cdot 10^{-34})^2 (8,85 \cdot 10^{-12})^2} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2} \right) = 4,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Задача 2. При испускании атомом водорода фотона энергия этого атома изменилась на 3,31 эВ. Найдите длину волны λ испускаемого света.

Д а н о: $\Delta E = 3,31 \text{ эВ} = 5,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Р е ш е н и е. Изменение энергии атома при испускании фотона определяется по формуле (146):

$$\Delta E = h\nu.$$

Частота излучения фотона связана с его длиной соотношением $\nu = c/\lambda$, следовательно, $\Delta E = h(c/\lambda)$.

Отсюда

$$\lambda = hc/\Delta E;$$

$$\lambda = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5,3 \cdot 10^{-19}} = 3,75 \cdot 10^{-7} = 375 \text{ нм.}$$

Задача 3. Определите длину волны λ , соответствующую четвертой спектральной линии в видимой области спектра атома водорода.

Д а н о: $n_1 = 2, n_2 = 6$.

Р е ш е н и е. Длину волны света, излучаемого атомом водорода при переходе с одной орбиты на другую, определим по формуле (148):

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right).$$

По условию задачи четвертая спектральная линия в видимой области света появляется тогда, когда электрон переходит с шестой орбиты ($n_2 = 6$) на вторую ($n_1 = 2$) (серия Бальмера). Тогда

$$\lambda = \frac{1}{R(1/n_1^2 - 1/n_2^2)};$$

$$\lambda = \frac{1}{1,097 \cdot 10^7 (1/2^2 - 1/6^2)} = 4,1 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 410 \text{ нм}.$$

Задача 4. Радиус n -й орбиты электрона в атоме водорода равен $2,12 \cdot 10^{-10}$ м. Фотоны какой длины λ волны могут вызвать ионизацию этого атома? (Определите энергию E ионизации атома водорода.)

Дано: $r_n = 2,12 \cdot 10^{-10}$ м.

Решение. Для того чтобы произошла ионизация атома водорода, необходимо сообщить электрону, вращающемуся на n -й орбите, энергию, достаточную для его удаления с этой орбиты ($n_1 = n$) за пределы атома ($n_2 = \infty$). По формуле (148) можно определить длину волны фотона, вызывающего ионизацию атома:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{\infty} \right) = \frac{R}{n^2}.$$

Отсюда $\lambda = n^2/R$ и энергия ионизации $E = h\nu = hc/\lambda = hcR/n^2$, где c — скорость света в вакууме. Таким образом, для определения энергии ионизации E и длины волны λ фотона необходимо знать номер n орбиты.

В атоме водорода на электрон со стороны ядра действует кулоновская сила электростатического притяжения $F_k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n^2}$, где r_n — радиус n -й орбиты. Она является центростремительной силой, удерживающей электрон, движущийся со скоростью v_n , на соответствующей n -й орбите, поэтому

$$\frac{m_e v_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n^2}.$$

$$\text{Отсюда находим } v_n^2 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e r_n}.$$

Исходя из первого постулата Бора [см. формулу (145)], найдем скорость электрона на n -й орбите:

$$v_n = n \frac{h}{2\pi r_n m_e}.$$

$$\text{Тогда квадрат порядкового номера орбиты } n^2 = \frac{\pi m_e e^2 r_n}{\epsilon_0 h^2}.$$

В результате получим

$$\lambda = \frac{\pi m_e c^2 r_n}{\epsilon_0 h^2 R}; \quad E = \frac{h^3 c R \epsilon_0}{\pi m_e c^2 r_n};$$

$$\lambda = \frac{3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} (1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot 2,12 \cdot 10^{-10}}{8,85 \cdot 10^{-12} (6,62 \cdot 10^{-34})^2 \cdot 1,097 \cdot 10^7} = 3,63 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 363 \text{ нм};$$

$$E = \frac{(6,62 \cdot 10^{-34})^3 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 1,097 \cdot 10^7 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}{3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} (1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot 2,12 \cdot 10^{-10}} =$$

$$= 5,5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 3,4 \text{ эВ}.$$

Вопросы и задания

Ядерная модель атома

1. Как определить число протонов и число электронов в атоме? Определите число протонов и электронов в атоме цинка.
2. При каком условии электрон, связанный с атомом, не излучает энергию, а при каком — излучает?
3. В опытах Резерфорда по рассеиванию α -частиц число этих частиц, резко изменивших направление, оказалось небольшим. О чем свидетельствует этот экспериментальный факт?
4. В чем заключается условность аналогии между моделью атома Резерфорда и Солнечной системой?
5. Чем отличается атом, находящийся в основном (нормальном) состоянии, от атома, находящегося в возбужденном состоянии?
6. Имеется ли связь между частотой обращения электрона вокруг ядра атома водорода и частотой его излучения?
7. В каком случае энергия атома водорода больше: когда электрон находится на удаленной от ядра орбите или на самой близкой к ядру?
8. Почему химический элемент имеет только присущий ему линейчатый спектр?
9. Можно ли с помощью химического анализа различить изотопы какого-либо элемента?
10. Из чего следует, что атом (система «ядро — электронная оболочка») стремится к состоянию с минимальной потенциальной энергией?
11. Теоретически в спектре водорода должно быть бесконечное число линий. Почему видны только отдельные спектральные линии?
12. На какие стационарные орбиты переходят электроны в атоме водорода при испускании видимых, ультрафиолетовых, инфракрасных лучей?

13. Чем отличаются атомы нити горячей электрической лампы от атомов нити той же лампы в холодном состоянии?

*Энергетические уровни в атоме.
Излучение и энергии атомов*

14. Почему верхние оболочки атома не заполняются электронами, пока не будут заполнены ими нижние оболочки?

15. Почему химические свойства атома определяются в основном его внешними электронами, а не всей их совокупностью в атоме?

16. Определите скорость α -частиц, энергия которых равна 100 эВ.

17. Вычислите радиус первой круговой орбиты электрона атома водорода, если относительная диэлектрическая проницаемость вакуума равна 1.

18. Определите частоту и период обращения электрона в атоме водорода для второй стационарной орбиты.

19. Во сколько раз линейная скорость движения электрона по первой борзовской орбите атома водорода ($R = 5,29 \cdot 10^{-11}$ м) больше скорости движения реактивного самолета ($v = 1000$ км/ч)?

20. Определите энергию, испускаемую при переходе электрона в атоме водорода с третьей орбиты на первую.

21. Насколько изменилась энергия электрона в атоме водорода при испускании атомом фотона с длиной волны $2,43 \cdot 10^{-7}$ м?

22. Определите наибольшую и наименьшую длины волн в видимой области спектра излучения атома водорода.

23. При переходе электрона в атоме водорода с одного стационарного уровня на другой испущен квант света с длиной волны $6,56 \cdot 10^{-7}$ м. Определите, как изменилась энергия электрона в атоме под действием этого излучения.

24. Атом водорода переведен из нормального состояния в возбужденное, характеризуемое главным квантовым числом 2. Определите энергию возбужденного атома.

25. Наименьший радиус орбиты электрона в атоме водорода, когда он находится в нормальном состоянии, равен $0,528 \cdot 10^{-10}$ м. Определите радиус орбиты электрона и его линейную скорость, когда атом водорода находится на третьем энергетическом уровне.

26. Энергия атома водорода в нормальном состоянии минус 13,53 эВ. Определите энергию кванта и длину волны излучения, поглощенного атомом водорода, если при этом электрон перешел с первого на третий энергетический уровень.

27. Какую минимальную энергию необходимо сообщить атому водорода, находящемуся в нормальном состоянии, чтобы он, поглотив ее, ионизировался? Энергия атома водорода в нормальном состоянии минус 13,53 эВ.

5.3. Физика атомного ядра и элементарных частиц

Теоретические сведения

Атомное ядро состоит из *протонов* и *нейтронов*, называемых *нуклонами*. *Массовое число* A равно числу нуклонов в ядре. Оно представляет собой выраженную в атомных единицах массы (а. е. м.) массу атома элемента, округленную до целого числа.

Зарядовое число Z равно числу протонов в ядре, оно совпадает с порядковым номером элемента в таблице элементов Менделеева. Это заряд ядра, выраженный в единицах элементарного заряда e (заряда электрона).

Число нейтронов в ядре $N = A - Z$.

Атомы одного и того же элемента могут иметь разное количество нейтронов в ядре. Такие атомы называют *изотопами* данного элемента. Например, у атома кислорода имеются три изотопа: ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O (сверху — массовое, снизу — зарядовое число).

Масса ядра $M_{\text{я}}$ меньше *массы нейтрального атома* $M_{\text{а}}$ на *массу электронов*, входящих в состав электронной оболочки атома:

$$M_{\text{я}} = M_{\text{а}} - Zm_e. \quad (149)$$

Дефектом массы ядра Δm называют разность между суммой масс протонов m_p и нейтронов m_n , составляющих ядро атома, и массой ядра $M_{\text{я}}$:

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - M_{\text{я}}. \quad (150)$$

В таблицах масс изотопов указывают не массы ядер, а массы нейтральных атомов. Поэтому формулу (150) целесообразно преобразовать к виду

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - (M_{\text{а}} - Zm_e) \quad (151)$$

или

$$\Delta m = Z(m_p + m_e) + Nm_n - M_{\text{а}}. \quad (152)$$

Учитывая, что $m_p + m_e = m_{\text{H}}$ (m_{H} — масса изотопа водорода ^1H), получим

$$\Delta m = Zm_{\text{H}} - (A - Z)m_n - M_{\text{а}}. \quad (153)$$

Энергия связи ядра $\Delta E_{\text{св}}$ определяется работой, которую нужно совершить для разделения ядра на составляющие его протоны и нейтроны:

$$\Delta E_{\text{св}} = \Delta mc^2, \quad (154)$$

где Δm — дефект массы ядра, кг; c — скорость света в вакууме.

Энергия в данном случае выражена в джоулях. Можно показать, что энергия, поглощаемая или выделяющаяся при изменении массы на 1 а. е. м., составляет 931 МэВ. Поэтому для случая, когда

дефект массы выражен в атомных единицах массы, соотношение (154) можно записать в виде

$$\Delta E_{\text{св}} = 931 \Delta m. \quad (155)$$

Энергия связи в этом случае выражена в мегаэлектронвольтах: $1 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$.

Изменение энергии при ядерной реакции определяется соотношением

$$\Delta E = \left(\sum m_i - \sum m_k \right) c^2, \quad (156)$$

где $\sum m_i$ и $\sum m_k$ — суммы масс частиц до и после реакции.

Если $\sum m_i > \sum m_k$, то энергия выделяется. Если $\sum m_i < \sum m_k$, то энергия поглощается.

При радиоактивном распаде число радиоактивных (нераспавшихся) атомов убывает со временем по закону

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (157)$$

где N_0 — число радиоактивных атомов в начальный момент времени $t = 0$; λ — *постоянная радиоактивного распада*; t — время распада.

Иногда закон радиоактивного распада записывают в таком виде:

$$N = N_0 \cdot 2^{-t/T}, \quad (158)$$

где T — *период полураспада* радиоактивного изотопа.

Период полураспада и постоянная радиоактивного распада связаны соотношением

$$T = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda \quad (159)$$

или

$$\frac{1}{\lambda} = 1,44 T. \quad (160)$$

В результате радиоактивного распада в исходном элементе с течением времени число нераспавшихся ядер уменьшается, но растет число ядер продуктов распада. Число ядер ΔN , распавшихся за время Δt , пропорционально числу N_0 нераспавшихся в начальный момент времени ядер и интервалу времени:

$$\Delta N = -\lambda N_0 \Delta t. \quad (161)$$

Примеры решения задач

Задача 1. Каково строение ядра (Z, N) изотопа углерода $^{12}_6\text{C}$?

Решение. Из символической записи изотопа $^{12}_6\text{C}$ следует, что ядро изотопа углерода состоит из 12 нуклонов ($A = 12$), шести протонов ($Z = 6$) и шести нейтронов ($N = 12 - 6 = 6$).

Задача 2. Найти энергию связи $\Delta E_{\text{св}}$ ядра изотопа гелия ${}^3_2\text{He}$, если масса этого изотопа $m_a = 3,01605$ а.е.м., массы изотопа водорода и нейтрона равны соответственно $m_{\text{H}} = 1,00783$ а.е.м. и $m_n = 1,00867$ а.е.м.

Дано: ${}^3_2\text{He}$, $m_{\text{H}} = 1,00783$ а.е.м., $m_a = 3,01605$ а.е.м., $m_n = 1,00867$ а.е.м.

Решение. Энергия связи ядра (МэВ) определяется соотношением (155): $\Delta E_{\text{св}} = 931 \Delta m$.

Дефект массы Δm можно определить из формулы (153):

$$\Delta m = Zm_{\text{H}} + (A - Z)m_n - m_a.$$

Тогда энергия связи

$$\Delta E_{\text{св}} = [Zm_{\text{H}} + (A - Z)m_n - m_a] 931 \text{ МэВ};$$

$$\Delta E_{\text{св}} = [2 \cdot 1,00783 + (3 - 2) 1,00867 - 3,01605] 931 \text{ МэВ} = 7,7 \text{ МэВ}.$$

Задача 3. Ядро лития ${}^7_3\text{Li}$, захватывая протон, распадается на две α -частицы. Написать реакцию и определить энергию ΔE , выделяющуюся при этой реакции.

Дано: ${}^7_3\text{Li}$, $m_{\text{H}} = 1,00783$ а.е.м., $m_{\text{He}} = 4,00260$ а.е.м., $m_{\text{Li}} = 7,01823$ а.е.м.

Решение. По условию задачи ядерная реакция запишется так: ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow 2 {}^4_2\text{He}$.

Дефект массы в этой реакции

$$\Delta m = (m_{\text{Li}} + m_{\text{H}}) - 2m_{\text{He}}.$$

Так как число электронов до и после реакции сохраняется, вместо значений масс ядер можно записать значения масс нейтральных атомов:

$$m_{\text{Li}} + m_{\text{H}} = 7,01823 + 1,00783 = 8,02606 \text{ а.е.м.};$$

$$2m_{\text{He}} = 2 \cdot 4,00260 = 8,0052 \text{ а.е.м.}$$

Дефект массы

$$\Delta m = (8,02606 - 8,0052) \text{ а.е.м.} = 0,02086 \text{ а.е.м.}$$

Тогда, согласно формуле (155), при этой реакции выделяется энергия

$$\Delta E = 931 \Delta m = 931 \cdot 0,02086 = 19,4 \text{ МэВ}.$$

Задача 4. За какое время t произойдет распад 3 мг полония ${}^{210}_{84}\text{Po}$, если в начальный момент его масса равна 0,3 г? Период полураспада полония 138 сут.

Дано: ${}^{210}_{84}\text{Po}$, $m_1 = 3 \cdot 10^{-3}$ г, $m_2 = 0,3$ г, $T = 138$ сут.

Решение. Число атомов ${}^{210}_{84}\text{Po}$, распавшихся за время t , $\Delta N = N_0 - N$, где N_0 — число атомов, не распавшихся в начальный

момент времени в 0,3 г полония; N — число атомов, не распавшихся через время t . Так как, согласно формулам (157) и (158), $N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 \cdot 2^{-t/T}$, получаем $\Delta N = N_0 - N_0 \cdot 2^{-t/T} = N_0 (1 - 2^{-t/T})$.

Число атомов, содержащихся в какой-либо массе вещества, определяется соотношением $N = (m/M) N_A$, где M — молярная масса (в данном случае полония); N_A — постоянная Авогадро. Исходя из условий задачи найдем $\Delta N = (m_1/M) N_A$; $N_0 = (m_2/M) N_A$.

Тогда выражение для ΔN можно представить в следующем виде:

$$(m_1/M) N_A = (m_2/M) N_A (1 - 2^{-t/T}).$$

$$\text{Отсюда следует, что } m_1/m_2 = 1 - 2^{-t/T}; \quad t = T \frac{\lg \left[1 / \left(1 - \frac{m_1}{m_2} \right) \right]}{\lg 2}.$$

$$t = 138 \left[\lg \frac{1}{1 - [3 \cdot 10^3 / (3 \cdot 10^{-4})]} \right] / \lg 2 = 2 \text{ сут.}$$

Вопросы и задания

Общие сведения об атомных ядрах

1. Имеют ли ядра атомов резко выраженные границы?
2. Из каких элементарных частиц состоят ядра атомов всех химических элементов? Какое строение имеют ядра атомов гелия, олова, урана?
3. Определите заряд (в кулонах) и массу (в атомных единицах массы и килограммах) ядра атома брома.
4. Перечислите изотопы водорода, изобразите их ядра и укажите, из каких элементарных частиц они состоят.
5. Почему относительные атомные массы химических элементов имеют дробные значения?
6. Как зависит прочность ядер от их энергии связи?
7. О чем свидетельствует тот факт, что атомное ядро в целом имеет меньшую плотность вещества, чем отдельные его частицы?
8. Где больше содержится тяжелой воды: в некипяченой воде или в той, которую кипятили некоторое время? Почему?
9. Почему за основу систематизации химических элементов приняли не массу, а заряд ядер?
10. В таблице Д. И. Менделеева встречаются случаи размещения элементов не по порядку возрастания атомных масс. Объясните эту особенность таблицы.
11. Почему атомы изотопов химически полностью тождественны один другому?
12. Плотность веществ легких и тяжелых ядер почти одинакова. О какой особенности ядерных сил говорит этот факт?

13. Дефект массы ученик пояснил уменьшением масс покоя частиц, которые образовали ядро. Действительно ли это так?

14. Выясните, подчиняются ли ядерные силы принципу суперпозиции.

15. Как влияет на энергию связи $E_{\text{св}}$ тяжелых ядер и радиоактивность избыток протонов, нейтронов?

16. Не пользуясь соответствующими таблицами, сравните энергии связи двух ядер ${}^7_3\text{Li}$ и ${}^7_4\text{Be}$.

17. В чем различие ядер изотопов урана ${}^{235}_{92}\text{U}$ и ${}^{238}_{92}\text{U}$?

18. Каково строение ядра изотопа кислорода ${}^{18}_8\text{O}$?

19. Определите дефект массы для изотопа водорода ${}^3_1\text{H}$.

20. Вычислите энергию связи ядер урана ${}^{235}_{92}\text{U}$ и ${}^{238}_{92}\text{U}$. Какое из этих ядер более устойчиво?

Естественная радиоактивность

21. Почему радиоактивные элементы со сравнительно небольшим периодом полураспада T (например, радий) не исчезли за время существования Земли, ведь одни ядра постоянно преобразуются в другие?

22. Почему ядра атомов при облучении их нейтронами становятся радиоактивными?

23. Ядро, излучив β -частицу, вследствие отдачи начинает двигаться не строго в направлении, противоположном направлению движения частицы, а отклоняется в сторону. О чем свидетельствует этот факт?

24. Почему возникает γ -квант в ядре атома в процессе его радиоактивного распада?

25. γ -Лучи радиоактивных веществ — фотоны определенных энергий, свойственных данному веществу. Каков характер энергетических процессов в атомном ядре на основании этого факта?

26. Какую энергию должен иметь γ -квант, чтобы произошло деление ядра?

27. Какие ядерные процессы приводят к структурной перестройке ядер атомов, а какие нет?

28. Через какое время распадется 60 % радиоактивного полония, если его период полураспада 138 сут?

29. Определите возраст древних деревянных предметов, если известно, что количество нераспавшихся атомов радиоактивного углерода в них составляет 80 % количества атомов этого углерода в свежесрубленном дереве. Период полураспада углерода 5570 лет.

30. Определите период полураспада радиоактивного стронция, если за 1 год на каждую тысячу атомов распадается в среднем 24,75 атома.

31. Имеется 4 г радиоактивного кобальта. Сколько граммов кобальта распадется за 216 сут, если его период полураспада 72 сут?

32. Масса радиоактивного серебра уменьшилась в 8 раз за 810 сут. Определите период полураспада радиоактивного серебра.

33. Имеется 8 кг радиоактивного цезия. Определите массу нераспавшегося цезия после 135 лет радиоактивного распада, если его период полураспада 27 лет.

34. Два радиоактивных элемента имеют периоды полураспада 10^{-3} с (радий) и 28 лет (стронций). Какой из них дает более интенсивное излучение?

35. Атомная масса хлора 35,5. Хлор имеет два изотопа $^{37}_{17}\text{Cl}$ и $^{35}_{17}\text{Cl}$. Сравните их процентное содержание.

36. Сколько процентов радиоактивного вещества останется через четыре периода полураспада?

37. Определите постоянную радиоактивного распада радия $^{226}_{88}\text{Ra}$. Какая доля первоначального числа атомов распадается за 3100 лет.

38. Через какой промежуток времени в препарате полония $^{210}_{84}\text{Po}$ распадается 60 % имеющихся атомов, если непрерывно удалять продукты распада?

