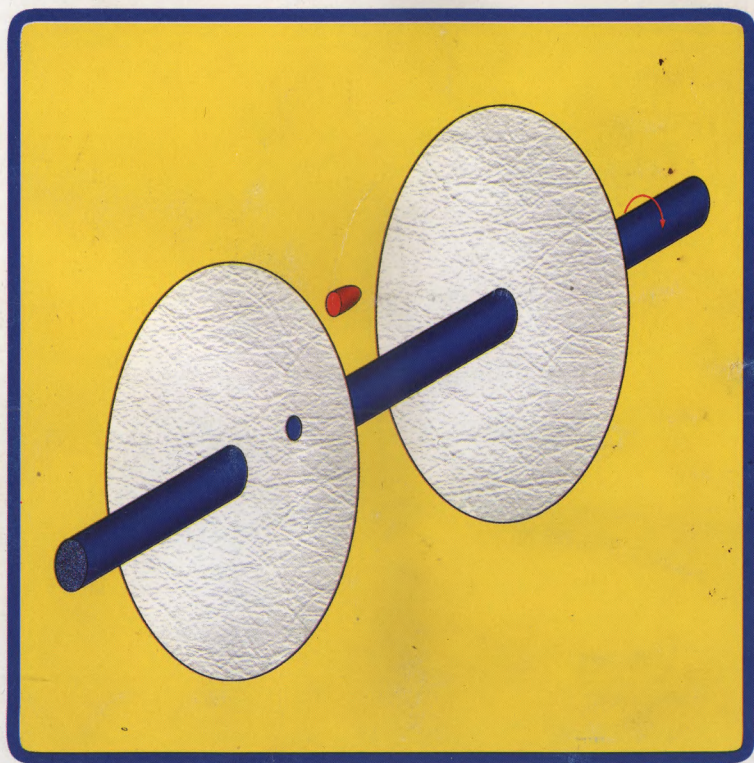


СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Под редакцией Р. И. Грабовского



ББК 22.3
С 23

С 23 Сборник задач по физике: Учебное пособие. 2-е изд., стер. / Под ред. Р. И. Грабовского. — СПб.: Издательство «Лань», 2004. — 128 с. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

ISBN 5-8114-0462-X

Данное учебное пособие содержит большое количество задач и необходимый минимум теоретического материала по разным разделам курса физики.

Пособие предназначено для студентов вузов неинженерных (экономических, ветеринарных, лесотехнических, зоотехнических и т. д.) факультетов, а также преподавателям.

ББК 22.3

Коллектив авторов:

Р. Ц. Безверхняя, Н. Н. Гороховская, Р. И. Грабовский,
Л. К. Локуцневская, Л. А. Самойлова, Б. П. Солтыцкий,
П. В. Сурайкин, Л. Н. Пинес, Г. М. Федорова, Е. А. Ярицына



Обложка
С. ШАПИРО, А. ЛАПШИН

*Охраняется законом РФ об авторском праве.
Воспроизведение всей книги или любой ее части
запрещается без письменного разрешения издателя.
Любые попытки нарушения закона
будут преследоваться в судебном порядке.*

© Издательство «Лань», 2004
© Коллектив авторов, 2004
© Издательство «Лань»,
художественное оформление, 2004

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемый задачник составлен в соответствии с учебником Р. И. Грабовского «Курс физики» и является учебным пособием для студентов неинженерных (экономических, ветеринарных, агрономических, лесотехнических и зоотехнических) факультетов. Входящие в него задачи отвечают программе по физике для указанных факультетов и учитывают их особенности. Решение этих задач наиболее убедительно показывает студентам, что знание физики потребуется им при изучении специальных наук. Условия некоторых задач непосредственно связаны с сельскохозяйственным производством и агробиологическими науками.

В начале каждой главы приведены основные формулы, посредством которых решаются задачи этой главы. Наиболее сложные задачи, отмеченные знаком *, имеют решения в разделе «Ответы и решения». В конце книги имеются справочные материалы.

Задачник написан преподавательским коллективом кафедры Ленинградского ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственного института в следующем составе: Н. Н. Гороховская и Г. М. Федорова (Глава 1); Л. К. Локуциевская, Л. А. Самойлова и П. В. Сурайкин (Глава 2); Е. А. Ярицына (§3.2, §3.5, §3.6); Л. Н. Пинес (§3.3); Р. Ц. Безверхняя (§3.4, §4.2); Р. И. Грабовский (§4.3, §4.4); Б. П. Солтицкий (Глава 5).