39. Сколько атомов в куске урана $^{235}_{92}\text{U}$ массой 1 кг распадается за 1 с? Период полураспада $T = 7 \cdot 10^8$ лет.

40. Какой элемент образуется при соединении двух ядер водорода и одного нейтрона? Вычислите энергию, которая выделяется при образовании данного ядра.

41. Почему радиоактивные препараты хранят в свинцовых контейнерах, имеющих толстые стенки?

Внутриядерные процессы и их проявление

42. Какие законы сохранения соблюдаются при ядерных реакциях? В чем заключается физический смысл этих законов?

43. В ядро азота ударяет α -частица и остается в нем, выбивая из ядра протон. Запишите уравнение ядерной реакции.

44. При бомбардировке изотопа азота $^{14}_7\text{N}$ нейтронами получается изотоп углерода $^{14}_6\text{C}$, который оказывается β -радиоактивным. Запишите уравнения обеих реакций.

45. Почему α -частицы, выбрасываемые радиоактивными веществами, не могут вызвать ядерных реакций в тяжелых элементах, но вызывают в легких?

46. При бомбардировке изотопа гелия ^4_2He протонами излучается α -частица и некоторая элементарная частица. Запишите уравнение ядерной реакции и установите, какая частица при этом испускается.

47. При облучении α -частицами атома $^{14}_7\text{N}$ испускаются протоны. Какое превращение происходит с ядром азота?

48. Вычислите энергию, поглощенную при реакции $^{14}_7\text{N} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{17}_8\text{O} + ^1_1\text{H}$.

49. Радиоактивный изотоп $^{13}_7\text{N}$, распадаясь, превращается в изотоп углерода $^{12}_6\text{C}$. Напишите уравнение этой реакции. Какая частица при этом испускается?

50. Электрон и позитрон при встрече активно «реагируют» между собой, превращаясь в γ -кванты. Почему такой процесс не происходит при встрече электрона с электроном?

51. Напишите реакцию превращения нейтрона в протон.

52. Напишите реакцию синтеза легких ядер дейтерия. Какие частицы получатся в результате этой реакции?

53. Что является источником энергии звезд?

54. Напишите ядерную реакцию синтеза легких ядер дейтерия в ядро гелия и определите энергетический выход этой реакции.

55. Напишите ядерную реакцию синтеза легких ядер дейтерия и трития в ядро гелия и определите энергетический выход этой реакции.

56. Объясните, почему для совершения термоядерной реакции эффективнее использовать ядра водорода, особенно его тяжелые изотопы: дейтерий и тритий.

57. Отдельные ядра делятся под действием быстрых нейтронов. Можно ли с ними совершить цепную реакцию? Почему?

58. Произошел самопроизвольный распад ядра. Выделилась или поглотилась во время распада энергия? Ответ обоснуйте.

59. Каким способом получают радиоактивные изотопы химических элементов? Почему при этом возникает радиоактивность атомов?

60. Каковы экономические преимущества реакторов на быстрых нейтронах по сравнению с ядерными реакторами на медленных нейтронах?

61. Какие вещества применяются в ядерных реакторах в качестве замедлителей быстрых нейтронов? Почему?

62. В каком виде освобождается внутриядерная энергия в атомном реакторе, работающем на медленных нейтронах?

63. При реакции деления ядер U-235 выделилось $1,204 \cdot 10^{28}$ МэВ энергии. Определите массу распавшегося урана, если при делении одного ядра выделяется 200 МэВ энергии.

64. При делении одного ядра изотопа U-235 освобождается 200 МэВ энергии. Определите энергию, которая выделится при делении всех ядер 0,2 кг U-235.

65. При реакции деления U-235 распалась некоторая масса урана и выделилась энергия $2,56 \cdot 10^{28}$ МэВ. Определите массу распавшегося урана, если при делении одного ядра выделяется 200 МэВ энергии.

66. При делении одного ядра изотопа U-235 освобождается 200 МэВ энергии. Определите энергию, которая выделится при делении 10 кг урана.

67. При делении одного ядра атома $^{235}_{92}\text{U}$ на два осколка выделяется $2 \cdot 10^8$ эВ энергии. Какое количество энергии выделится при

расщеплении 1 г урана? При сжигании какого количества угля выделится такое же количество энергии?

68. Во сколько раз энергия, выделяемая при ядерном делении 1 кг урана, больше количества теплоты, полученной при сгорании цистерны нефти (50 т нефти)? Считать, что при делении одного атома урана выделяется примерно 200 МэВ энергии.

69. Какая энергия выделяется при образовании ядра атома гелия из двух протонов и двух нейтронов? Какая энергия выделяется при образовании 1 г гелия? Сколько каменного угля нужно сжечь, чтобы получить столько же энергии, сколько ее выделяется при образовании 1 г гелия?

70. При столкновении электрона и позитрона образуются два фотона. Определите энергию каждого фотона. Кинетические энергии обеих частиц до столкновения считать малыми.

71. На какое значение каждую секунду уменьшается масса Солнца вследствие излучения энергии, если на Земле на каждый 1 см^2 поверхности, перпендикулярной световым лучам, в 1 мин падает примерно 8 Дж солнечной энергии? Среднее расстояние от Земли до Солнца $1,49 \cdot 10^{11} \text{ м}$.

72. Мощность Нововоронежской атомной электростанции $1 \cdot 10^6 \text{ кВт}$. Она потребляет 300 т урана в год. Определите годовой расход каменного угля на тепловой электростанции той же мощности при КПД 75 %.

Физика элементарных частиц

73. Что такое элементарные частицы? Кем и когда они были открыты? Каково их происхождение?

74. Какие элементарные частицы называются стабильными? Назовите стабильные частицы.

75. Что понимается под веществом и антивеществом?

76. Напишите реакцию распада свободного нейтрона и назовите элементарные частицы, на которые он распадается.

77. В чем заключается фундаментальное свойство элементарных частиц?

78. Приведите пример опыта, подтверждающего реальность явления превращения электромагнитного поля в вещество. Напишите реакцию превращения поля в вещество.

79. Нарисуйте схемы атомов гелия и антигелия. Укажите, из каких элементарных частиц они состоят.

80. Какой тип фундаментального взаимодействия лежит в основе каждого из ядерных процессов:

- а) α -распада;
- б) β -распада;
- в) γ -излучения.

81. Что произойдет, если электрон столкнется с протоном?

82. Будет ли точным утверждение, что β -распад — это процесс внутриядерный? Почему?

83. Действительно ли нестабильные частицы распадаются в прямом понимании этого слова?

84. Иногда говорят, что каждая элементарная частица состоит из других элементарных частиц. Что этим хотят подчеркнуть?

85. Электрон — стабильная частица в природе, так же как и протон. Какое это имеет значение для существования материального мира в целом?

86. Какой химический элемент записан формулой ${}^3\text{He}$?

87. Звезды — «белые карлики» — имеют плотность вещества, близкую к ядерной, а нейтронные звезды — нейтронную плотность. Не проводя вычисления, скажите, у каких типов звезд большая плотность вещества.

88. Определите энергию, которая выделится при аннигиляции электрона и позитрона, если масса покоя электрона равна $9,1 \times 10^{-31}$ кг.

Глава 6 ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Теоретические сведения в вопросах и ответах

В о п р о с 1. В чем смысл теории эволюции «горячей Вселенной»? Какое наблюдаемое явление подтверждает эту теорию?

О т в е т. Смысл эволюционной теории «горячей Вселенной» состоит в том, что допускается первоначальное состояние материального мира в форме газовой высокотемпературной плазмы. Доказательством правильности космологической модели «горячей Вселенной» является открытие реликтового излучения.

В о п р о с 2. Какое взаимодействие существует между частицами и телами Вселенной, под действием которого совершаются все процессы (движение и эволюция)?

О т в е т. Основным взаимодействием является гравитационное. Однако надо помнить, что наряду с гравитационным во Вселенной одновременно существуют сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия в различных физических системах частиц и тел.

В о п р о с 3. Находясь внутри туманности, старые звезды могут «омолаживаться». Как это понимать?

О т в е т. Звезда, находящаяся в туманности, может стать центром конденсации, в результате чего изменяется ее масса и химический состав, а также другие параметры, в частности, температура, которая изменяет характер спектра, приобретающего признаки высокотемпературных звезд.

Пример решения задачи

Задача. Галактика расположена от Земли на расстоянии, равном $4 \cdot 10^6$ пк. С какой скоростью она удаляется от нас?

Дано: $r = 4 \cdot 10^6$ пк, $H = 100$ км/(с·Мпк) = $100 \cdot 10^{-6}$ км/(с·пк).

Решение. На основании закона Хаббла $v = rH$;

$$v = 4 \cdot 10^6 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 400 \text{ км/с.}$$

Вопросы и задания

1. Почему яркость неба, обусловленная излучением всех галактик Вселенной, незначительная?
2. На основании каких наблюдаемых явлений сделан вывод о расширяющейся Вселенной?
3. В каком фазовом состоянии в основном находится вещество во Вселенной?
4. В Галактике с «красным смещением» в спектре, соответствующем скорости удаления 50 000 км/с, вспыхнула сверхновая звезда. Определите ее расстояние до Галактики.
5. Какие типы галактик обнаружены в Метагалактике?
6. В чем состоит одно из характерных отличий между «звездным газом» (здесь роль молекул играют звезды Галактики) и газом земной атмосферы?
7. Современные оценки массы Галактики определяют ее значения 300 млрд солнечных масс. Какое количество звезд заселяет Галактику?
8. Можно ли утверждать, что Галактика представляет собой единую однородную систему?
9. В настоящее время взрывы сверхновых звезд происходят очень редко. Так ли было в ранние периоды эволюции Галактики, например в то время, когда образовалась Солнечная система (примерно 5 млрд лет назад)? Каково Ваше мнение по этому вопросу?
10. Векторы скоростей звезд (и Солнца) образуют в целом почти прямой угол с направлением на созвездие Стрельца. Какой вывод следует из этого опытного факта?
11. В спектрах диффузных туманностей, например туманности Ориона, часто наблюдаются не только линейчатые, но и сплошные спектры излучения. Объясните их происхождение.
12. Почему изображение ядра Галактики удалось получить только в инфракрасных лучах?
13. Почему, на Ваш взгляд, газопылевая материя Галактики концентрируется в основном вблизи галактической плоскости?
14. Преобладающее большинство атомов межзвездного газа находится в основном или ионизированном состоянии. Обоснуйте это утверждение.
15. Как отличить спектр газовой туманности от спектра звезды?

16. Светлые туманности более ярки, чем звезды, их освещающие. Не нарушается ли в этом случае закон сохранения энергии?

17. У большинства планетарных туманностей открыто избыточное инфракрасное излучение. Чем это можно объяснить?

18. К какому времени эволюции Галактики относится процесс самого интенсивного звездообразования? Ответ обоснуйте.

19. В плоской составляющей Галактики встречаются звезды-гиганты и сверхгиганты высокой светимости. О чем это свидетельствует?

20. Солнце образовалось из того вещества, которое в прошлом «выбрасывали» звезды старших поколений Галактики. Обоснуйте этот тезис.

21. Сжатие межзвездного газа в отличие от аналогичных процессов в земных условиях вызывает не нагревание, а охлаждение газа. Почему? Какое космологическое значение для эволюции диффузной среды имеет это явление?

22. Современная астрофизическая наука считает, что образование космических тел происходит непрерывно в настоящее время. Теологи интерпретируют это как акт продолжения божественного творения на современном этапе. Приведите Ваши возражения теологам.

23. Массивные звезды являются помехой процесса звездообразования и в то же время стимулируют его. Как это понимать?

24. Количество межзвездного вещества в Галактике, не сконденсированного в звезды, со временем уменьшается. Почему?

25. В чем, по Вашему мнению, состоят основные трудности подтверждения гипотезы происхождения звезд из газовой материи?

26. В соответствии с гипотезой В. А. Амбразузяна звезды образуются из какого-то сверхплотного вещества, которое распадается на куски. Попытки открыть это вещество пока не увенчались успехом. Почему?

27. Радиопульсары концентрируются в Галактике преимущественно в областях интенсивного звездообразования (формирования звезд). Какой вывод о возрасте и происхождении пульсаров можно сделать на основании этого факта?

28. Почему долгое время выявить межзвездный водород не удавалось, хотя в звездных средах он наиболее распространен?

29. Водород — наиболее распространенный элемент звезд, поэтому его спектральные линии должны быть самыми интенсивными. Вопреки этому в спектрах «красных карликов» (температура поверхности 3000 ... 4000 К) и «голубых гигантов» (температура поверхности 15000 ... 20000 К) линии водорода почти отсутствуют. Почему?

30. На Земле водород существует в молекулярном виде, в межзвездном пространстве — в основном атомарный. Почему?

31. В оптическом диапазоне яркость Солнца в 100 млрд раз больше, чем яркость всех звезд нашей Галактики. В радиодиапазоне, на-

оборот, космическое излучение в 1000 раз интенсивнее, чем радиоизлучение Солнца (в годы максимума его активности). Исходя из этих данных, объясните, что является источником космического радиоизлучения?

32. По наблюдениям движение заряженных масс вещества в Галактике происходит в основном вдоль линий напряженности магнитного поля. Почему?

33. Почему частицы первичных космических лучей блуждают в галактических пространствах миллионы лет, хотя, двигаясь прямолинейно, они способны пролететь вдоль диаметра Галактики за каких-то 100 000 световых лет?

34. Студент считал, что электромагнитные волны — единственные вестники Вселенной. Можно ли эту мысль считать верной? Почему?

35. Предложите способ выяснить, что представляют собой первичные космические лучи — потоки заряженных частиц или жесткое излучение типа γ -лучей.

36. Предположим, что в процессе термоядерного синтеза в зоне реакции звезды образуются антинейтрино, которые затем регистрируют на Земле. Какова природа материи этой звезды?

37. В радиодиапазоне можно наблюдать излучение от очень далеких космических тел. Почему?

38. Как убедительно доказать, что Галактика имеет спиральную структуру?

39. Линии спектра даже тех галактик, которые вращаются очень медленно, распирены и «размыты». Какова причина этого?

40. Существует ли угроза существованию жизни на Земле при столкновении нашей Галактики с другой антигалактикой? Какова Ваша точка зрения?

41. Светимость и цвет галактик в основном определяются гигантами и сверхгигантами, хотя относительное количество этих звезд невелико. Почему?

42. Вы наблюдаете голубую и красную галактики. В какой из них происходит более активное звездообразование? Ответ обоснуйте.

43. Группы галактик, которые назвали семействами, обращают на себя внимание тем, что галактики в них находятся в тесном контакте и часто окружены гигантскими тучами водорода и отдельных звезд. Какие образования звезд напоминают Вам семейства галактик? Каков возраст отдельных галактик семейства?

44. Подобно звездам галактики сосредотачиваются в скоплениях. Укажите отличия в размещении тех и других.

45. Как доказать, что отдельные звезды других галактик, наблюдаемые сквозь нашу Галактику, принадлежат именно им, а не являются проекциями на эти объекты звезд нашей Галактики?

46. Как, не детализируя исследования, а только по внешнему виду, установить, вращается или нет некоторая галактика?

47. Почему большинство вспышек сверхновых звезд хорошо наблюдается в других галактиках, а в нашей Галактике часто совсем невидимы?

48. Как практически установить, что в некоторой галактике на протяжении суток вспыхнула сверхновая звезда?

49. Как отличить далекие галактики от близких звезд нашей Галактики, которые находятся на том же направлении, в котором видны галактики?

50. Может ли какая-либо звезда или галактика, излучение которой находится преимущественно в видимой части спектра, стать мощным источником ультрафиолетового или даже рентгеновского излучения?

51. Как установить принадлежность квазаров к одному определенному скоплению галактик?

52. На обычных фотографиях неба квазары имеют вид обыкновенных звезд. Предложите способ выявления квазара на некотором участке звездного неба среди многих других звезд.

53. Предположим, что расширяется не только видимая часть Вселенной, но и Вселенная в целом. Как при этом должна изменяться ее средняя температура?

54. На каких стадиях эволюции горячей Вселенной, которая расширяется, основную часть массы физической материи составлял свет?

55. Поток реликтового излучения через участок межзвездного пространства равен нулю. Что это означает?

56. Только возле одиноких звезд, а не возле компонентов двойных систем, предполагается существование планет. Почему?

57. Может ли существовать на планете жизнь, если ее масса очень мала?

58. Может ли являться благоприятным фактором для возникновения и развития живых структур очень большая масса планеты (такая, например, как у Юпитера, или еще больше)?

59. Важнейшим условием возникновения жизни на планете является наличие гидросферы. При каких условиях она может возникнуть?

60. Существование высокоорганизованных живых существ необходимо ожидать на тех планетах, которые вращаются вокруг старших по возрасту звезд. Почему?

61. На какой длине радиоволны целесообразнее всего проводить поиски внеземных цивилизаций? Почему?

62. Статическая Вселенная, т.е. нерасширяющаяся и несжимающаяся, не может реально существовать. Обоснуйте это утверждение.

63. Имеет ли реальный научный смысл вопрос о начале мира?

Часть II

ОТВЕТЫ

Глава 1

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

1.1. Основы кинематики

1. Нет. Чтобы определить, можно ли реальное тело считать материальной точкой, учитывают соотношения между его абсолютными размерами и расстояниями, характерными для его движения.

2. Пути, пройденные телами, равны в любом случае: если тела двигались в одном направлении; а также если в противоположных.

3. Нет, так как неизвестно, как именно двигалось тело на протяжении каждого интервала времени.

4. От мгновенной скорости.

$$5. l = \frac{gt^2}{2} - \frac{g(l-t_0)^2}{2} = gt_0(t - 0,5t_0), \text{ где } t_0 = 1 \text{ с.}$$

6. Нет, так как на протяжении общего для обоих тел времени разность их мгновенных скоростей gt_0 остается неизменной.

7. Период обращения ИСЗ на высоте запуска должен быть равен 1 сут, ИСЗ должен вращаться на восток и в плоскости экватора.

$$8. S = 2v_0t.$$

$$9. \alpha = 45^\circ.$$

$$10. 5000 \text{ м.}$$

$$11. 998 \text{ и } 52 \text{ м.}$$

12. Относительная скорость движения по реке равна их скорости в стоячей воде.

$$13. 11,5 \text{ и } 8,5 \text{ м/с.}$$

$$14. 20,8 \text{ м/с.}$$

$$15. 2 \text{ м/с}^2; 11 \text{ м.}$$

$$16. 340 \text{ м.}$$

$$17. 34,3 \text{ м.}$$

18. Расстояние между шариками увеличивается.

$$19. 0,99 \text{ с.}$$

$$20. 0,036 \text{ м/с}^2; \text{ ускорение уменьшится в 4 раза.}$$

1.2. Основы динамики

1. Да, так как действие всех сил скомпенсировано.
2. Нет. Инерция — это явление, а не физическая величина, которую можно измерить.
3. Инертность — свойство материи, масса — физическая величина, которую можно измерять.
4. Первый закон Ньютона, согласно которому для поддержания поступательного равномерного и прямолинейного движения никаких сторонних «сил» не надо, принципиально упрощает неправильные утверждения Аристотеля. Следуя Аристотелю нельзя, например, объяснить, почему брошенный мяч движется, хотя действие руки, которая привела мяч в движение, прекратилось.
5. Отсутствие точки приложения силы означает отсутствие тел, с которыми данное тело взаимодействует, т.е. самой силы. Может быть несколько точек приложения силы $\vec{F}$ в том смысле, что $\vec{F}$ — равнодействующая нескольких сил.
6. Действие и противодействие всегда имеют одинаковую природу, они возникают и исчезают одновременно. Каждое из взаимодействующих тел одновременно действует и испытывает действие. Поэтому они равноправны.
7. Только в случае $h \ll R_3$.
8. Электромагнитных, так как вес — это проявление силы упругости (тело деформируется при действии на опору или подвес), природа которой электромагнитная.
9. С большой вероятностью это так. Это проявление центрально-симметричного характера гравитационных сил.
10. Понятие веса для Земли неопределенно. Земле можно приписать бесконечное число значений веса, а именно столько, сколько тел на Земле, с которыми она взаимодействует (третий закон Ньютона). Каждое тело можно считать «опорой» для Земли, на которую она действует. Как планета (спутник Солнца) Земля невесома, т.е. пребывает в состоянии невесомости.
11. Центр масс. Это понятие применяется ко всем механическим системам, тогда как понятие центра тяжести — только к системам, которые находятся под влиянием силы тяжести.
12. Не всегда.
13. Электромагнитная, так как сила Архимеда — отдельный случай силы упругости.
14. Третий ученик, так как сила F всегда направлена противоположно деформации.
15. Нет, так как в нерелятивистской механике величины m , R , x не зависят от выбора системы отсчета ($v \ll c$).
16. Сила упругости. Гравитационные силы и силы трения зависят.

17. Нельзя, так как векторы $\vec{F}_T$ и $\vec{N}$ неколлинеарны ($\vec{F}_T \perp \vec{N}$), $F_T \neq \mu \vec{N}$.

18. Сила трения покоя. Если $F_T \rightarrow 0$, шар может скользить.

19. а) Не должен; б) должен.

20. К энергии, которую сообщает телу гимнаста работа мышц, прибавляется энергия, которую сообщает ему деформированная доска.

21. 6 и 2 м соответственно.

22. а) масса первого шара равна массе второго; б) масса первого шара больше массы второго; в) масса первого шара меньше массы второго.

23. Центр тяжести системы «человек — шест» при равновесии находится примерно в середине шеста над канатом. При движении человека положение центра тяжести системы можно сохранить, сместив шест (шест смещается влево, если человек наклоняется вправо).

24. Нельзя. Силы тяжести и натяжения веревки перпендикулярны друг другу и не могут уравниваться.

25. $0,5 \text{ м/с}^2$.

26. 1 кг.

27. Силу, равную половине веса человека, так как вес тела в этом случае равномерно распределяется по двум концам веревки.

28. $3,75 \text{ м/с}^2$.

29. 3 и 1 кг соответственно; 1 Н.

30. 20 Н/м ; $0,15 \text{ м}$.

31. 0,05.

32. Равнодействующая центробежной силы и силы тяжести в первом случае прижимает наездника к лошади.

33. При этом вдоль оси бутылки образуется полая «трубка», сквозь которую свободно может входить воздух вместо вытекающей воды.

34. $\mu \geq 0,18$.

35. $2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$.

36. Сила тяжести $m\vec{g}$ и сила нормального давления $\vec{N}$ создают результирующую горизонтальную силу $mg \operatorname{tg} \alpha$, являющуюся центростремительной. Условие равновесия: $mv^2/r = mg \operatorname{tg} \alpha$;

$$v = \sqrt{rg \operatorname{tg} \alpha}.$$

37. $4,6 \text{ м/с}^2$.

38. 11 м; 1,5 с.

39. $l \approx 2,7 \text{ с}$; $l \approx 79,5 \text{ м}$.

40. $F \approx 2,03 \text{ Н}$.

41. $1,96 \text{ м/с}^2$.

42. $r = 18 \text{ м}$.

43. 0,8 Н.

44. 0,58.

1.3. Законы сохранения в механике

1. Изменилось направление скорости тела.
2. Импульс равен нулю.
3. Во время падения тело обменивается импульсом с Землей, импульс которой при этом изменяется.
4. $1,8 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.
5. $17 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.
6. Скорость уменьшилась на $0,25 \text{ м/с}$.
7. $0,7 \text{ м/с}$.
8. $A = 0$.
9. Студент ошибся, отождествив силу тяжести и вес тела.
10. $A \approx 1,2 \text{ кДж}$.
11. 192 Дж .
12. $v \approx 9 \text{ м/с}$.
13. У сырого яйца вращается лишь скорлупа, а содержимое (в основном) покоится. Вареное яйцо вращается как твердое тело, поэтому оно приобретает большую кинетическую энергию, чем энергия вращения сырого яйца.

1.4. Основы специальной теории относительности

1. Любые движения. Требование равномерности движения касается только системы отсчета.
2. Поскольку с системой отсчета связано какое-либо материальное тело — тело отсчета (масса покоя $m_0 \neq 0$), то $v < c$. Для тел с массой $m_0 = 0$ (фотон, нейтрино) возможно равенство $v = c$. Движение с $v > c$ невозможно.
3. Относительны импульсы, так как масса m и скорость $\vec{v}$ относительны. Закон сохранения импульса — фундаментальный закон природы — выполняется во всех ИСО.

4. Согласно формуле $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$, величина $v = c \sqrt{1 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2}$,

откуда следует, что $v = c$ только при $m_0 = 0$.

5. Нельзя, так как масса покоя фотона $m_0 = 0$.
6. Да, так как $m = m(\vec{v})$; $l = l(\vec{v})$; $t = t(\vec{v})$, где $\vec{v}$ — относительная скорость разных ИСО.
7. Из соотношения $E = mc^2$ следует, что при всех преобразованиях в природе $E = \text{const}$, масса $m = \text{const}$, так как модуль скорости света в вакууме всегда постоянный.
8. Пельзя.

9. При нагревании, плавлении и испарении полная энергия тел увеличивается благодаря приращению внутренней энергии. Соответственно увеличивается и масса тел ($m \sim E$).

10. Да, $E = mc^2$.

11. Полная энергия $E \sim m$, где масса m — функция скорости, а скорость как относительная величина зависит от выбора системы отсчета.

12. Да.

13. Релятивистский принцип относительности в отличие от классического распространяется на все явления природы (механические, электромагнитные и оптические); классический принцип относительности распространяется только на механические явления.

14. Ускорение тела $a = F/m$. При скоростях, близких к скорости света, масса тела увеличивается, поэтому при действии постоянной силы ускорение уменьшается и при $v \rightarrow c$ масса $m \rightarrow \infty$, а ускорение $a \rightarrow 0$.

15. $v = 259\,800$ км/с.

16. $v = 132\,000$ км/с.

17. $t = 35$ лет.

18. $t/t_0 = 4$.

19. $l = 15,12$ м.

20. $v = 294\,000$ км/с.

21. $v = 259\,800$ км/с.

22. $p = 3,64 \cdot 10^{-22}$ Н · с.

23. $2,8 \cdot 10^{-27}$ кг.

24. $2,6 \cdot 10^8$ м/с.

25. 0,13 МэВ.

Глава 2

ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ

2.1. Молекулярно-кинетическая теория строения вещества

1. Чтобы поверхности стекол не «слипались» под действием сил взаимного притяжения молекул.

2. Горячий утюг нагревает ткань, поэтому силы взаимного притяжения между ее молекулами ослабевают и ткани легче придать нужную форму. В увлажненной ткани силы взаимодействия между молекулами еще меньше. Водяной пар, проникая в ткань, еще более облегчает глажение и повышает его качество.

5. Давление увеличится. Если бы давление газа поддерживалось постоянным (сосуд прикрыт легкоподвижным поршнем), то после исчезновения сил притяжения между молекулами объем газа увеличился бы. Поэтому в сосуде с постоянным объемом возрастает давление газа на стенки.

6. Силы молекулярного сцепления между штукатуркой и водой меньше, чем между штукатуркой и кирпичом.

9. 48 кг/кмоль; $7,97 \cdot 10^{-26}$ кг.

10. 1000 и 1 моль.

11. $1,3 \cdot 10^{23}$.

12. 0,52 кг.

13. 200 моль.

14. Макроскопическим, так как температура характеризует степень нагретости тела, регистрируемую приборами (термометром, пирометром и т. п.).

15. Нет. Температура тел, которая устанавливается в результате их контакта, не равняется сумме температур отдельных тел до контакта.

16. Нет, так как E'_k пропорциональна не $t^\circ\text{C}$, а термодинамической температуре T , которая в данном случае не удваивается.

17. Поскольку $\frac{3}{2}kT = \frac{m_0 u^2}{2}$, то $T = \frac{m_0 u^2}{3k}$ и $T \geq 0$ ($m_0 > 0$, $k > 0$, $u^2 > 0$).

18. Давление увеличивается, так как $p = n_0 kT \sim n_0$.

19. 774 К.

20. $2,3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$.

21. 0,11 МПа.

22. 700 м/с.

23. $1 \cdot 10^{21}$ Дж.

24. $6 \cdot 10^{21}$ Дж, $2 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$.

2.2. Основы термодинамики

1. В воде охлаждение идет быстрее, так как вода имеет большую, чем другие жидкости, теплоемкость. Поэтому, согласно формуле (51), при прочих равных условиях, она забирает от нагретого тела больше теплоты.

2. Ускоряется отдача теплоты горячей водой окружающей среде, тогда как в опыте Джоуля процесс идет в теплоизолированном сосуде (калориметре).

3. Плотность воздуха на большой высоте весьма мала и поэтому количество теплоты, которая передается оболочке спутника, незначительно.

4. Тело человека непрерывно выделяет некоторое количество теплоты, которое отдается окружающему воздуху. При температу-

ре воздуха, близкой к 37°C , процесс теплопередачи замедляется, и в теле человека образуется избыточная теплота.

5. В первом случае — совершением механической работы, во втором — теплопередачей.

6. При движении метеорного тела в атмосфере Земли при трении температура его возрастет (благодаря увеличению внутренней энергии) настолько, что вещество целиком испаряется.

7. а).

8. а) и б).

9. а), б), в).

10. а) и в).

11. Нагревание воды происходит за счет механической энергии волн при трении одних слоев воды о другие.

12. $341 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$.

13. $0,25$ и $0,5 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$.

14. 24 МДж (работа равна площади трапеции на рис. 4).

15. 427 м .

16. 400 Дж .

17. 200 кДж .

18. 6 кДж . Это изменение энергии называют количеством теплоты.

19. Реального, так как его молекулы, кроме кинетической, обладают и отрицательной потенциальной энергией.

20. Нельзя.

21. 500 Дж .

22. -350 кДж .

23. 525 Дж . Нет, так как $A = p\Delta V = 0$.

24. $5,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$.

25. 17 кДж ; 42 кДж .

26. 33 кДж ; 114 кДж ; 81 кДж .

27. Нет. Уравнение теплового баланса — это отдельный случай первого закона термодинамики, когда изменение внутренней энергии системы ΔU связано с теплопередачей (работа внешних сил над системой равна 0).

30. Поршни, изготовленные из алюминиевых сплавов, значительно легче чугунных и лучше отводят теплоту вследствие своей высокой теплопроводности потому, что во время работы двигателя температура поршня больше температуры цилиндра. При точной подгонке размеров поршня и цилиндра произойдет заклинивание поршня и двигатель может выйти из строя.

31. После проскакивания искры, так как за счет своей внутренней энергии газ во время рабочего хода совершает полезную работу.

32. Вода, расширяясь при замерзании, может разрушить систему охлаждения.

33. $63,8 \%$.

34. 30% ; 400 К .

35. 40 %; 500 К.
 36. 23 %; 14 кВт.
 37. 25 кВт.
 38. 28 %.
 39. Рабочее тело в конце цикла возвращается в начальное состояние, поэтому $V_1 = V_2$ или $\Delta U = 0$.
 40. Огнестрельное оружие. Ракета.
 41. Адиабатический, так как расширение раскаленных газов происходит очень быстро и теплообмен с внешними телами не происходит.
 42. В обоих случаях работа одинакова, так как площади, ограниченные графиками циклов, одинаковы.
 43. 40 %.
 44. Это следует из первого начала термодинамики. В первом случае некоторое количество теплоты расходуется на изменение внутренней энергии газа и совершение им работы ($Q_p = \Delta U + p\Delta V$), во втором случае теплота Q идет только на изменение внутренней энергии газа, так как $\Delta V = 0$ и $Q_v = \Delta U$.
 45. В этом случае процесс идет быстро и меняются все три параметра системы (p , V и T), т.е. можно приближенно (как и всегда в реальных условиях) говорить об адиабатном расширении газа. Тогда $Q = 0$, и первое начало термодинамики запишется: $-\Delta U = -p\Delta V$, т.е. уменьшение внутренней энергии газа происходит за счет работы при его расширении.

2.3. Свойства газов, паров, жидкостей и твердых тел

1. Ответ представлен на рис. 41.
3. Поднимаясь, атмосферный воздух расширяется и охлаждается.
4. Первоначально нагревается воздух в результате его сжатия метеоритным телом при стремительном движении последнего через атмосферу. Нагревающийся воздух передаст некоторое количество теплоты поверхностному слою тела.
5. Воздух, содержащийся в дереве, при нагревании расширяется и разрывает волокна дерева. При этом слышен треск, а частички угля (искры) отскакивают от полена.
6. В момент удара при сжатии резины воздух выходит из мячика, и давление внутри него резко падает.
7. Обеспечивается необходимая циркуляция воздуха.
8. В долине, так как в ней скапливается холодный воздух.

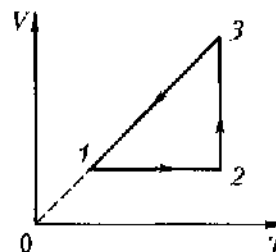


Рис. 41

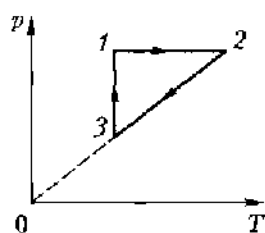


Рис. 42

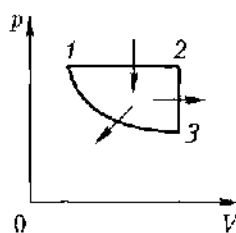


Рис. 43

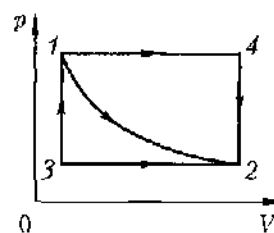


Рис. 44

9. $7,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.
10. Точка А.
11. Точка А.
12. $0,004 \text{ кг/моль}$.
13. $0,072 \text{ кг/м}^3$.
14. 109 и 116 Па.
15. Диаграмма представлена на рис. 42.
16. В 1,7 раза.
17. 8,2 МПа.
18. 1-2 — изобара (газ нагревается, поглощая теплоту); 2-3 — изохора (газ охлаждается, выделяя теплоту); 3-1 — изотерма (объем газа уменьшается, а давление растет), в этом случае газ отдает теплоту (рис. 43).
19. $0,029 \text{ кг/моль}$.
20. 200 м^3 .
21. Уменьшится в 4 раза.
22. а) 1-3-2 — изохорно-изобарный; б) 1-4-2 — изобарно-изохорный; в) 1-2 — изотермический или адиабатический (рис. 44).
23. 1-2 — изохора; 2-3 — изобара; 3-4 — изохора; 4-1 — изобара (рис. 45).
24. 7 %.
25. $3,5 \text{ кг/м}^3$.
26. $0,0036 \text{ К}^{-1}$.

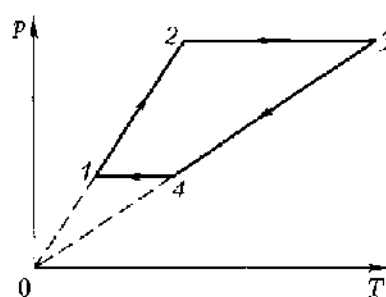
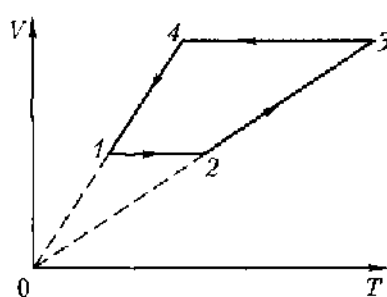


Рис. 45

27. Газ получал теплоту на участках 2–3 и 1–2, отдавал на участках 3–4 и 4–1.

28. При изобарном, что легко определить по диаграмме процессов.

29. 364 К.

30. При адиабатном сжатии работа внешних сил идет на увеличение внутренней энергии газа (по первому началу термодинамики $Q = 0$ и $A = \Delta U$) и температура газа растет. Давление в газе возрастает в результате уменьшения его объема и повышения температуры. Во втором случае давление растет только из-за уменьшения объема газа. Следовательно, в первом случае давление вырастет больше, чем во втором.

31. Газы используют из-за большей сжимаемости и сильно выраженной зависимости их давлений и объемов от температуры по сравнению с жидкостями и твердыми телами. Нагревание жидкого или твердого тела до такой же температуры, что и газа, вызвало бы незначительное перемещение поршня.

32. В данном случае (считая процесс изотермическим) закон Бойля — Мариотта применять нельзя, поскольку он справедлив для систем не только с постоянной температурой, но и неизменной массой. В данном же случае масса воздуха в камере постоянно возрастает, и система «камера — воздух» не является термодинамической; для описания ее состояния следует применять другие законы, изучение которых выходит за пределы программы общей физики.

33. Пар перейдет в насыщенный.

34. а) пар станет ненасыщенным; б) при наличии центров конденсации пар конденсируется.

35. В обоих случаях (при одинаковой температуре) число молекул в жидкости, способных выйти из нее, одинаково.

36. При изобарическом охлаждении, так как состояние насыщения достигается в результате снижения температуры и увеличения плотности пара; при изохорическом охлаждении — только благодаря понижению температуры.

37. Нет, поскольку давление над жидкостью будет превышать давление насыщенного пара на значение давления газа.

38. Нет; φ будет уменьшаться.

39. Да.

40. Нет. Если бы точка кипения жидкости во внешнем сосуде была выше, чем у жидкости во внутреннем сосуде, то это могло бы произойти.

41. Испаряющаяся с поверхности человеческого тела вода уносит с собой некоторое количество теплоты.

42. Испарение воды снижает температуру горящего тела настолько, что реакция горения прекращается. Пар обволакивает горящее тело и прекращает доступ к нему кислорода. Кипяток быстрее гасит огонь, так как он превращается в пар быстрее, чем холодная вода.

43. При испарении сжиженного углекислого газа из окружающего воздуха поглощается некоторое количество теплоты. Пары газа и водяные пары, содержащиеся вблизи огнетушителя в воздухе, образуют кристаллики «снега». Углекислый газ, попадая на горящие предметы, понижает их температуру и препятствует доступу кислорода в зону горения.

44. Вокруг открытых емкостей всегда содержатся пары легко воспламеняющихся веществ. Смесь паров с воздухом при попадании искры или огня может взорваться.

45. 34 г.

46. Количество теплоты, необходимое для нагревания воды, $Q = cm(T_2 - T_1)$. С учетом КПД спиртовки выделится количество теплоты $Q_2 = Q_1/\eta$. За 1 мин при сгорании 2 г спирта выделится $Q_3 = qm_2$. Тогда время, необходимое для доведения воды до кипения, $t = Q_2/Q_3 = 10$ мин.

47. 88 °C.

48. Мельчайшие водяные пары невидимы, но при охлаждении они могут конденсироваться в более крупные капельки воды — образуется видимый «туман». При нагревании капельки тумана опять превращаются в невидимые водяные пары: туман рассеивается.

49. Летящий самолет, выбрасывая частички сгоревшего горючего, вносит в насыщенный пар центры конденсации. Пар конденсируется, и за самолетом образуется «туман» (облачный след).

50. Ненасыщенный пар, выдыхаемый легкими, при соприкосновении с холодными предметами становится насыщенным: выпадает роса.

51. Ненасыщенный пар, выдыхаемый легкими людей, находящихся в комнате, при соприкосновении с холодными предметами становится насыщенным, и на оконных стеклах выпадает роса.

52. Это делают, чтобы выдыхаемый человеком насыщенный пар не конденсировался на зеркальце.

53. Содержащиеся в воздухе водяные пары, прикасаясь к холодным стенкам стакана, становятся насыщенными, превращаясь в воду. Когда стакан нагревается, капли, испаряясь, исчезают.

54. Перед дождем увеличивается влажность воздуха. Крылышки насекомых при этом тяжелеют, и они могут летать лишь у поверхности земли. Ласточки питаются насекомыми, поэтому перед дождем они летают низко.

55. $1,2 \cdot 10^{-2}$ кг/м³.

56. 60 %; 1600 Па.

57. 2,1 г.

58. Увеличится на 19 %.

63. Да.

64. Нет. Силы натяжения в поверхностном слое жидкости действуют только в этом слое, а силы упругости пленки — в каждой точке ее объема. Закон Гука нельзя применять к поверхностному

слою жидкости, как к резиновой пленке, так как сила поверхностного натяжения — величина постоянная.

65. Эти силы имеют электромагнитную природу, так как обусловлены межмолекулярным взаимодействием, которое имеет электромагнитную природу.

66. В момент погружения тела разрушается поверхностная пленка воды. Брызги, которые летят вверх, изменяют свою форму так, чтобы их поверхность стала минимальной. Минимальную поверхность имеет, в частности, шар, поэтому брызги и приобретают сферическую форму.

67. В процессе пайки расплавленный припой смачивает поверхности соединяемых деталей и, затвердевая, соединяет их. Олово же не смачивает пленку оксидов алюминия, покрывающих его поверхность.

68. Плотная бумага чернилами смачивается, но капилляры в ней заполнены другим веществом. Промокательная бумага имеет большое количество капилляров, в которые проникают чернила, поэтому запись на ней получается расплывчатой. Промасленная бумага чернилами не смачивается, и они на ней собираются каплями.

69. Шелк плохо смачивается водой.

70. Будет за счет влаги, которая поднимается по капиллярам почвы.

71. Мел — вещество пористое. Проникающая по капиллярам вода вытесняет из них воздух.

72. Песчаный, так как в нем содержатся капилляры, по которым вода поднимается из почвы на поверхность.

73. Кирпичный фундамент содержит капилляры, по которым вода из почвы может проникнуть в стены здания. Слой рубероида преграждает путь воде вверх.

74. Можно. Из-за смачивания чернила растекутся по стенкам баллона авторучки и будут подаваться к перу по капиллярам.

75. $1,6 \cdot 10^{-4}$ Дж.

76. $6,3 \cdot 10^{-5}$ Дж.

77. На 4 Па.

82. Да. Например, при нормальном атмосферном давлении поваренная соль становится жидкой при температуре выше 800°C .

83. В условиях климата нашей страны пирамиды не сохранились бы долго, так как не выдержали бы многократного замерзания и оттаивания воды в порах камня. Известно, что вода при замерзании расширяется, а при оттаивании сжимается.

84. На растворение сахара (на разрушение его кристаллической решетки) расходуется энергия в виде некоторого количества теплоты из окружающей среды, поэтому сладкий чай охлаждается.

85. Несмотря на легкость и простоту очистки улиц и тротуаров ото льда с помощью соли, применение этого способа недопустимо по следующим причинам: а) расходуется весьма ценный пищевой

продукт — поваренная соль; б) соль со снегом попадает на металлические поверхности транспортных средств, вызывая коррозию и их преждевременное разрушение; в) портится обувь пешеходов; г) весенние сточные воды с повышенной концентрацией соли попадают в естественные водоемы и не только загрязняют их, но и создают условия для гибели флоры и фауны этих водоемов.

86. Похолодание весной наступает во время массового таяния льда в больших водоемах, так как этот процесс сопровождается поглощением теплоты из окружающей среды (воздуха). Осенью же при замерзании воды наступает потепление, так как процесс образования льда сопровождается выделением теплоты в окружающую среду.

87. Распределение температур в водоемах с непроточной водой при замерзании последней таково: плюс 4°C — у дна; 0°C — на поверхности. Плотность льда меньше, чем воды, и он остается на поверхности.

88. Температура прилегающего к нижней поверхности льда слоя воды равна 0°C .

89. Холодная вода быстро отдает теплоту и замерзает, не успев разлиться ровным слоем по поверхности.

90. Температура замерзания раствора или специальной жидкости ниже 0°C , что позволяет применять их в холодильниках при температурах замерзания воды.

91. Летом, так как при повышении температуры длина проводов увеличивается.

- | | |
|---|---|
| 92. 6,9 г. | 93. $377 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$. |
| 94. 2142 кДж . | 95. 610 кДж . |
| 96. 26 г. | 97. 26,5 кг. |
| 98. $1,009 \cdot 10^5 \text{ Па}$. | 99. На $1,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$. |
| 100. $0,98 \text{ м}^3$. | 101. $0,2 \text{ м}^2$. |
| 102. 1,2 км. | 103. Выльется. |
| 104. $33,6 \text{ кДж}$. | 105. $2,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. |
| 106. $1,9 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$. | 107. 576°C . |
| 108. Увеличится на 0,6 мм; уменьшится на 0,43 мм. | |

Глава 3 ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

3.1. Электрическое поле

1. Нужно подвести палочки на нитях и понаблюдать за их взаимодействием.

2. Эбонит — диэлектрик, металл — проводник.

3. Происходит электризация волос при контакте их с расческой.

4. Противоречия с законом Кулона нет, так как под действием электрического поля одного заряженного шара смещаются заряды другого шара, в результате чего расстояние между центрами тяжести разноименных зарядов оказывается меньше расстояния между центрами тяжести одноименных зарядов.

5. Не могут. В противном случае одну и ту же точку поля характеризовали бы несколько значений напряженности поля.

6. Рис. 15, а — поле создано положительным зарядом Q_1 ; рис. 15, б — поле создано отрицательным зарядом Q_2 , причем $|Q_2| > |Q_1|$. В точках, расположенных на одинаковых расстояниях от центров обоих шаров, $|E_2| > |E_1|$.

7. Силы, которые соответствуют таким взаимодействиям, — силы трения, упругости, межмолекулярного взаимодействия.

8. Дальнего действия. Отсутствие времени в формуле свидетельствует о том, что взаимодействие между зарядами не зависит от него, т. е. передается мгновенно.

9. Плотность силовых линий вблизи заряда плюс $2|Q|$ наибольшая.

10. $7,6 \cdot 10^{-5}$ м.

11. $4,2 \cdot 10^{42}$ раз.

12. $F = 0$.

13. $6 \cdot 10^5$.

14. $6 \cdot 10^4$ В/м.

18. Можно, если приближать или удалять другие тела.

19. Чтобы уменьшить влияние поля проводника на показания электрометра.

20. Поровну.

21. Появится ток, который будет направлен от большего шара к меньшему.

22. Емкость Земли (примерно 711 мкФ) относительно очень велика, поэтому присоединение к ней какого-либо заряженного тела не изменяет ее потенциала. Тело приобретает потенциал Земли, и все явления электризации исчезают. Поэтому потенциал Земли удобно считать нулевым.

23. Нет. В этом случае $A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = q(\varphi_1 - \varphi_2) = 0$, так как $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$, где φ — значение потенциала, соответствующее потенциальной поверхности. Следовательно, $v_1 = v_2$.

24. Если заряды отрицательные, то нет.

25. Вследствие отталкивания заряды сосредоточатся на концах проводника. Потенциалы внутри на поверхности проводника равны, в противном случае заряды перемещались бы, что привело бы к выравниванию потенциалов.

26. $1,04 \cdot 10^9$.

27. $1,87 \cdot 10^3$ В.

28. $4 \cdot 10^{-4}$ Кл.

29. $4,5 \cdot 10^3$ В.

30. $8,4 \cdot 10^6$ м/с.

31. 597 В.

32. Линии напряженности электрического поля всюду перпендикулярны эквипотенциальным линиям и направлены в сторону убывания потенциала. Напряженность поля больше там, где эти линии гуще.

33. Расхождение листочков электроскопа пропорционально плотности распределения зарядов, поэтому в точке *A* угол расхождения максимальный, в точке *C* — минимальный.

34. Поверхность шара *B* является эквипотенциальной.

35. Нет. В момент соприкосновения проводников заряды с одного проводника начнут переходить на другой до полного уравнивания потенциалов.

36. Да. Если к незаряженному проводнику поднести заряженное тело, то на проводнике заряды перераспределятся так, что вокруг него возникнет электрическое поле, которое имеет отличную от нуля энергию.

38. $1 \cdot 10^{-10}$ Ф.

39. $4,8 \cdot 10^{-3}$ м.

40. 40 В.

41. Параллельно (последовательно).

42. а) Разности потенциалов одинаковы, а заряды пропорциональны емкостям; б) заряды одинаковы, а разности потенциалов обратно пропорциональны емкостям.

43. $\epsilon C/(\epsilon - 1)$.

44. 180 и 120 В.

45. Большей энергией обладает конденсатор с меньшей емкостью.

46. На заряженный шарик, находящийся вне сферы, действует такая же сила, которая действовала бы со стороны шарика с зарядом плюс *Q*, если бы сфера отсутствовала.

47. В случае разноименных зарядов.

48. $E = 0$; потенциал равен потенциалу на поверхности шара.

49. Более высокое пробивное напряжение требует более толстого слоя диэлектрика, а это вызывает уменьшение емкости. Чтобы сохранить заданную емкость, необходимо увеличить площадь пластин.

50. Разность потенциалов уменьшится.

51. Большей энергией обладает конденсатор с большей емкостью.

3.2. Постоянный ток

1. Вторым проводом служит металлический корпус велосипеда.

2. Амперметр имеет малое внутреннее сопротивление, при включении через него пройдет большой ток и он выйдет из строя.

3. В соответствии с законом Джоуля — Ленца на последовательно соединенных участках проводника количество выделившегося тепла пропорционально сопротивлению участка, а сопротивление участка обратно пропорционально площади сечения проводника.

4. В этом случае увеличивается поперечное сечение проводников на участке цепи и, следовательно, уменьшается их сопротивление.

5. Необходимо измерить сопротивление катушки, составив цепь, состоящую из источника тока, катушки, вольтметра и амперметра. Измерив диаметр проводника, из которого сделана обмотка катушки, и используя табличные значения удельного сопротивления меди, можно по формуле $l = RS/\rho$ найти длину проводника; $m = D_m V$, где D_m — плотность меди.

6. 2,9 Ом.

7. R .

8. R .

9. 4/3; 6; 2/3; 3 Ом.

10. При включенном выключателе лампа $EL2$ горит полным накалом, $EL1$ гаснет, при выключенном — обе лампы горят вполнакала.

11. 12,5 км.

12. 25 Ом.

13. Первый проводник тяжелее в 2 раза.

14. При сухой коже сила тока, проходящего через тело человека, 2,2 мА; при влажной — 147 мА, что значительно превышает значение «обездвиживающего» тока.

15. 48 Ом.

16. $2,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$, 8,3 м.

17. $1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

18. 103 м.

19. 6 и 4 Ом.

20. 400 и 500 Ом.

21. 5,05 А.

22. 1 Ом.

23. 0,3 А; 0,3 В; 1,2 В.

24. Показания $A1$ уменьшаются, $A2$ — увеличатся.

25. Вольтметр показывает напряжение на участке CD или равную этому напряжению ЭДС.

26. Из закона Ома для полной цепи следует, что $E = U_{\text{внеш}} + U_{\text{внут}} = IR + Ir$. При коротком замыкании $R \rightarrow 0$ и $IR = U_{\text{внеш}} = 0$.

27. Нельзя, так как ток в цепи превысит 6 А.

28. 3,5 А.

29. 65 и 10 Вт.

30. Из формулы (102) следует, что $Q_1 = (U^2/R')t_1$, где $R' = R/3$, а $Q_2 = (U^2/R'')t_2$, где $R'' = 3R$. Так как $Q_1 = Q_2$, получим $t_2 = 9t_1$, $t_2 = 6 \text{ мин}$.

31. 288 Дж.

32. В 3 раза.

33. Нет. При изменении внешней нагрузки изменяется ток в цепи, что ведет к изменению работы на внутреннем участке цепи.

34. Вверх.

35. Определим допустимый ток через гирлянду: $I = Pn_1/U$, где n_1 — число ламп в целой гирлянде; $I_d \approx 0,12$ А. Допустимое повышение тока $\Delta I_d = 0,024$ А. Сопротивление гирлянды из оставшихся n_2 ламп $R = Un_2/(n_1 I_d)$, $R \approx 1420$ Ом. Ток в укороченной гирлянде $I \approx 0,156$ А превышает допустимый на $\Delta I = 0,036$ А, следовательно, укороченной гирляндой пользоваться нельзя.

36. Ток в обогревателе $I = P/U \approx 6,8$ А превышает ток, на который рассчитан предохранитель, поэтому обогревателем пользоваться нельзя.

37. Отношение длин алюминиевого и медного проводников можно найти, используя значения плотности меди D_m и алюминия D_a , значения удельных сопротивлений меди ρ_m и алюминия ρ_a :

$$\frac{l_a}{l_m} = \sqrt{\frac{D_m \rho_m}{D_a \rho_a}} = 4,6.$$

38. Нужно определить сопротивление R мотка медной проволоки омметром, взвесить моток и определить массу m проволоки. Исполь-

зуя формулы $m = D_m l S$ и $R = \rho_m l / S$, найти $l = \sqrt{\frac{mR}{D_m \rho_m}}$ и $S = \sqrt{\frac{\rho_m m}{D_m R}}$,

где ρ_m — удельное сопротивление меди; D_m — плотность меди; l — длина проволоки; S — площадь поперечного сечения.

39. Нецелесообразно.

40. Напряжение в цепи освещения автомобиля 12 В, поэтому ток в цепи фар 8,3 А, следовательно, аккумулятор разрядится приблизительно через 7 ч.

41. 5,8 ч.

3.3. Электрический ток в различных средах

2. Молекулы растворимых веществ (солей, кислот, щелочей) состоят из атомов (молекул), которые удерживаются друг около друга электрическими силами. Растворитель — вода — имеет большую диэлектрическую проницаемость, поэтому силы взаимного притяжения между ионами растворимого вещества резко уменьшаются (в 30 ... 40 раз) в водных растворах. Происходит распад молекул растворимого вещества на ионы, которые в результате теплового движения расходятся и, таким образом, образуют свободные положительные и отрицательные ионы.

3. С повышением температуры увеличивается подвижность ионов и степень диссоциации электролита.

4. Молекула AgNO_3 диссоциирует на Ag^+ и NO_3^- . У катода происходит выделение серебра.

5. 0,011 кг.

6. $1,6 \cdot 10^{-3}$ кг.

7. Образуются углубления на тех местах, с которых снят воск (гравировка).

8. 0,61 кг.

9. 2 ч.

10. 0,38 А.

11. $6,6 \cdot 10^{-3}$ кг.

12. 111,8 мг.

13. 35 г.

16. При ионизации атома электрон, поглотив энергию, превышающую работу ионизации, отрывается от атома и становится свободным, т. е. не связанным с атомом. Атом становится положительным ионом, так как положительный заряд ядра полностью не компенсируется суммарным зарядом электронов, связанных с ним. При возбуждении атома электрон, поглотив квант энергии, не превышающий работу ионизации, переходит на более удаленную от ядра орбиту, но не отрывается от атома, остается связанным с ним, поэтому атом остается электрически нейтральным.

17. Электрическая проводимость металлов при повышении температуры уменьшается (сопротивление увеличивается), а при понижении — увеличивается (сопротивление уменьшается). Это можно объяснить тем, что при повышении температуры подвижность электронов проводимости уменьшается и соответственно увеличивается сопротивление металла. В металлах при изменении температуры концентрация электронов проводимости остается постоянной.

Электрическая проводимость диэлектриков при повышении температуры слабо возрастает, а при понижении — незначительно уменьшается. Это объясняется тем, что энергия связи электронов с атомами настолько велика, что той энергии, которую электроны приобретают при нагревании, недостаточно для их отрыва от атома.

В полупроводниках с повышением температуры увеличивается генерация пар «электрон — дырка», поэтому увеличивается число подвижных носителей электрических зарядов, что приводит к повышению электрической проводимости (уменьшению сопротивления). Подвижность свободных электронов в полупроводниках, как и у металлов, уменьшается, но фактор увеличения концентрации подвижных носителей электрических зарядов играет более существенную роль, чем их подвижность.

18. Примесные вещества обычно уменьшают проводимость металлов и увеличивают ее у диэлектриков и полупроводников. В металлах примеси нарушают стройность кристаллической решетки, что приводит к уменьшению проводимости. Если в диэлектрике или полупроводнике присутствуют примесные вещества, атомы кото-

рых сравнительно легко могут терять валентные электроны, то проводимость их возрастает, потому что возрастает концентрация свободных носителей электрических зарядов.

20. Чтобы получить электрическую проводимость полупроводника такую же, как у металла, необходимо добиться в нем такой же концентрации электронов проводимости. Концентрация электронов проводимости у металлов примерно 10^{25} м^{-3} , у полупроводников — 10^{19} м^{-3} . Увеличить концентрацию электронов проводимости в полупроводнике можно при повышении его температуры, но повышением температуры не удастся так сильно повысить концентрацию электронов проводимости в полупроводниках, так как они преждевременно плавятся. При этом разрушаются ковалентные связи и исчезают полупроводниковые свойства.

21. Полупроводник *n*-типа.

22. При понижении температуры в полупроводнике концентрация пар «электрон — дырка» уменьшается, сопротивление полупроводника увеличивается и может стать таким же, как у диэлектрика. При этом условии полупроводник не обладает свойствами полупроводника, а обладает свойствами диэлектрика. Однако при повышении температуры полупроводник вновь приобретает прежние полупроводниковые свойства.

23. Нельзя, так как оба металла трехвалентные, поэтому атомы индия, попадая в кристаллическую решетку алюминия, или, наоборот, атомы алюминия, попадая в кристаллическую решетку индия, не создают дырок и дополнительных свободных электронов.

24. На границе соприкосновения полупроводников *p*- и *n*-типов возникает контактное электрическое поле, которое действует на свободные электрические заряды как конденсатор, между обкладками которого помещен заряд. Как любой свободный заряд не может оставаться между обкладками конденсатора, так и любой заряд не может удержаться в *p-n*-переходе.

25. $1,6 \cdot 10^{-15} \text{ Дж}$; 3 Вт.

26. $8 \cdot 10^4 \text{ К}$.

27. $3,92 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$.

28. $2,2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

29. В трубке В имеет место термоэлектронная эмиссия.

30. $1,9 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

31. Необходимые носители заряда возникают в процессе термоядерной ионизации.

32. $3 \cdot 10^6 \text{ В/м}$.

33. $4 \cdot 10^{-3} \text{ А}$.

34. $8 \cdot 10^{-3} \text{ А}$.

35. $7,5 \cdot 10^{16}$.

36. Нет.

37. $1,3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

38. $5,2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

39. $1 \cdot 10^{-3}$ и $-0,25 \cdot 10^{-3}$ А.

40. Медные проводники присоединим к выводам аккумулятора, а свободные концы воткнем в картофелину. В результате электролиза у положительного полюса батареи выделится заряд Q_2 , который взаимодействует с медью. Образуются оксиды и гидроксиды меди, которые окрашивают часть картофелины в голубовато-зеленый цвет.

41. Число киломолей выделившихся газов (водорода и кислорода) одинаково $\rightarrow 0,6 \cdot 10^{-6}$, следовательно, одинаковы и объемы: $0,6 \cdot 10^{-6} \cdot 22,4 = 13,4 \cdot 10^{-6}$ м³. Значения электрохимических эквивалентов для водорода и кислорода взять из справочников.

3.4. Электромагнетизм

1. Рамкой с электрическим током (небольших размеров).
2. В соответствии с третьим законом Ньютона $F_1 = F_2$.
3. Закон Кулона справедлив для неподвижных электрических зарядов.
4. В отличие от кулоновских и гравитационных магнитные силы не центральные, а имеют вихревой характер.
5. Надо разломить полотно на две части. Если оно намагничено, то обе половины будут взаимодействовать между собой.
6. Сила Ампера вызовет изгиб спирали в том случае, если по ней протекает постоянный ток.
7. В северном полушарии Земли находится южный магнитный полюс. Если смотреть на земной шар со стороны этого полушария, то кольцевой ток должен идти по часовой стрелке, следовательно, электроны движутся в противоположном направлении.
8. Приблизить к экрану телевизора подковообразный магнит так, чтобы их плоскости были параллельны. После этого по смещению изображения, пользуясь правилом левой руки, можно определить направление линий индукции и, следовательно, полюсы магнита.
9. $4 \cdot 10^{-5}$ Тл.
10. 0,2 м.
11. Одинаковые южные.
12. $1,2 \cdot 10^{-3}$ Н.
13. Силы электрического взаимодействия значительно превышают силу Ампера.
14. 19 Н.
15. 1 Тл.
16. 1,3 Н.
17. $3 \cdot 10^{-2}$ м.
18. 12,6 А.
19. $4 \cdot 10^{-5}$ Тл.

20. 0,96 Дж.
21. 1 Дж.
22. 1,55 А.
28. Проводник разомкнутый; следствие закона Ома.
29. Кинетическая энергия движущихся электрических зарядов в проводнике.
30. При обычных условиях индукционные токи в проводнике, противодействуя изменениям внешнего магнитного потока $\Delta\Phi$, быстро «гасятся» (их энергия тратится на «джоулево» тепло). В сверхпроводящем теле индукционные токи не «гасятся» (так как $R = 0$), поэтому компенсируют изменение потока $\Delta\Phi$, отчего магнитное поле не может проникнуть в середину сверхпроводящего тела.
31. В каждой из частей проволоки возникают ЭДС противоположных знаков.
32. Против часовой стрелки.
33. Изменять магнитный поток, замыкая и размыкая полюсы магнита стальным стержнем.
34. $\varphi_B > \varphi_A$.
35. Различно, так как при намагничивании тела постукивание способствует ориентации доменов в магнитном поле, а после намагничивания — нарушает их ориентацию.
36. Сверху вниз.
37. Нет.
38. 2 Тл.
39. 0,156 В.
40. $2\pi BSN_n$.
41. 13 В.
42. 24° .
43. 0,26 м.
44. 0,43 В.
45. 1 м.
46. 1,3 В.
47. 2 Тл.
48. $2,2 \cdot 10^3$ В.
49. 10 А/с.
50. 0,375 Гн.
51. В 4 раза.
52. 0,5 Гн.
53. При подъеме и спуске за счет изменения магнитного потока.
54. С различными ускорениями вследствие закона Ленца.
55. Молния представляет собой мощный электрический заряд, т.е. кратковременное движение электрически заряженных частиц, сопровождающееся появлением магнитного поля, которое и вызывает указанные явления.
56. Приложить такую пластинку к магниту. Пластинка намагнитится, с ее помощью можно извлечь иголку из щели.

57. Кусок проволоки становится магнитом с двумя разноименными полюсами.
58. Не будет.
59. Северный.
60. Поднести к опилкам магнит, железные опилки притянутся к нему.

Глава 4 КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

4.1. Механические и электромагнитные колебания и волны

1. За одно полное колебание точка проходит путь $4x_m$. За время t точка совершает t/T колебаний. Поэтому $S = 4x_m t/T$.
2. В единицах СИ $\pi^2 \approx g$, поэтому $T^2 \approx 4l$.
3. Увеличится.
4. Уменьшится.
5. Математический маятник внутри космического корабля-спутника не будет совершать колебаний, так как в корабле-спутнике из-за невесомости отсутствует возвращающая сила.
6. Скорость распространения звуковых волн в однородной среде одинакова, поэтому звуки оркестра, различные по высоте тона, доходят до слушателя одновременно.
7. Период колебаний качелей уменьшится, если на них качаются стоя. Качели можно рассматривать (если не учитывать сопротивление воздуха) как математический маятник. В этом случае длина маятника определяется расстоянием от точки подвеса до центра тяжести колеблющегося тела. Центр тяжести человека, стоящего на доске качелей, оказывается выше, а это значит, что длина рассматриваемого маятника уменьшается.
8. Частота колебаний уменьшается, так как центр тяжести воронки по мере высыпания песка понижается, следовательно, увеличивается длина маятника.
9. Изменив положение «чечевицы» на стержне маятника, можно изменить период его колебаний и тем самым отрегулировать ход часов.
10. Для восстановления правильного хода отстающих часов надо уменьшить период колебаний маятника, для чего уменьшить его длину.
11. Маятники часов (настенных и ручных) отмеряют равные промежутки времени. Значения этих промежутков времени у часов разных марок могут быть различными. В привычные нам секунды, ми-

нуты, часы эти равномерные колебания преобразуются за счет движения многочисленных зубчатых колес в механизме часов.

12. Зависит, так как $E_k = 2\pi^2 m A \nu^2$.

13. Резонанс может наступить и тогда, когда периодически действующая сила имеет период, в целое число раз меньший периода собственных колебаний. В этом легко убедиться на примере качелей. Толчки можно сообщать не при каждом отклонении качелей от положения равновесия, а реже.

14. Ведро начинает сильно раскачиваться, когда собственная частота колебаний системы совпадает с частотой толчков при ходьбе. При изменении частоты шагов изменяется частота вынужденных колебаний ведер и резонансные явления не наступают.

15. Волны полностью отражаются от препятствий, которые имеют размеры, большие, чем длина волны. Препятствия, размеры которых меньше длины волны (а именно такими препятствиями для морских волн являются сваи), огибаются волнами, а само препятствие становится как бы источником новых (хотя и слабо выраженных) волн.

16. Оконные стекла в автобусе начинают дребезжать при совпадении собственных частот колебаний с частотой колебания автобуса при определенной скорости.

17. Без нагрузки двигатель вращает пилу с большой скоростью, следовательно, частота ударов зубьев пилы о дерево велика. Когда пила входит в дерево, возрастает трение диска пилы о дерево и, как следствие, понижается скорость вращения. Удары зубьев следуют реже, что воспринимается на слух как снижение частоты звуковых колебаний.

18. В первом.

19. Когда ножка камертона прижата к столу, колебания камертона передаются большой поверхности стола, а от нее — воздуху. Колебания больших масс воздуха вызывают более громкий звук.

20. В струне — поперечные, а в воздухе — продольные.

21. Да, можно. Иногда люди теряют слух из-за болезненных повреждений наружного уха и барабанной перепонки. Но если сохранилась работоспособность внутреннего уха, то звуковые колебания к нему могут попасть через кости черепа. Кстати, на этом основано устройство слухового аппарата для людей с пониженным слухом. Телефон такого аппарата укрепляется не в ухе, а за ухом и прижимается к голове. Усиленные звуковые колебания тем самым передаются костям черепа и попадают во внутреннее ухо.

22. Канифоль увеличивает трение между смычком и струной. Тем самым улучшаются условия для возбуждения колебаний струны.

23. Вследствие многократных отражений замкнутое пространство помещения более или менее равномерно заполняется энергией звуковых колебаний.

24. Чем выше частота звуковых колебаний, тем сильнее звук поглощается средой. Поэтому на большом расстоянии становятся не-

слышимыми высокими частотами в звуках речи, что и делает речь неразборчивой.

25. В полете летучая мышь для ориентации в окружающей среде использует не зрение, а ультразвуковую локацию. Ультразвуковые сигналы летучих мышей почти не отражаются от волос (особенно от пышных причесок), мышь «не замечает» такое препятствие и может случайно натолкнуться на него.

26. В помещении происходит отражение звуковых волн от стен, потолка и пола.

27. 2 Гц.

28. 0,002 с.

29. 0,25 м.

30. 0,2 м; 1 с.

31. $x = 0,3 \sin(\pi t)$.

32. Нет. В волне кинетическая и потенциальная энергии частиц полностью передаются соседним частицам.

33. В точке схождения волн колебания усилятся, так как разность хода равна четному числу полуволн.

34. 2720 м.

35. 30 м.

36. $2 \cdot 10^4$ Гц.

37. $6,8 \cdot 10^{-3}$ м.

38. За 2,5 с звук проходит путь 850 м. Это расстояние до леса и обратно. Следовательно, лес находится на расстоянии 425 м.

39. Частота воспроизводимого звука станет больше во столько раз, во сколько раз увеличится скорость вращения диска — 594,6 Гц.

40. 1435 м/с.

41. Верно первое утверждение, так как наше ухо воспринимает как звук колебания не всех, а лишь определенных частот.

42. 1,4 м/с.

61. Чтобы настроить контур на прием более длинных волн, надо увеличить период собственных колебаний контура, так как длины волн и периоды колебаний находятся в прямой пропорциональной зависимости. Для увеличения периода собственных колебаний контура необходимо увеличить емкость плоского конденсатора. Так как площадь обкладок конденсатора постоянна, то необходимо уменьшить расстояние между ними, т. е. для приема более длинных волн пластинки конденсатора следует сблизить.

62. Ультракороткие волны, которые излучают телевизионные передатчики, распространяются прямолинейно и почти не огибают встречающиеся на их пути препятствия.

63. Радиоволны отражаются от электропроводящих предметов и поэтому не могут проникнуть к радиоприемнику.

64. В закрытом колебательном контуре электромагнитные колебания со временем затухают вследствие того, что соединительные провода и обмотка катушки индуктивности обладают сопротивле-

нием электрическому току. Энергия электромагнитных колебаний превращается во внутреннюю энергию соединительных проводов и обмотки катушки.

65. В зависимости от конструкции приемника для настройки на радиостанцию можно менять емкость или индуктивность колебательного контура. Чаще для этой цели используют конденсатор переменной емкости.

66. Причиной радиомех являются электромагнитные волны, излучаемые атмосферными разрядами и искрами в различных технических устройствах. Электрические разряды, возникающие при работе этих приборов, создают электромагнитные волны — помехи.

68. Мост и тоннель экранируют (отражают и частично поглощают) электромагнитные волны.

69. Индуктивность катушки возрастет, а частота колебаний уменьшится.

$$70. T = 2\pi\sqrt{LC}; T = \frac{\lambda}{c}; \frac{\lambda^2}{c^2} = 4\pi^2 LC; L = \frac{\lambda^2}{4\pi^2 c^2 C} = \\ = \frac{9 \cdot 10^4}{4 \cdot 9,8 \cdot 9 \cdot 10^{16} \cdot 250 \cdot 10^{-12}} \approx 10^{-4} \text{ Гн.}$$

$$71. \lambda_n = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8}{1 \cdot 10^6} = 300 \text{ м}; \frac{\lambda_n}{\lambda_c} = \frac{300}{200} = 1,5. \text{ Длина волны в вакууме в 1,5 раза больше, чем в данной среде.}$$

72. Металлический предмет увеличивает индуктивность колебательного контура, и частота генерируемых колебаний при этом уменьшается.

73. 1,97 мкс; 508 кГц.

74. 59,8 ... 188 м.

75. 2,7 мс.

76. Для того чтобы электромагнитная волна отразилась от предмета, его размеры должны быть не меньше длины волны, т.е. $8 \cdot 10^{-3}$ м.

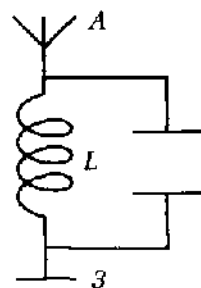


Рис. 46

77. Вибратор Герца излучает монохроматическую волну определенной частоты, тогда как заряд с переменным ускорением — набор волн разных частот.

78. Особенность монтирования антенн объясняется характером поляризации радиоволн. У телестанции вектор $\vec{E}$ радиоволны колеблется в горизонтальной плоскости, у станции радиовещания — в вертикальной.

79. На рис. 46 дана схема открытого колебательного контура. В закрытом колебательном контуре электрическое поле конденсатора и магнитное

поле катушки индуктивности разделены в пространстве, поэтому такой контур не излучает электромагнитные волны. Раздвинув обкладки конденсатора и одну из них заменив антенной, а другую — землей, получим открытый колебательный контур, в котором электромагнитное поле заполняет все окружающее пространство, благодаря чему возникают условия, при которых электромагнитное поле теряет связь с порождающими его электрическими зарядами и перемещается в пространстве. Излучающая способность открытого контура тем больше, чем выше частота электромагнитных колебаний в нем.

80. Электромагнитное излучение возникает при колебании заряженных частиц и при движении их с быстроизменяющейся скоростью. Электромагнитные волны возбуждаются ускоренно движущимися электрическими зарядами.

81. Электромагнитные волны переносят энергию, отражаются, преломляются, поглощаются, обладают интерференцией и дифракцией, поляризуются.

82. Во всяком металлическом проводнике, пересекаемом электромагнитными волнами, индуцируются переменные токи высокой частоты. Частично энергия этих токов расходуется на увеличение внутренней энергии металла (на нагревание), что соответствует поглощению волн, а часть энергии — на излучение электромагнитных волн, так как сам проводник становится как бы передающей антенной, что соответствует отражению волн.

84. Напряженность электрического поля (вектор $\vec{E}$), индукция магнитного поля (вектор $\vec{B}$).

85. Настроить приемник (резонатор) на частоту (или длину волны) передающей радиостанции (вibratora) — это значит добиться, чтобы частота собственных колебаний колебательного контура приемника совпала с частотой электромагнитных волн, излучаемых передатчиком. Настройка приемника на частоту передающей радиостанции осуществляется поворотом ручки настройки конденсатора переменной емкости колебательного контура приемника. Поворотом ручки настройки достигается увеличение или уменьшение площади обкладок конденсатора.

4.2. Электромагнитные волны оптического диапазона (световые волны)

1. Изменяется длина волны и скорость. Частота колебаний остается постоянной.

2. Красный, так как частота излучения не меняется.

3. 1,3 с.

4. $3,9 \cdot 10^{13}$ км.

5. 8 мин 19 с (≈ 500 с).
6. $9,46 \cdot 10^{15}$ м; 63 240 а.е.
7. 400 нм; фиолетовый.
8. $3,9 \cdot 10^{14}$; $7,5 \cdot 10^{14}$ с⁻¹.
9. $\nu_1 = 1,11 \cdot 10^{14}$ с⁻¹; $\nu_2 = 3,95 \cdot 10^{14}$ с⁻¹; $\nu_3 = 7,6 \cdot 10^{14}$ с⁻¹; $\nu_4 = 16,2 \cdot 10^{14}$ с⁻¹.
10. $\lambda_n = 443$ нм; $\lambda_n = 243$ нм.
11. 530 нм; красный.
12. На 250 нм.
13. $2,26 \cdot 10^8$ и $1,24 \cdot 10^8$ м/с.
14. $1,84 \cdot 10^8$ м/с.
15. $2 \cdot 10^8$ и $1,95 \cdot 10^8$ м/с.
16. $2,12 \cdot 10^8$ м/с.
17. На $3,6 \cdot 10^6$ м/с.
18. 1,4.
19. Поверхность, смазанная гуталином, хорошо отражает свет.
20. $\nu_{\text{пад}} = \nu_{\text{отр}}; \lambda_{\text{пад}} = n \lambda_{\text{отр}}$.
21. Для воздуха $n > 1$.
22. От костра восходят потоки воздуха разной температуры, а следовательно, и разной плотности.
23. Более удаленной.
24. Свет, испытывая многократное отражение от стен комнаты, обратно из комнаты почти не выходит. Комната с небольшим окном, сфера с малым отверстием представляют модели так называемого «абсолютно черного тела».
25. На законченной поверхности монеты скапливается большое число пузырьков воздуха, на которых происходит полное отражение света.

4.3. Волновые свойства света

2. Благодаря дифракции пучок станет расходящимся, переходя в конический.
3. Явлением интерференции.
4. Они не когерентны. Не выполняется условие постоянства во времени разности фаз.
5. От угла наблюдения зависит интерференционная картина.
6. Полосы станут уже.
7. Можно. Оптическая разность хода двух когерентных лучей должна быть равна $(2k - 1)\lambda/2$.
8. $\lambda/4$.
9. Кратна 0,3 мкм.
10. 3,7 мкм.
11. 1,33 м.

12. 500 нм.
13. 2 м.
14. 3 мм.
15. 720 нм.
16. 0,63 мм.
17. Наблюдается дифракция света на ячейках капроновой ткани.
18. Явление, аналогичное тому, что наблюдается при отражении света от грампластины.
19. Когерентные источники излучают волны с постоянной разностью фаз и одинаковой частотой (длиной волны).
20. Изменится, так как изменится оптическая разность хода лучей.
21. Дифракционная картина создается оправой объектива или зеркалом телескопа.
22. Окрашенное изображение создается благодаря явлению, имеющему название *хроматической аберрации линз* (в зеркалах это явление отсутствует). Хроматическая аберрация создается краями объектива (краями линзы), которые разлагают свет как призма.
23. Расстояние и размеры увеличиваются, если решетка с большим числом штрихов (меньшим периодом d); $\sin \varphi = k\lambda/d$ и $\sin \varphi \sim 1/d$.
24. Видимые спектры уплотнятся, так как длина волны уменьшится.
25. Граммофонная пластинка — это своеобразная отражательная решетка с периодом d . Она действует так же, как при нормальном падении света действовала бы прозрачная (проходящий свет) решетка с периодом $d \cos \alpha$. Увеличение α от 0 до $\pi/2$ (смотрим на поверхность пластинки более наклонно) равносильно увеличению числа штрихов дифракционной решетки в проходящем свете.
26. Очевидно, $\frac{\sin i}{\sin(90^\circ - i)} = n$, $\operatorname{tg} i = n$, откуда $i = \operatorname{arctg} n$, где n — показатель преломления.
27. Преломленный свет будет лишь частично поляризованным.
28. $\operatorname{tg} i = n$; $\operatorname{tg} i_{\text{пол}} = 2,42$; $i_{\text{пол}} = 67^\circ 30'$.
29. $n = \operatorname{tg} 53^\circ = 1,327$. Вода.
30. Полная поляризация луча, отраженного от поверхности прозрачного вещества, происходит при условии $i_{\text{пол}} + \epsilon' = 90^\circ$. На основании закона Брюстера определим угол полной поляризации $\operatorname{tg} i_{\text{пол}} = n = 1,47$; $i_{\text{пол}} = 55^\circ 50'$. Угол преломления $\epsilon' = 90^\circ - 55^\circ 50' = 34^\circ 10'$.
38. Скорость распространения любых электромагнитных волн в вакууме одинакова и не зависит от их частот. Следовательно, красные и фиолетовые излучения распространяются в вакууме с одинаковыми скоростями, равными $3 \cdot 10^8$ м/с. Скорость распространения электромагнитных волн в средах, отличных от вакуума, зависит от их частот. Чем больше частота электромагнитных волн, тем

меньше скорость их распространения. Так как частота фиолетового излучения больше, чем красного, то скорость распространения фиолетовых лучей в воде меньше, чем красных, и соответственно показатель преломления воды для фиолетовых лучей больше, чем для красных.

39. Частота монохроматического излучения постоянна и не зависит от показателя преломления среды. Фазовая скорость монохроматического излучения различна в разных средах, но постоянна в одной и той же среде, поэтому показатель преломления среды для монохроматического излучения постоянный; следовательно, монохроматический пучок света не обладает дисперсией.

40. В дифракционном спектре ширина цветных полос, соответствующих цветным лучам белого излучения, примерно одинакова, поэтому равномерный дифракционный спектр называется нормальным. Призматический спектр белого излучения неравномерный, он сжат в области красно-оранжевого излучения и растянут в области сине-фиолетового излучения.

41. Пусть частота монохроматического света ν , тогда скорость распространения света в одной среде $v_1 = \lambda_1 \nu$, а скорость распространения света в другой среде $v_2 = \lambda_2 \nu$, где λ_1 и λ_2 длины волн в этих

средах. Тогда $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1 \nu}{\lambda_2 \nu} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$.

42. Тело, полностью отражающее излучения всех частот, называется белым. Абсолютно белых тел в природе не существует. Тело, полностью поглощающее излучения всех частот, называется черным телом. Абсолютно черных тел в природе не существует.

43. Через светофильтр любого цвета, кроме зеленого, в том числе и через красный, листья будут казаться черными, потому что зеленые лучи, отраженные от зеленых листьев, будут поглощаться фильтрами. Через зеленый фильтр зеленые листья будут видны зелеными.

44. В морях и океанах на большой глубине темно, так как свет поглощается водой. При прохождении электромагнитной волны, в данном случае световой волны, через вещество часть энергии волны затрачивается на возбуждение колебаний электронов, а часть — переходит в другие виды энергии (например, во внутреннюю энергию вещества). Таким образом, интенсивность света при прохождении через вещество уменьшается, свет поглощается в веществе.

45. Этот цвет — набор многих разных длин волн.

46. Первая раскладывает свет на цвета, а вторая, повторно преломляя его, увеличивает расхождение лучей разных цветов.

47. Возникает спектр. Ближе нормали к поверхности располагается фиолетовый луч.

48. Радужную полосу. Возникает дисперсия света.

49. Верх — фиолетовый, низ — красный.

50. Черными, так как красный свет поглощается зеленым стеклом.

51. Освещенная белым светом синяя бумага отражает свет синего цвета, поглощая остальные, синий светофильтр пропускает только синие лучи, поглощая остальные. Воздух рассеивает голубые, синие и фиолетовые лучи сильнее, чем остальные, поэтому небо синее.

52. Снег почти все световые волны отражает, сажа их поглощает, листья отражают зеленые лучи, флаг — красный.

53. Белье с желтизной при добавлении голубого цвета синьки дает белый цвет.

54. Черными.

55. Свет от лампы проходит через светофильтры, которые пропускают свет соответствующего цвета.

56. Красный свет рассеивается на молекулах воздуха, капельках воды, содержащихся в атмосфере, меньше всего и, следовательно, виден дальше других цветов.

57. Меньше всего капельки воды (туман) рассеивают красный, оранжевый и желтый свет. Поэтому желтые фары хорошо освещают дорогу.

58. В свете свечи преобладают оранжевые, желтые и зеленые лучи (пламя свечи кажется желтым). Лента при этом может отражать только зеленые лучи, так как она содержит синие, голубые и зеленые лучи.

59. Атмосфера Земли рассеивает в основном коротковолновую часть спектра: синие и голубые лучи, а у Луны атмосферы нет.

60. Из-за спектрального состава искусственного освещения применяемые краски дадут искажение реальной цветовой гаммы.

61. Усиление света.

62. Пластинка играет роль отражательной дифракционной решетки.

63. По своей природе атомы одного и того же химического элемента имеют один набор строго определенных энергетических уровней. Поэтому они могут поглощать при переходе из нормального состояния в возбужденное и излучать при переходе из возбужденного состояния в нормальное кванты строго определенных энергий, что соответствует определенным линейным спектрам поглощения и спектрам излучения. Таким образом, каждый химический элемент имеет индивидуальный частотный состав электромагнитных излучений и поглощений.

64. Количеством, расположением и цветом линий.

65. Для определения химического состава вещества необходимо небольшую частицу этого вещества накаливать в пламени горелки до испарения и с помощью спектроскопа (а лучше с помощью спектрометра) исследовать спектр излучения и сравнить его с каталогом спектров излучения химических элементов.

66. Фраунгоферовы линии в сплошных спектрах Солнца и звезд являются линиями спектра поглощения, которые возникают в результате поглощения из сплошного спектра Солнца или звезд определенных квантов энергии газами и парами, находящимися на их поверхности.

67. Электромагнитные волны излучают горящие и негорящие дрова. Отличие состоит в том, что интервал длин волн (частот) у горящих дров шире. Негорящие дрова излучают только инфракрасное излучение, а горящие — инфракрасное и видимос.

68. По химическому действию на фотоэмульсию пленок (бумаги). После облучения ультрафиолетовым излучением и проявления фотопленка чернеет. Почернение фотопленки является подтверждением наличия ультрафиолетового излучения.

69. При любой температуре.

70. По тепловому действию. Для обнаружения инфракрасного излучения можно пользоваться термометром или болометром, включенным в цепь специального гальванометра.

71. В открытом Космосе. Атмосфера Земли сильно поглощает ультрафиолетовое излучение; до поверхности Земли доходит только незначительная их часть. Атмосфера Земли надежно защищает растительный, животный мир и людей от губительного действия коротковолнового и средневолнового ультрафиолетового излучения.

72. Опытным путем получена дифракция рентгеновского излучения от пространственной кристаллической решетки каменной соли. Этот опыт доказывает волновую природу рентгеновского излучения.

73. Солнечные лучи содержат ультрафиолетовое излучение, под действием которого и происходит загар. Нет, так как обычное стекло поглощает ультрафиолетовое излучение.

74. Стекло поглощает ультрафиолетовое излучение, а кварц пропускает.

75. В горах ультрафиолетовое излучение меньше поглощается атмосферой.

76. Нет, так как они являются источниками ультрафиолетового излучения, которое вредно для глаз.

77. Для отражения излучения, особенно инфракрасного (теплого).

78. Инфракрасным, так как оно обладает большими тепловыми свойствами.

79. Рефлектор отражает инфракрасное излучение.

80. Черные жучки поглощают больше инфракрасного излучения и погибают.

81. Рентгеновское и ультрафиолетовое.

82. Соли бария, хорошо поглощая рентгеновские лучи, делают видимыми мягкие ткани человека (желудка) на экране, чувствительном к рентгеновским лучам.

83. Возникает; однако энергия этого излучения невелика и оно полностью поглощается стеклом трубки.

84. 0,02 нм.

85. 1,24 кВ.

86. 10 кВ.

87. 47 кВ.

Глава 5 КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

5.1. Квантовые свойства света

1. Электрон поглощает энергию кванта (фотона) мгновенно (за время порядка $10^{-8} \dots 10^{-9}$ с). При фотоэффекте электрон вылетает из металла также мгновенно. При прекращении облучения электромагнитными волнами, вызывающими фотоэффект, мгновенно прекращается выход электронов из металла. Эти свойства фотоэффекта доказывают его безынерционность.

2. Принципиальное различие внешнего и внутреннего фотоэффектов состоит в том, что при внешнем фотоэффекте электроны вырываются из вещества, а при внутреннем — остаются внутри него.

3. Устройства, действие которых основано на использовании фотопроводимости полупроводников, называются *фотосопротивлениями* или *фоторезисторами* (рис. 47). Тонкий слой полупроводника наносится на изолятор с электродами в виде полосок и покрывается прозрачным лаком. Достоинства фоторезистора — высокая фоточувствительность, большой срок службы, малые размеры, простота изготовления, возможность выбора фотосопротивлений для нужного интервала волн. Недостатки — зависимости сопротивления от температуры окружающей среды, инертность, отсутствие прямой пропорциональной зависимости между током в цепи и интенсивностью освещения.

4. Наблюдаемая инертность фоторезисторов является не следствием свойства фотоэффекта, а следствием инертности, которой характеризуется явление рекомбинации пар «электрон — дырка» при изменении интенсивности протекания фотоэффекта или при мгновенном прекращении его действия.

5. Когда плотность излучения очень велика, взаимодействовать с веществом может одновременно не

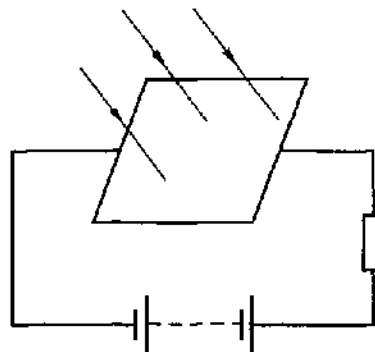


Рис. 47

один, а несколько фотонов. Соответственно и энергия, переданная электроном, увеличивается. Поэтому граница фотоэффекта сместится в сторону меньших частот (исчезнет). Явление тем вероятнее, чем больше интенсивность светового потока, падающего на поверхность тела.

6. Цинк имеет относительно небольшую работу выхода.

7. При запираании фототока уравнение фотоэффекта примет вид $h\nu = A + eU_z$.

8. Не будет, так как энергия фотона 4,1 эВ меньше работы выхода (4,7 эВ).

9. Да.

10. $4,97 \cdot 10^{-19}$ Дж.

11. $5,37 \cdot 10^{-19}$ Дж.

12. 2,49 эВ.

13. $3,8 \cdot 10^{-19}$ Дж.

14. 247 нм.

15. $6,97 \cdot 10^5$ м/с.

16. $\varphi = 4,59$ В.

17. 530 нм.

18. $6 \cdot 10^5$ м/с.

19. Для порога фотоэффекта $mv^2/2 = 0$. Тогда $A = h\nu_{\text{пор}}$, где $\nu_{\text{пор}} = 6 \cdot 10^{14}$ Гц. Чтобы задержать вылетающие электроны, нужно

приложить задерживающее поле: $eU_A = \frac{mv^2}{2}$. Тогда $h\nu = A + eU_z$,

или $h\nu = h\nu_{\text{пор}} + eU_z$ и $\nu \approx 13,2 \cdot 10^{14}$ Гц.

20. Да.

21. Становится составной частью массы тела, которое поглотило фотон.

22. У фотона нет массы покоя.

23. Нет. Изменение скорости фотона возможно только в случае его поглощения, когда он как частица вообще перестает существовать.

24. Так как импульс фотона $p = h/\lambda$, то $p = 1,324 \cdot 10^{-27}$ кг·м/с.

25. $\approx 4 \cdot 10^{-19}$ Дж.

26. $1,33 \cdot 10^{-27}$ кг·м/с.

27. 710 нм.

28. $2,6 \cdot 10^{-19}$ и $5 \cdot 10^{-19}$ Дж.

29. $4,42 \cdot 10^{-36}$ кг.

30. 53 фотона.

31. Формула а) выражает волновые, а формула б) — корпускулярные свойства света.

32. В левой части формулы величина E характеризует частицу, а в правой частота ν — волну.

33. Нет, корпускулярно-волновой дуализм проявляется в свойствах света, а не в природе, которая электромагнитна.

34. Второе, так как устраняется односторонность, ограниченность отдельно взятой волновой или корпускулярной модели электромагнитного поля.

35. В места максимумов интерференционной картины попадает наибольшее число фотонов. В места минимумов фотоны не попадают.

36. Давление света успешно объясняется обеими теориями света, что подтверждает двойственный характер его свойств.

37. Неодинаково, так как импульс, передаваемый телу при отражении от белой (блестящей) поверхности, имеет в 2 раза большее значение, чем при полном поглощении фотона веществом с черной поверхностью.

38. $p = nh(1 + \rho)/\lambda$, где ρ — коэффициент отражения света. При идеально отражающей поверхности $\rho = 1$, а в случае идеально поглощающей поверхности (черное тело) $\rho = 0$.

39. Учтя, что $\rho = 0$, получим по формуле (144) $n = 3 \cdot 10^{20}$ фотонов/ $\text{м}^2 \cdot \text{с}$.

40. Сила давления $F = pS$. Световое давление $p = E(\rho + 1)/c$, где E — освещенность, численно равная энергии, падающей на площадь 1 м^2 за 1 с, т. е. поток излучения; $\Phi = ES$, где S — площадь поверхности, на которую нормально падает свет. Тогда $F = ES(\rho + 1)/c = \Phi(\rho + 1)/c$. При зеркальной поверхности $\rho = 1$. В итоге получим $F = 2\Phi/c$, $F = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Н} = 4 \text{ нН}$.

41. Силу притяжения к Солнцу метеорита определим из закона всемирного тяготения $F_1 = Gm_C m_m / R_C^2$, где $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$, масса Солнца $m_C = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$, $R_C = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$. Масса метеорита $m_m = \rho V$, где ρ — плотность вещества метеорита и V — его объем ($V = 4\pi r^3/3$).

42. В первом источнике химических элементов, дающих данные спектральные линии, больше, чем во втором (выше их концентрация).

43. $5,6 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$.

44. $3,31 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$.

5.2. Физика атома

1. Число протонов в ядре атома и число электронов в атоме равны порядковому номеру химического элемента в таблице Д. И. Менделеева. В атоме цинка протонов в ядре — 30, электронов, вращающихся вокруг ядра атома, — 30.

2. Электрон, связанный с атомом, не излучает энергию, когда он движется по одной из дозволенных стационарных орбит или когда атом находится на одном из дозволенных энергетических уровней. В этом случае электрон не излучает энергию, несмотря на то что он движется с ускорением.

Электрон, связанный с атомом, излучает энергию в момент перехода с более удаленной на менее удаленную от ядра атома орбиту или в момент перехода возбужденного атома с большего на меньший дозволённый энергетический уровень.

3. О том, что размеры атома во много раз больше размеров ядра.

4. Отражает только внешнюю сторону модели.

5. Атом, находящийся в возбужденном состоянии, обладает большим запасом энергии, чем атом, находящийся в нормальном состоянии. В первом состоянии атом находится ограниченное время, а во втором — сколь угодно долго.

6. Нет.

7. В первом случае.

8. Каждая спектральная линия возникает в результате испускания фотона атомом при переходе атома из одного энергетического состояния в другое. Энергетическое состояние атома каждого элемента определяется структурой его ядра и дозволёнными уровнями энергии его электронов. Поэтому в спектрах атомов различных элементов неодинаковы количество и расположение спектральных линий, но для атома данного элемента они имеют вполне определённые значения.

9. Нет.

10. Атом, находящийся в нормальном состоянии, энергии не излучает, атом, оказавшийся в возбужденном состоянии, обязательно возвращается в основное состояние, излучив энергию.

12. На 2, 1, 3-ю и выше.

13. Атомы нити горячей лампы более возбуждены, чем атомы нити этой же лампы в холодном состоянии.

14. Нижние оболочки сильно связаны с ядром. Переход электрона с верхней оболочки на нижнюю (в трактовке Бора) связан с переходом атомов с высшего энергетического уровня на низший, более устойчивый; этот переход совершается самопроизвольно.

15. Энергии химических реакций достигают нескольких электронвольт. Они весьма малы, чтобы изменить размещение внутренних электронов в атоме.

16. $6,9 \cdot 10^4$ м/с.

17. $5,29 \cdot 10^{-11}$ м.

18. $8,3 \cdot 10^{14}$ Гц; $1,2 \cdot 10^{-15}$ с.

19. В 7840 раз.

20. $1,94 \cdot 10^{-18}$ Дж.

21. $8,2 \cdot 10^{-19}$ Дж.

22. Для наибольшей длины волны $n_1 = 2$; $n_2 = 3$; для наименьшей — $n_1 = 2$; $n_2 = 6$. Проведя вычисления, получим $\lambda_1 = 656$ нм; $\lambda_2 = 410$ нм.

23. $3,03 \cdot 10^{-19}$ Дж.

24. $1,63 \cdot 10^{-18}$ Дж.

25. $r = 0,48$ нм; $v = 7,3 \cdot 10^5$ м/с.

26. 12,02 эВ; 103 нм.

27. 13,53 эВ.

5.3. Физика атомного ядра и элементарных частиц

1. Ядра атомов не имеют точно выраженных границ, поэтому радиусы ядер имеют условный смысл.

2. Ядра атомов всех химических элементов состоят из двух элементарных частиц — протонов (p) и нейтронов (n). Состав ядер атомов следующий: гелия — $2p + 2n$; олова — $50p + 69n$, урана — $92p + 146n$.

3. Ядро брома имеет заряд $Z = 35e = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 35$ Кл = $5,6 \times 10^{-18}$ Кл. Ядро брома имеет массу $m = 78,918$ а.е.м. = $1,66 \times 10^{-27}$ кг · 78,918 = $1,31 \cdot 10^{-25}$ кг.

4. Изотопы водорода: протий — ${}^1\text{H}$, дейтерий ${}^2\text{H}$ или ${}^2\text{D}$, тритий ${}^3\text{T}$ или ${}^3\text{H}$. Протий состоит из одного протона (p), дейтерий — из одного протона и одного нейтрона ($p + n$), тритий — из одного протона и двух нейтронов ($p + 2n$). Группой итальянских ученых открыт четырехнуклонный изотоп водорода ${}^4\text{H}$, пока не получивший специального названия.

5. Дробные значения атомных масс химических элементов объясняются тем, что в естественном состоянии химически чистые вещества представляют собой смесь изотопов в различных пропорциях.

6. Чем больше энергия связи ядра, тем оно прочнее. Максимальную энергию связи на каждый нуклон имеют ядра атомов элементов, которые составляют среднюю часть таблицы элементов Д. И. Менделеева. Ядра атомов имеют наибольшую устойчивость или прочность. Следовательно, чем больше удельная энергия связи, тем прочнее или устойчивее ядро атома.

7. Между нуклонами имеются свободные промежутки.

8. В кипяченой воде. Тяжелая вода закипает при более высокой температуре, чем обычная (при одинаковом атмосферном давлении), поэтому при температуре 100°C ее выкипает меньше, что ведет к повышению ее процентного содержания в смеси.

9. Индивидуальность химического элемента определяет заряд его ядра и, кроме того, существуют ядра с одинаковым массовым числом (изобары), но с разным зарядовым числом, свойства которых существенно различаются.

10. В этих случаях в процентном составе изотопов элемента преобладают изотопы с большей атомной массой по сравнению со средней атомной массой следующего элемента.

11. Электронные оболочки у них почти одинаковы. Ядерные силы не влияют на их структуру, так как эти силы являются короткодействующими.

12. Ядерные силы являются короткодействующими. Каждый нуклон взаимодействует только с ближайшим к нему, а не со всеми нуклонами одновременно.

13. Нет.

14. Нет.

16. Энергия связи ${}^7_3\text{Li}$ больше, так как в ядре меньше протонов.

17. Числом нейтронов.

18. $A = 18$; $Z = 8$; $N = 10$.

19. 0,0024 а.е.м.

20. 1786 МэВ; 1804 МэВ; ядро ${}^{238}_{92}\text{U}$ более устойчиво, чем ядро ${}^{235}_{92}\text{U}$.

21. Эти элементы являются продуктами радиоактивного преобразования других элементов (например, ${}^{238}_{92}\text{U}$) с относительно большими T .

22. Захватив нейтрон ядро переходит в возбужденное, т.е. в менее устойчивое состояние, поэтому больше склонно к распаду.

24. Возбужденное ядро может выбросить α -частицу (или β -частицу), но в устойчивое энергетическое состояние не перейти. Тогда ядро излучает еще γ -квант, в результате чего теряет лишнюю энергию и переходит в устойчивое состояние.

25. Возбужденное ядро, как и атом, может принимать лишь вполне определенный набор значений энергии. Энергия ядра подобно атому квантуется.

26. Энергия γ -кванта не должна быть меньше удельной энергии связи ядра.

27. α -, β -распад изменяет состав ядра, γ -излучение — нет.

28. 182,4 сут.

29. 1794 года.

30. 28 лет.

31. 3,5 года.

32. 270 сут.

33. 0,25 кг.

34. Элемент с меньшим периодом полураспада.

35. 75 и 25 %.

36. 6,25 %.

37. $1,37 \cdot 10^{-11} \text{ с}^{-1}$; 0,75.

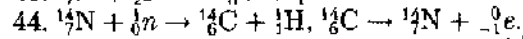
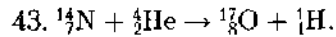
38. 182 сут.

39. $8,05 \cdot 10^7$.

40. ${}^3_2\text{He}$; $1,24 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$.

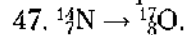
41. Чтобы излучение не проникло за пределы контейнера (свинiec поглощает заряженные частицы).

42. При ядерных реакциях соблюдаются закон сохранения электрического заряда и закон сохранения нуклонов. Физический смысл законов состоит в том, что при ядерных реакциях сумма электрических зарядов (нуклонов) ядер, вступающих в реакции, равна сумме электрических зарядов (нуклонов) ядер, образующихся после реакции.

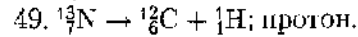


45. Силы отталкивания между ядром с большим зарядом и α -частицей больше, и поэтому α -частица не может проникнуть в ядро. Запаса кинетической энергии α -частицы недостаточно, чтобы выполнить работу против сил отталкивания.

46. Позитрон.



48. 1,18 МэВ.



50. Аннигиляция всегда происходит между частицей и античастицей.

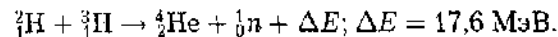
53. Непрерывные термоядерные реакции образования ядер гелия из ядер водорода. Звезды являются естественными термоядерными реакторами.

54. Ядерная реакция синтеза ядер дейтерия в гелий:



$$\Delta E = 28,3 \text{ МэВ} - 2 \cdot 2,2 \text{ МэВ} = 23,9 \text{ МэВ}.$$

55. Ядерная реакция синтеза ядер атомов дейтерия и трития в гелий:



56. Они имеют наименьшее кулоновское отталкивание.

57. Нет. Нейтрон, который выделился во время распада ядра, после нескольких столкновений с ядрами без деления, замедляется. Он выходит из цепной реакции.

58. Выделилась. В результате самопроизвольного распада ядро переходит в состояние с меньшей энергией связи (по модулю — с большей) — в устойчивое состояние.

59. Радиоактивные изотопы получают нейтронным облучением соответствующих химических элементов. Это наиболее широко применяемый метод получения радиоактивных изотопов. Однако их можно получать и при облучении химических элементов α -частицами, протонами, γ -квантами большой энергии. При облучении элементов нейтронами происходит захват нейтрона ядром элемента, оно переходит в возбужденное состояние. Увеличение энергии ядра меньше энергии барьера деления, поэтому деление ядра не происходит, но оно имеет в своем составе лишний нейтрон, что означает образование изотопа. Возбужденные ядра атомов изотопов спустя значительное время переходят в нормальное состояние, испуская β - и γ -излучения.

60. Преимущество реакторов на быстрых нейтронах состоит в том, что при их работе образуется значительное количество плутония, который можно использовать в качестве ядерного топлива. Эти реакторы называют реакторами-размножителями, так как они воспро-

изводят делящийся материал. Строятся реакторы с коэффициентом воспроизводства до 1,5. В обычных реакторах образуется плутоний, но в значительно меньших количествах (коэффициент воспроизводства 0,6...0,7).

61. Для замедления быстрых нейтронов в ядерных реакторах на медленных нейтронах применяют графит, тяжелую воду, обыкновенную воду, бериллий, оксид бериллия, гидраты металлов.

63. 235 г.

64. $1,64 \cdot 10^{13}$ Дж.

65. 50 кг.

66. $5,123 \cdot 10^{27}$ МэВ; $8,197 \cdot 10^{14}$ Дж.

67. $8,2 \cdot 10^{10}$ кДж; 3200 кг.

68. В 35 раз.

69. $4,52 \cdot 10^{-12}$ Дж; $6,8 \cdot 10^{11}$ Дж; 26,7 т.

70. 0,51 МэВ.

71. $4,18 \cdot 10^9$ кг.

72. $1,65 \cdot 10^6$ т.

74. Элементарные частицы, которые могут существовать в свободном состоянии неограниченное время, называются стабильными. Стабильных частиц в природе четыре: фотон, электрон, протон и нейтрино. В антимире стабильными частицами являются фотон, позитрон, антипротон и антинейтрино.

75. Вещество и антивещество — это виды материи, существующие как совокупность отдельных мельчайших частиц, между которыми имеются сравнительно большие промежутки, заполненные полями, с помощью которых осуществляется связь и взаимодействие между ними. Вещество состоит из совокупности элементарных античастиц: протонов, нейтронов и электронов. Антивещество состоит из совокупности элементарных частиц: антипротонов, антинейтронов и позитронов. Например, атом вещества имеет ядро, состоящее из протонов и нейтронов, и оболочку — из электронов. Атом антивещества имеет ядро, состоящее из антипротонов и антинейтронов, и оболочку — из позитронов.

76. $\frac{1}{2}n \rightarrow \frac{1}{2}p + \frac{1}{2}e + \frac{1}{2}\nu$.

77. Способность к взаимным превращениям является фундаментальным свойством элементарных частиц.

78. Взаимное превращение вещества в поле подтверждается на опыте аннигиляции электрона и позитрона. Опыты, проведенные Ирен и Фредериком Жолио-Кюри, подтвердили, что при встрече позитрон и электрон аннигилируют, превращаясь в два γ -кванта с энергиями 0,51 МэВ. Реакция превращения вещества в поле: $\frac{1}{2}e + \frac{1}{2}e \rightarrow 2\gamma$.

79. На рис. 48 изображены схемы атомов гелия и антигелия. Ядро атома гелия состоит из двух протонов и двух нейтронов, а оболочка — из двух электронов. Ядро атома антигелия состоит из двух антипротонов и двух антинейтронов, а оболочка — из двух позитронов.

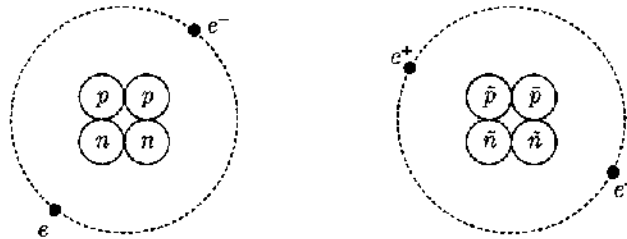


Рис. 48

80. Сильное — α , слабое — β , электромагнитные взаимодействия.

81. Произойдет преобразование: $\frac{1}{2}p + \frac{1}{2}e \rightarrow \frac{1}{2}n + \frac{1}{2}\nu$.

82. Нет. Правильнее сказать, что β -распад — это процесс внутри-нуклонный, что сопровождается преобразования отдельных элементарных частиц.

83. Нет. При распадах происходит не деление частиц на еще меньшие, а их взаимопревращения. Термин «распад частиц» не отражает действительной сущности их видоизменений.

84. Способность элементарных частиц взаимопревращаться.

85. Мир, окружающий нас, устойчив благодаря тому, что время жизни электронов, протонов, а также тех нейтронов, которые входят в состав атомных ядер, бесконечно большое. В противном случае все атомы и особенно их ядра, а также тела, окружающие нас, распались бы на легкие частицы.

86. Антигелий.

87. У нейтронных. Ввиду отсутствия кулоновских сил отталкивания в этом случае частицы могут сближаться между собой значительно больше, чем в веществе «белого карлика». Упакетование их приводит к резкому увеличению (на несколько порядков) плотности вещества нейтронных звезд по сравнению с плотностью вещества «белых карликов».

88. 1,02 МэВ.

Глава 6 ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

1. Основная причина малой яркости неба — явление расширяющейся Вселенной. При расширении Вселенной спектры излучения галактик, уходящих от нас, имеют «красное смещение», а это означает, что длины волн увеличиваются, а энергия квантов излучения уменьшается. Излучение самых удаленных от нас галактик Вселенной, благодаря «красному смещению», находится в длинноволновой невидимой области спектра, отчего его интенсивность сильно падает.

2. Вывод о расширяющейся Вселенной сделан на основе «красного смещения» спектров излучений, приходящих от галактик, удаленных от нас на различные расстояния. Хаббл установил, что в спектрах галактик, расстояния до которых уже были определены по видимому блеску их ярчайших звезд, линии спектра смещены к красному концу спектра. Это «красное смещение» возрастает пропорционально расстоянию до галактики. Если значение «красного смещения» выразить в скорости движения галактик, то на каждый миллион парсеков расстояния оно возрастает на 100 км/с. Поэтому расстояние до галактик можно определить по значению «красного смещения» (или по скорости удаления): $r = v/H$, где $H = 100 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$ — постоянная Хаббла. «Красное смещение» Хаббла является доплеровским, т. е. галактики удаляются от нас во все стороны, и тем быстрее, чем они дальше от нас.

3. В плазменном состоянии в форме сгустков горячей плазмы (звезды и галактики).

4. 500 Мпк.

5. Спиральные, эллиптические, неправильные и радиогалактики.

6. Звездная система — это самогравитирующий газ: звезды сами образуют сильные гравитационные поля, которые управляют их движением и определяют их форму. Этим свойством не обладает газ воздуха, который нас окружает.

7. Поскольку звезды с массами, большими чем Солнце в десятки, даже в несколько десятков раз, — явление редкое в Галактике, а чаще встречаются звезды с массами, которые в десятки раз меньше массы Солнца, то число всех звезд в Галактике может достичь примерно трех триллионов ($3 \cdot 10^{12}$).

8. Нет. Галактика состоит из многих подсистем, которые взаимно проникают одна в другую.

9. Нет, в эпоху формирования Солнечной системы Галактика была очень молодой, существовало больше первичной, несконденсированной в звезды, материи, поэтому интенсивность звездообразования в ней была большей, следовательно, частота взрывов сверхновых звезд была большей.

10. В направлении созвездия Стрельца находится центр нашей звездной системы, вокруг которой вращаются все звезды, составляющие систему.

11. Во многих случаях, например в Туманности Ориона, непрерывный спектр обусловлен пылью. Этот факт наводит на мысль, что газопылевых туманностей в Галактике больше всего.

12. Межзвездное поглощение света самое сильное в направлении к центру Галактики, так как лучи проходят сквозь наибольшую толщину пыли. Но инфракрасные лучи поглощаются при этом меньше всего. Имеется полная аналогия с красным светом Солнца, когда оно восходит или заходит. Пронизывая наибольшую толщину атмосферного воздуха, коротковолновое излучение Солнца поглоща-

ется атмосферой больше, чем длинноволновое. Поэтому дневное светило окрашивается в красный цвет, хотя его температура при этом совсем не изменяется.

13. Галактическая плоскость — это область низких значений потенциальной энергии, куда падают частицы материи из других областей при потере своей кинетической энергии вследствие неупругих соударений между собой.

14. В межзвездной среде плотность вещества и излучение мизерно малы. В этих условиях соударения световых квантов с атомами вещества происходят весьма редко. Если квант обладает достаточной энергией и способен ионизировать атом, то в этом состоянии атом будет находиться долго, так как свободных электронов, с которыми он мог бы рекомбинировать, мало. Возбужденные атомы мгновенно переходят в основное состояние, поэтому, как правило, отсутствуют. Таким образом, остаются только нейтральные и ионизированные атомы.

15. Спектр туманности в противовес звездному не содержит линий поглощения, а состоит из эмиссионных линий, так как газ туманности, нагретый излучением горячих звезд, которые находятся вблизи, и сам излучает волны в тех линиях, которые соответствуют его химическому составу.

16. Горячие звезды (их температура 25...30 тыс. К) излучают энергию преимущественно в невидимой ультрафиолетовой части спектра, поэтому они не кажутся очень яркими. Вещество туманности поглощает энергию излучения звезды и «перезлучает» ее уже в видимой области спектра. Поскольку квант ультрафиолетового излучения имеет энергию, большую чем квант видимого излучения, то туманность должна излучать большее количество квантов, что соответствует видимой части спектра. Поэтому туманность кажется более яркой, чем звезда, которая ее освещает.

17. Эти объекты, очевидно, содержат пыль. Ее частицы нагреваются ультрафиолетовыми квантами звезды — ядра. Они становятся источниками теплового излучения.

18. Это время необходимо отнести приблизительно на 10 млрд. лет в прошлое. Это возраст Солнца и звезд, которые своей массой напоминают Солнце. Их в Галактике больше всего и их эволюционный путь приблизительно одинаков. Можно предположить, что ранняя стадия эволюции этих объектов протекает со времени наиболее интенсивного звездообразования в Галактике.

19. В этих областях звездообразование происходит непрерывно. В противном случае горячие массивные звезды в них отсутствовали бы. Если бы они образовались давно, то их внутренние источники энергии уже давно истощились бы и эти звезды перешли на какую-то из конечных стадий эволюции.

20. Солнце содержит значительно больше тяжелых элементов, чем звезды старших поколений, которые состоят преимущественно

из водорода и гелия, — элементов, которые существовали на ранних стадиях эволюции Вселенной. Звезды последующих поколений, к которым принадлежит и Солнце, образовались из остатков звезд, которые давно погасли, в недрах которых в результате термоядерного синтеза возникли тяжелые элементы, обнаруженные в относительно большом количестве на Солнце.

21. В результате сжатия плотность газа возрастает. Возрастает частота соударений молекул между собой, которые при этом переходят в возбужденное состояние. Возвращаясь в основное энергетическое состояние, они излучают электромагнитные кванты, что приводит к выбросу части внутренней энергии газа, а газ охлаждается. Отдельные участки среды, возникшие в результате гравитационной неустойчивости, сжимаются под действием гравитационного притяжения, эволюционируя в протозвезды.

22. Образование новых объектов во Вселенной — это не образование материи из ничего, а ее переходы из одного качественного состояния в другое.

23. Массивные звезды мешают звездообразованию, когда нагревают окружающий газ, который, расширяясь, покидает область образования молодых звезд; стимулируют, когда этот газ охлаждается далеко от них и, собираясь в тучи, уплотняется, создавая условия для конденсации новых звезд.

24. Значительная часть межзвездного вещества собрана в недрах «мертвых» «белых карликов», нейтральных звезд и черных дыр, откуда освободиться и пополнить межзвездное пространство невозможно. Звезды, меньшие по массе, чем Солнце, прошли только незначительную часть своего эволюционного пути (даже если возникли рано). Они не возвратили в межзвездное пространство и части вещества, из которого образовались. Звездообразование происходит и в настоящее время. На это уходит много межзвездного вещества; количество исходного вещества уменьшается.

25. 1. Малое количество водорода в Галактике, поэтому звездообразование должно было прекратиться давно, тогда как оно продолжается и в наше время, подтверждением чего является большое количество молодых звезд (голубых гигантов, сверхгигантов) в Галактике. 2. Если звезды конденсируются из газа в ассоциациях, то возле них должны наблюдаться уплотненные газовые тучи, которые постепенно преобразовываются в звезды, что надежно не установлено.

26. Если такая материя и существует, то она должна занимать крайне малый пространственный объем, который недоступен современным средствам наблюдения.

27. Радиопульсары — молодые нейтронные звезды, которые образовались из звезд большой массы. Последние эволюционируют очень быстро, существуют сравнительно недолго (десяtkи миллионов лет), поэтому не успевают удалиться от места своего образования.

28. Чтобы перейти из основного состояния в возбужденное, атомы водорода должны поглотить квант ультрафиолетового излучения. Образованные при этом линии поглощения лежат в ультрафиолетовой области спектра и поглощаются земной атмосферой. Их удалось зафиксировать недавно с помощью ИСЗ. Поскольку возбужденных атомов нейтрального водорода, отвечающих за поглощение в линиях видимой серии Бальмера, в межзвездной среде почти нет, то сам водород долгое время обнаружить не удавалось.

29. В атмосферах холодных (красных) звезд энергия частиц и квантов света недостаточна для возбуждения атомов водорода, поэтому атомы здесь не поглощают и не излучают энергию, находясь в наинижней энергетическом состоянии. В атмосферах горячих звезд (голубых) энергии частиц и квантов света настолько велики, что наступает полная ионизация атомов водорода. Без электронов они также не поглощают и не излучают энергии (за исключением рекомбинаций, что происходит редко). В обоих случаях линии водорода в спектре звезд почти невидимы.

30. При объединении (рекомбинации) двух атомов в молекулу H_2 выделяется $E_0 = 4,5$ эВ. При распаде (диссоциации) молекулы H_2 на атомы эта энергия поглощается от внешнего источника. Очевидно, два атома водорода могут рекомбинировать, если их общая энергия не больше E_0 . В условиях космоса это всегда имеет место, так как молекулы диссоциируют под действием очень энергичных квантов ультрафиолетового излучения. Поэтому эта рекомбинация молекул H_2 может происходить только при так называемом тройном соударении, когда какая-то случайная третья частица принимает на себя излишек энергии $E - E_0$ двух атомов нейтрального водорода, которые объединяются в молекулу. Но такой процесс весьма редкий в космосе, так как среда там очень разреженная, т. е. если в некоторое время произошла диссоциация молекулы H_2 , то обратный процесс рекомбинации может произойти только через весьма большой промежуток времени. Это означает, что подавляющее большинство атомов водорода в космическом пространстве должно находиться в атомарном состоянии, что имеется в действительности.

31. Источник свечения «радионеба» — межзвездная среда.

32. Пусть заряженная частица влетает в магнитное поле $\vec{B}$ под некоторым углом к нему. Со стороны поля на частицу действует сила Лоренца $F_L = qBv_1$, где v_1 — модуль поперечной составляющей ее скорости. Эта сила является причиной вращения частицы вокруг вектора $\vec{B}$. Двигаясь с ускорением (центростремительным), модуль которого $a = F_L/m$, частица излучает энергию, благодаря чему ее кинетическая энергия в поперечном направлении стремится к нулю, а само движение прекращается ($v \rightarrow 0$). Имея отличную от нуля постоянную продольную составляющую скорости, частица движется вдоль магнитного поля. Этот результат легко применить

к любому количеству частиц, которые движутся вместе, т.е. к любой массе газа.

33. Следствие действия магнитного поля Галактики, которая искривляет движение частиц, чем удлиняет их нахождение в границах Галактики.

34. Нет. Космическое пространство пронизывают, кроме электромагнитных волн, потоки элементарных частиц, магнитные и гравитационные поля, которые несут разнообразную информацию о физических процессах во Вселенной.

35. Необходимо проследить, отклоняется ли это излучение магнитным полем Земли. Если отклоняется, то это поток заряженных частиц, если нет — γ -лучи.

36. Эта звезда состоит из антивещества.

37. Радиоволны не поглощаются космической пылью, если пылинки неионизированы.

38. Необходимо сравнить ее с другими галактиками, имеющими подобный звездный состав и размеры, спиральная структура которых известна.

39. Спектр Галактики — это суммарный спектр всех звезд, входящих в нее. Поскольку звезды могут иметь разнообразные скорости (по модулю и направлению), то их спектральные линии смещены по-разному (эффект Доплера). Это и обуславливает их расширение.

40. Маловероятно. Расстояния между звездами в галактиках настолько велико, что Солнце с планетами при столкновении галактик может пройти возле звезд другой галактики без столкновений с ними.

41. Благодаря большой яркости гиганты и сверхгиганты определяют светимость галактик, определяя их цвет.

42. В голубой галактике, так как в ней много молодых звезд спектральных классов O, B, A, т.е. возникших недавно. Очевидно, в ней и в настоящее время происходит звездообразование. Красная галактика заполнена в основном красными гигантами спектральных классов G, K, M — старыми звездами. В ней процесс бурного звездообразования давно завершился.

43. Рассеянные звездные скопления. Очевидно, галактики в семействе имеют общее происхождение и одинаковый возраст.

44. 1. В нашей Галактике только небольшая часть звезд концентрируется в скоплениях и ассоциациях, тогда как подавляющее большинство галактик объединено в скоплениях. 2. Если расстояния между ближайшими галактиками в несколько десятков раз превышают их собственные размеры, то средние межзвездные расстояния в десятки миллионов раз больше, чем поперечные размеры звезд.

45. Для этого необходимо убедиться, что у звезд отсутствуют собственные движения; необходимо измерить лучевые скорости звезды и галактики и убедиться, что в обоих случаях они почти одинаковы.

46. Если Галактика вращается, то имеет сплюснутый, сжатый вид, а если не вращается, то имеет форму сферы (шарообразную).

47. Поскольку вспышки происходят вблизи галактической плоскости, то некоторые из них, благодаря сильному поглощению света межзвездной средой, не видны в нашей Галактике, тогда как в других галактиках они могут быть хорошо видны, если только их наблюдать не «с ребра».

48. Необходимо сфотографировать Галактику и снимок сравнить с тем, который сделан в предыдущий день. Если на фотографии Галактики появилась дополнительная светлая точка, которой не было ранее, то вспыхнула сверхновая звезда.

49. Если на снимке сфотографированный небесный объект виден как четкий кружок, то он представляет собой звезду. Если же объект имеет на фотографии хотя бы небольшое размытое очертание или у него эллиптическая или какая-то другая, не круговая, форма, то это Галактика.

50. Да, если поток фотонов звезды (галактики) пройдет сквозь среду, заполненную релятивистскими электронами. В процессе столкновений электронов с фотонами часть энергии электронов может передаваться фотонам. В результате их частота ν увеличится, поскольку $\nu \approx E$, где E — энергия фотона.

51. У квазара и скопления галактик необходимо выявить одинаковые «красные смещения».

52. Участок неба, в частности, можно сфотографировать в рентгеновских лучах, интенсивность которых у квазаров значительно больше, чем у звезд. Изображение квазаров на фотографии будет резко выделяться.

53. Уменьшится по аналогии охлаждения реального газа при адиабатическом расширении.

54. На ранних стадиях расширения, когда температура вещества достигала миллиардов кельвинов.

55. Реликтовое излучение равномерно заполняет всю Вселенную. Свойства Вселенной одинаковы во всех направлениях.

56. Планета, которая вращается вокруг одного компонента двойной звезды, действием другого может быть «выброшена» в межзвездное пространство. Однако, если радиус ее орбиты небольшой, ее движение может быть и устойчивым. Тогда высокие температурные условия не будут способствовать возникновению и развитию жизни.

57. Нет. Такая планета своим слабым притяжением не удержит возле себя атмосферу, без которой на ней не может существовать жизнь.

58. Нет. Такие массивные планеты удерживали бы возле себя свою первоначальную атмосферу, которая состояла бы преимущественно из водорода и гелия, т. е. из тех элементов, из которых в основном образованы звезды. Такая атмосфера неблагоприятна для возникновения жизненной первоосновы. Однако, если масса пла-

неты превышает массу Юпитера в 5 ... 10 раз, то это уже не планета, а звезда «красный карлик».

59. Необходимо, чтобы значительная часть водорода первоначальной субстанции планеты, прежде чем рассеяться в космическом пространстве, успела соединиться с кислородом. Это еще раз накладывает жесткие требования к массе планеты и ее расстоянию от звезды.

60. Из примера Земли следует, что процесс развития от низших форм жизни до высших происходил во времени, превышающем 3,5 млрд. лет. Горячие массивные звезды классов О, В, А, которые эволюционируют очень быстро, возникли значительно позднее этого времени. Если бы возле них существовали планетные системы, то высшие формы организованной жизни на них за такое время не успели бы развиться.

61. На длине радиоволны 0,21 м (21 см). Эти волны свободно проходят сквозь оболочку Земли, не поглощаясь ею. Сигнал на этой длине не поглощается и межзвездным водородом. Другим развитым цивилизациям он будет понятен, так как излучается нейтральным водородом.

62. Если бы расширение Вселенной внезапно прекратилось, то началось бы ее сжатие, т.е. сближение галактик (основных структурных компонентов Вселенной) под действием гравитационного притяжения.

63. Не имеет. При сверхвысоких плотностях материи, которые, очевидно, могли быть на ранних стадиях эволюции (расширения) Вселенной, понятие времени теряло свой обычный смысл. В таких условиях течение времени могло даже прекратиться, о времени пребывания Вселенной в сверхплотном состоянии (сингулярном) вообще ничего сказать нельзя.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Основные физические постоянные

Скорость звука в воздухе при нормальных условиях	$a = 331,46 \text{ м/с}$
Скорость света в вакууме	$c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Гравитационная постоянная	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
Нормальное ускорение свободного падения	$g = 9,807 \text{ м/с}^2$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярный объем идеального газа при нормальных условиях	$V_m = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Число Лошмидта	$N_L = 2,687 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Постоянная Больцмана	$k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Постоянная Фарадея	$F = 9,648 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$
Масса атома водорода	$m_H = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя:	
электрона	$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
протона	$m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
нейтрона	$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Элементарный электрический заряд	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Отношение заряда электрона к его массе	$e/m_e = 1,759 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
Отношение массы протона к массе электрона	$m_p/m_e = 1836,15$
Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,660 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Постоянная Планка	$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Стефана — Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная Вина	$b = 2,897 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Ридберга (для водорода)	$R_\infty = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Температура тройной точки воды	$T = 273,16 \text{ К} (t = 0,01 \text{ }^\circ\text{C})$

2. Плотность некоторых веществ ρ , кг/м³

Твердые вещества (при температуре 293 К)

Алмаз	$3,5 \cdot 10^3$	Цинхром	$8,3 \cdot 10^3$
Алюминий	$2,7 \cdot 10^3$	Олово	$7,3 \cdot 10^3$
Бетон	$2,2 \cdot 10^3$	Парафин	$9,0 \cdot 10^2$
Вольфрам	$1,93 \cdot 10^3$	Платина	$21,5 \cdot 10^3$
Германий	$5,32 \cdot 10^3$	Поваренная соль	$2,1 \cdot 10^3$
Графит	$2,1 \cdot 10^3$	Пробка	$0,24 \cdot 10^3$
Дуб	$0,8 \cdot 10^3$	Свиноп	$11,4 \cdot 10^3$
Железо, сталь	$7,8 \cdot 10^3$	Серебро	$10,5 \cdot 10^3$
Золото	$19,3 \cdot 10^3$	Снег	$0,2 \cdot 10^3$
Иридий	$22,4 \cdot 10^3$	Слюда	$2,8 \cdot 10^3$
Каучук	$0,94 \cdot 10^3$	Стекло оконное	$2,5 \cdot 10^3$
Кирпич	$1,5 \cdot 10^3$	Уран	$19,0 \cdot 10^3$
Константан	$8,9 \cdot 10^3$	Фарфор	$2,3 \cdot 10^3$
Латунь	$8,5 \cdot 10^3$	Цинк	$7,1 \cdot 10^3$
Лед (0 °С)	$0,9 \cdot 10^3$	Чугун белый	$7,5 \cdot 10^3$
Манганин	$8,5 \cdot 10^3$	Чугун серый	$7,0 \cdot 10^3$
Медь	$8,9 \cdot 10^3$	Эбонит	$1,2 \cdot 10^3$
Никелин	$8,8 \cdot 10^3$	Янтарь	$1,1 \cdot 10^3$
Никель	$8,9 \cdot 10^3$		

Жидкости (при температуре 293 К)

Ацетон	$0,8 \cdot 10^3$	Нефть	$0,9 \cdot 10^3$
Анилин	$1,02 \cdot 10^3$	Нитробензол	$1,2 \cdot 10^3$
Бензин	$0,7 \cdot 10^3$	Раствор сульфата	
Бензол	$0,85 \cdot 10^3$	меди насыщенный ..	$1,15 \cdot 10^3$
Вода:		Ртуть при температу-	
при темпера-		ре 273 К	$13,6 \cdot 10^3$
туре 277 К	$1,0 \cdot 10^3$	Сероуглерод	$1,26 \cdot 10^3$
морская	$1,03 \cdot 10^3$	Скипидар	$0,87 \cdot 10^3$
тяжелая	$1,06 \cdot 10^3$	Спирт этиловый,	
Глицерин	$1,26 \cdot 10^3$	метиловый	$0,79 \cdot 10^3$
Керосин	$0,8 \cdot 10^3$	Эфир серный	$0,71 \cdot 10^3$
Масло:			
подсолнечное	$0,93 \cdot 10^3$		
трансформаторное ..	$0,89 \cdot 10^3$		
минеральное,			
кастовое	$0,92 \cdot 10^3$		

Продолжение приложения

Газы

(при нормальных условиях: $p_0 = 1,013 \cdot 10^5$ Па, $T_0 = 273$ К)

Азот.....	1,25	Кислород.....	1,43
Аммиак.....	0,77	Криптон.....	3,74
Аргон.....	1,78	Ксенон.....	5,85
Ацетилен.....	1,17	Метан.....	0,72
Бутан.....	0,6	Неон.....	0,9
Водород.....	0,09	Пропан.....	2,01
Воздух.....	1,29	Углекислый газ.....	1,98
Гелий.....	0,18	Хлор.....	3,2

3. Удельная теплоемкость некоторых веществ c , Дж/(кг · К)

Твердые вещества

Алюминий.....	880	Парафин.....	3200
Бетон.....	920	Песок.....	970
Дерево (ель, сосна).....	2700	Платина.....	125
Железо, сталь, никель.....	460	Сера.....	712
Золото.....	125	Свинец.....	120
Кирпич.....	750	Серебро.....	250
Лагунь.....	380	Стекло.....	840
Лед (снег).....	2090	Цемент.....	800
Медь.....	380	Цяпк.....	400
Нафталин.....	1300	Чугун.....	550
Олово.....	250		

Жидкости

Вода.....	4187	Масло трансформаторное.....	2093
Глицерин.....	2430	Ртуть.....	125
Желazo.....	830	Спирт этиловый.....	2430
Керосин.....	2140	Скипидар.....	1760
Масло машинное.....	2100	Эфир серный.....	2330

Газы (при постоянном давлении)

Азот.....	1000	Воздух.....	1000
Аммиак.....	2100	Гелий.....	5200
Водород.....	14300	Кислород.....	920
Водяной пар.....	2130	Углекислый газ.....	880

4. Удельная теплота сгорания некоторых веществ q , Дж/кг*Твердое топливо*

Бурый уголь.....	$9,3 \cdot 10^6$	Каменный уголь:	
Древесные чурки.....	$1,5 \cdot 10^7$	марки А-1.....	$2,05 \cdot 10^7$
Древесный уголь.....	$3,1 \cdot 10^7$	донецкий.....	$2,55 \cdot 10^7$
Дрова сухие.....	$8,3 \cdot 10^6$	экибастузский.....	$1,63 \cdot 10^7$
		Кокс.....	$3,03 \cdot 10^7$
		Порох.....	$3,0 \cdot 10^6$
		Торф.....	$1,5 \cdot 10^7$

Жидкое топливо

Бензин, нефть.....	$4,6 \cdot 10^7$	Лигроин.....	$4,33 \cdot 10^7$
Дизельное горючее.....	$4,2 \cdot 10^7$	Мазут.....	$4,0 \cdot 10^7$
Керосин.....	$4,4 \cdot 10^7$	Спирт этиловый.....	$2,7 \cdot 10^7$

Газообразное топливо(для 1 м³ при нормальных условиях)

Генераторный газ.....	$5,5 \cdot 10^6$	Природный газ.....	$3,55 \cdot 10^7$
Коксовый газ.....	$1,64 \cdot 10^7$	Светильный газ.....	$2,1 \cdot 10^7$
Доменный газ.....	$3,7 \cdot 10^6$		

5. Температура кипения и удельная теплота парообразования при температуре кипения

Вещество	T , К	t , °С	r , Дж/кг
Аммиак	239,6	-33,4	$1,37 \cdot 10^6$
Ацетон	329,2	56,2	$5,20 \cdot 10^5$
Бензин	423	150	$3,00 \cdot 10^5$
Вода обычная	373	100	$2,26 \cdot 10^6$
Вода тяжелая	374,43	101,43	$2,06 \cdot 10^6$
Воздух	81	-192	$2,10 \cdot 10^5$
Железо	3023	2750	$5,80 \cdot 10^4$
Ртуть	630	357	$2,85 \cdot 10^5$
Скипидар	433	160	$2,94 \cdot 10^5$
Спирт этиловый	351	78	$8,57 \cdot 10^5$
Фреон-12	243,2	-29,8	$1,68 \cdot 10^5$
Эфир серный	308	35	$3,52 \cdot 10^5$

**6. Давление насыщенного водяного пара
и его плотность при различных температурах**

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho \cdot 10^{-3}, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho \cdot 10^{-3}, \text{кг/м}^3$
-10	0,260	2,14	16	1,813	13,6
-5	0,401	3,24	17	1,933	14,5
-4	0,437	3,51	18	2,066	15,4
-3	0,476	3,81	19	2,199	16,3
-2	0,517	4,13	20	2,333	17,3
1	0,563	4,47	21	2,493	18,8
0	0,613	4,80	22	2,639	19,4
1	0,653	5,20	23	2,813	20,6
2	0,706	5,60	24	2,986	21,8
3	0,760	6,00	25	3,173	23,0
4	0,813	6,40	26	3,359	24,4
5	0,880	6,80	27	3,559	25,8
6	0,933	7,30	28	3,786	27,2
7	1,000	7,80	29	3,999	28,7
8	1,066	8,30	30	4,239	30,3
9	1,146	8,80	40	7,371	51,2
10	1,226	9,40	50	12,33	83,0
11	1,306	10,0	60	19,92	130,0
12	1,399	10,7	80	47,33	293
13	1,492	11,4	100	101,3	598
14	1,599	12,1	120	198,5	1123
15	1,706	12,8	160	618,0	3259
			200	1554	7763

7. Модуль упругости некоторых веществ E , ГПа

Алюминий	70	Медь	130
Бетон	20	Свинец	17
Железо	200	Сталь	220
Кирпич	28	Чугун	90
Латунь	110		

**8. Температура кипения и удельная теплота парообразования
воды при различных давлениях**

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{МПа}$	$r, \text{МДж/кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{МПа}$	$r, \text{МДж/кг}$
10	0,001	2,47	197,4	1,47	1,95
100	0,1	2,26	346	15,7	0,9
151	0,49	2,11	374,15	22,1	0

**9. Температура кипения и критические параметры
некоторых веществ**

Вещество	Температура кипения t , °C	Критические параметры	
		температура $t_{кр}$, °C	давление $p_{кр}$, 10^5 Па
Вода	100	374,15	221,3
Спирт этиловый	78	243,1	63
Эфир	35	193,8	35,6
Ксенон	-108	18,76	1 57,64
Кислород	-183	-118,4	49,7
Аргон	-186	-122,4	48
Криптон	-193	-63,62	54,27
Азот	-196	-147,1	33,5
Неон	-246	-228,7	26,9
Водород	-253	-241	12,8
Гелий	-269	-267,9	2,25

**10. Температура плавления и удельная теплота плавления
твердых веществ при температуре плавления**

Вещество	$T_{пл}$, К	$t_{пл}$, °C	λ , Дж/кг
Алюминий	932	659	$3,80 \cdot 10^5$
Вода, лед	273	0	$3,35 \cdot 10^5$
Вода, тяжелая	276,82	3,82	$3,16 \cdot 10^5$
Вольфрам	3683	3410	$2,60 \cdot 10^4$
Железо	1803	1530	$2,70 \cdot 10^5$
Золото	1337	1064	$6,60 \cdot 10^4$
Медь	1356	1083	$1,80 \cdot 10^5$
Нафталин	353	80	$1,51 \cdot 10^5$
Олово	505	232	$5,80 \cdot 10^4$
Ртуть	234	-39	$1,25 \cdot 10^4$
Свинец	600	327	$2,50 \cdot 10^4$
Сера	385,8	112,8	$5,50 \cdot 10^4$
Серебро	1233	960	$8,80 \cdot 10^4$
Сплав Вуда*	341	68	$3,20 \cdot 10^4$
Сталь	1673	1400	$2,10 \cdot 10^5$
Цинк	692	419	$1,18 \cdot 10^5$
Чугун белый	1473	1200	$1,30 \cdot 10^5$
Чугун серый	1423	1150	$9,70 \cdot 10^4$

* В состав сплава Вуда с указанной температурой плавления входят 50% висмута, 25% свинца, 12,5% олова, 12,5% кадмия.

**11. Поверхностное натяжение некоторых веществ σ , Н/м
(при температуре 293 К)**

Ацетон	0,024	Раствор сульфата меди	0,074
Бензин	0,029	Мыльный раствор	0,040
Вода	0,072	Ртуть	0,470
Глицерин	0,059	Скипидар	0,027
Керосин	0,024	Спирт этиловый	0,022
Масло касторовое	0,033	Эфир	0,017
Молоко	0,045		

**12. Коэффициенты линейного расширения
твердых веществ α , К⁻¹**

Алюминий, дюр- алюминий	$2,3 \cdot 10^{-5}$	Олово	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Бетон цемент	$(1 \dots 1,4) \cdot 10^{-5}$	Платина	$9 \cdot 10^{-6}$
Бронза	$1,8 \cdot 10^{-5}$	Платинит	$9 \cdot 10^{-6}$
Вольфрам	$4 \cdot 10^{-6}$	Свинец	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Железо, сталь	$1,2 \cdot 10^{-5}$	Стекло:	
Золото	$1,4 \cdot 10^{-5}$	оконное	$9 \cdot 10^{-6}$
Инвар*	$6 \cdot 10^{-7}$	кварцевое	$6 \cdot 10^{-7}$
Латунь	$1,9 \cdot 10^{-5}$	Цинк	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Медь	$1,7 \cdot 10^{-5}$	Чугун	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Никель	$1,28 \cdot 10^{-5}$	Эбонит	$7,0 \cdot 10^{-5}$

13. Коэффициенты объемного расширения жидкостей β , К⁻¹

Ацетон	$1,5 \cdot 10^{-3}$	Глицерин	$5,0 \cdot 10^{-4}$
Бензин	$1,0 \cdot 10^{-3}$	Керосин	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Вода при температуре, °С:		Масло трансформа-	
5...10	$5,3 \cdot 10^{-5}$	торное	$6,0 \cdot 10^{-4}$
10...20	$1,5 \cdot 10^{-4}$	Нефть	$1,0 \cdot 10^{-3}$
20...40	$3,02 \cdot 10^{-4}$	Ртуть	$1,8 \cdot 10^{-4}$
40...60	$4,58 \cdot 10^{-4}$	Серная кислота	$5,7 \cdot 10^{-4}$
60...80	$5,87 \cdot 10^{-4}$	Спирт этиловый	$1,1 \cdot 10^{-3}$
80...100	$7,02 \cdot 10^{-4}$	Эфир этиловый	$1,6 \cdot 10^{-3}$

* В состав инвара входят 64 % железа, 36 % никеля.

14. Диэлектрическая проницаемость ϵ некоторых веществ

Анилин	84	Масло трансформа-	
Бензин	2,3	торное	2,2...2,5
Вакуум	1	Мрамор	8...9
Вода	81	Парафин	2,2
Вода при 0 °С	88	Парафинированная бумага ..	2,0
Водород	1,0003	Резина	2...3
Воздух при давлении,		Рутил	130
МПа:		Сера	3,6...4,3
0,1	1,0006	Слюда	6...9
10	1,055	Смола эпоксидная	3,7
Воск	5,8	Стекло	5...10
Глицерин	39	Фарфор	4...7
Керосин	2,0	Эбонит	2,7
Лед при – 18 °С	3,2	Шеллак	3,6
		Янтарь	2,8

15. Удельное сопротивление некоторых веществ ρ , Ом·м

Алюминий	$2,7 \cdot 10^{-8}$	Олово	$1,13 \cdot 10^{-7}$
Вольфрам	$5,3 \cdot 10^{-8}$	Осмий	$9,5 \cdot 10^{-8}$
Железо	$9,9 \cdot 10^{-8}$	Платина	$1,05 \cdot 10^{-7}$
Золото	$2,2 \cdot 10^{-8}$	Резистан	$4,5 \cdot 10^{-7}$
Константан	$4,7 \cdot 10^{-7}$	Ртуть	$9,54 \cdot 10^{-7}$
Латунь	$6,3 \cdot 10^{-8}$	Свинец	$2,07 \cdot 10^{-7}$
Манганин	$3,9 \cdot 10^{-7}$	Серебро	$1,58 \cdot 10^{-7}$
Медь	$1,68 \cdot 10^{-7}$	Уголь	$(4,0 \dots 5,0) \cdot 10^{-5}$
Никелин	$4,2 \cdot 10^{-7}$	Фехраль	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Никель	$7,3 \cdot 10^{-8}$	Цинк	$5,95 \cdot 10^{-8}$
Нихром	$1,05 \cdot 10^{-6}$	Сталь	$1,2 \cdot 10^{-7}$

16. Температурный коэффициент сопротивления некоторых веществ α , К⁻¹

Вольфрам	0,0050	Нихром, фехраль	0,0002
Константан	0,000005	Резистан	0,0004
Манганин	0,000008	Сталь	0,006
Никелин	0,0001	Чугун	0,002

**17. Электрохимический эквивалент
некоторых веществ k , кг/Кл**

Алюминий	$9,32 \cdot 10^{-8}$	Натрий	$2,383 \cdot 10^{-7}$
Водород	$1,045 \cdot 10^{-8}$	Никель двухва- лентный	$3,04 \cdot 10^{-7}$
Железо двухва- лентное	$2,89 \cdot 10^{-7}$	Никель трехва- лентный	$2,03 \cdot 10^{-7}$
Железо трехва- лентное	$1,93 \cdot 10^{-7}$	Ртуть	$2,072 \cdot 10^{-6}$
Золото	$6,81 \cdot 10^{-7}$	Свинец	$1,074 \cdot 10^{-6}$
Калий	$4,052 \cdot 10^{-7}$	Серебро	$1,118 \cdot 10^{-6}$
Кальций	$2,077 \cdot 10^{-7}$	Хлор	$3,67 \cdot 10^{-7}$
Кислород	$8,29 \cdot 10^{-8}$	Хром двухва- лентный	$2,79 \cdot 10^{-7}$
Магний	$1,26 \cdot 10^{-7}$	Цинк	$3,388 \cdot 10^{-7}$
Медь одновалентная	$6,6 \cdot 10^{-7}$		
Медь двухвалентная	$3,29 \cdot 10^{-7}$		

18. Показатель преломления некоторых веществ n

Алмаз	2,42	Сахар	1,56
Анилин	1,59	Сероуглерод	1,63
Ацетон	1,36	Сильвин	1,49
Бензол	1,50	Скипидар	1,51
Вода	1,33	Спирт метиловый	1,33
Воздух	1,0003	Спирт этиловый	1,36
Глицерин	1,47	Стекло (легкий крон)	1,5
Каменная соль	1,54	Стекло (флинт)	1,6...1,8
Кварц	1,54	Четыреххлористый углерод	1,46
Лед	1,31		

19. Масса некоторых изотопов, а. е. м.*

Элемент	Изотоп	Масса	Элемент	Изотоп	Масса
Водород	^1_1H	1,00783	Углерод	$^{12}_6\text{C}$	12,00335
	^2_1H	2,01410	Кислород	$^{16}_8\text{O}$	15,99491
	^3_1H	3,01605	Фтор	$^{19}_9\text{F}$	18,99843
Гелий	^3_2He	3,01603	Алюминий	$^{27}_{13}\text{Al}$	26,98153
	^4_2He	4,00260	Фосфор	$^{31}_{15}\text{P}$	29,97867
Литий	^6_3Li	6,01513	Радон	$^{222}_{86}\text{Rn}$	222,01922
	^7_3Li	7,01601	Радий	$^{226}_{88}\text{Ra}$	226,02435
Бериллий	^9_4Be	8,00531	Уран	$^{238}_{92}\text{U}$	238,05006
	$^{10}_4\text{Be}$	9,01219		$^{235}_{92}\text{U}$	235,04299
Бор	$^{10}_5\text{B}$	11,00930	Нептуний	$^{237}_{93}\text{Np}$	237,04706
Углерод	$^{12}_6\text{C}$	12,00000	Плутоний	$^{239}_{94}\text{Pu}$	239,05122

* 1 а. е. м. равна $1/12$ массы изотопа $^{12}_6\text{C}$.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Как решать задачи по физике	4

Часть I. ТЕОРИЯ, ЗАДАЧИ, ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Глава 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ	6
1.1. Основы кинематики	6
1.2. Основы динамики	11
1.3. Законы сохранения в механике	16
1.4. Основы специальной теории относительности	18
Глава 2. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ	22
2.1. Молекулярно-кинетическая теория строения вещества	22
2.2. Основы термодинамики	26
2.3. Свойства газов, паров, жидкостей и твердых тел	32
Глава 3. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ	45
3.1. Электрическое поле	45
3.2. Постоянный ток	54
3.3. Электрический ток в различных средах	60
3.4. Электромагнетизм	65
Глава 4. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ	72
4.1. Механические и электромагнитные колебания и волны	72
4.2. Электромагнитные волны оптического диапазона (световые волны)	82
4.3. Волновые свойства света	86
Глава 5. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА	93
5.1. Квантовые свойства света	93
5.2. Физика атома	98
5.3. Физика атомного ядра и элементарных частиц	103
Глава 6. ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ	111

Часть II. ОТВЕТЫ

Глава 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ	116
1.1. Основы кинематики	116
1.2. Основы динамики	117
1.3. Законы сохранения в механике	119
1.4. Основы специальной теории относительности	119

Глава 2. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ	120
2.1. Молекулярно-кинетическая теория строения вещества	120
2.2. Основы термодинамики	121
2.3. Свойства газов, паров, жидкостей и твердых тел	123
Глава 3. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ	128
3.1. Электрическое поле	128
3.2. Постоянный ток	130
3.3. Электрический ток в различных средах	132
3.4. Электромагнетизм	135
Глава 4. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ	137
4.1. Механические и электромагнитные колебания и волны	137
4.2. Электромагнитные волны оптического диапазона (световые волны)	141
4.3. Волновые свойства света	142
Глава 5. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА	147
5.1. Квантовые свойства света	147
5.2. Физика атома	149
5.3. Физика атомного ядра и элементарных частиц	151
Глава 6. ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ	155
Приложение	163

Учебное издание

**Самойленко Петр Иванович,
Сергеев Александр Васильевич**

Сборник задач и вопросов по физике

Учебное пособие

Редактор *Л. В. Честная*

Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*

Компьютерная верстка: *А. А. Хицков*

Корректоры *А. П. Сизова, Г. Н. Петрова*

Изд. № 110103434. Подписано в печать 15.10.2012. Формат 60×90/16.
Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Гарнитура «Петербург». Усл. печ. л. 11,0.
Тираж 1 000 экз. Заказ № 33446.

ООО «Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru

129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. AE51. Н 16067 от 06.03.2012.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленных издательством
электронных носителей в ОАО «Саратовский полиграфкомбинат».
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59. www.sagpk.ru

СБОРНИК ЗАДАЧ И ВОПРОСОВ ПО ФИЗИКЕ



Издательский центр
«Академия»
www.academia-moscow.ru