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

§ 1.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

• При равномерном прямолинейном движении линейная скорость

$$v = \frac{s}{t},$$

где s — перемещение, совершенное за время t .

• При равнопеременном прямолинейном движении справедливы соотношения:

$$v = v_0 + at,$$

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2},$$

$$v^2 - v_0^2 = 2as,$$

где v_0 — начальная скорость; v — скорость в момент времени t ; s — перемещение, совершенное за время t ; $a = \text{const}$ — линейное ускорение.

• При криволинейном движении проекции ускорения на направления нормали и касательной к кривой в данной точке соответственно называют нормальным (центростремительным) и тангенциальным (касательным):

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_k^2}.$$

• Мгновенное центростремительное ускорение при движении материальной точки по криволинейной траектории с радиусом кривизны R

$$a_n = \frac{v^2}{R}.$$

- При равномерном вращении твердого тела вокруг оси угловая скорость

$$\omega = \varphi/t,$$

где φ — угол поворота радиуса, соединяющего центр окружности с движущейся точкой; t — время, за которое происходит этот поворот.

- При равномерном вращении тела справедливы соотношения:

$$\omega = \omega_0 + \beta t, \quad 2\pi n = \omega_0 t + \frac{\beta t^2}{2}, \quad \omega^2 - \omega_0^2 = 2\beta\varphi,$$

где ω_0 — начальная угловая скорость; ω — угловая скорость в момент времени t ; φ — угловой путь, пройденный за это время; $\beta = \text{const}$ — угловое ускорение ($\beta > 0$ при равноускоренном вращении и $\beta < 0$ при равнозамедленном вращении); n — число оборотов, совершаемых за время t .

- В общем случае вращательного движения тела

$$\omega = \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad \text{и} \quad \beta = \frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}.$$

- Соотношения между угловой скоростью ω , периодом T и частотой вращения ν :

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$$

- Связь между линейными и угловыми кинематическими характеристиками:

$$s = \varphi R, \quad \nu = \omega R, \quad a_k = \beta R.$$

- Согласно второму закону Ньютона

$$F = ma,$$

где m — масса тела; a — ускорение, приобретаемое им под действием силы F

- Закон изменения количества движения (импульса) за малый промежуток времени Δt :

$$F\Delta t = mv - mv_0,$$

где Δt — время действия силы F ; v_0, v — начальная и конечная скорости движения тела соответственно.

• Закон сохранения количества движения (импульса) в изолированной системе:

$$\sum_{i=1}^{i=n} m_i v_i = \text{const},$$

где m_i и v_i — соответственно масса и вектор скорости i -го тела.

• Сила трения

$$F_{\text{тр}} = k P_n,$$

где k — коэффициент трения; P_n — сила нормального давления.

• Центробежная сила, действующая на тело массой m , движущееся по окружности радиусом R ,

$$F_{\text{ц}} = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R,$$

где $v(\omega)$ — линейная (угловая) скорость тела.

• По закону всемирного тяготения сила взаимного притяжения двух материальных точек (или шарообразных тел), имеющих массы m_1 и m_2 и находящихся на расстоянии r друг от друга, выражается соотношением

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$ — гравитационная постоянная (постоянная тяготения).

• Работа постоянной силы F на пути s

$$A = Fs \cos \alpha,$$

где α — угол между направлением силы и пути.

• Для постоянной мощности имеют место выражения:

$$N = \frac{A}{t} = Fv \cos \alpha,$$

где A — работа, совершаемая за время t ; F — сила; v — скорость движения; α — угол между направлениями силы и скорости.

• Кинетическая энергия тела массой m , движущегося поступательно со скоростью v ,

$$W_k = \frac{mv^2}{2}.$$

- Потенциальная энергия упруго деформируемого тела

$$W_n = \frac{k\Delta x^2}{2},$$

где Δx — величина деформации; k — коэффициент упругости.

- Потенциальная энергия тяготения двух шарообразных тел (или материальных точек)

$$W_n = -\gamma \frac{m_1 m_2}{R},$$

где m_1 и m_2 — массы тяготеющих тел; R — расстояние между ними; γ — гравитационная постоянная.

- Потенциальная энергия тела массой m , приподнятого на небольшую высоту h над землей,

$$W_n = mgh,$$

где g — ускорение свободного падения.

- Момент силы F относительно некоторой оси вращения

$$M = FR = J\beta,$$

где R — расстояние между осью вращения и прямой, вдоль которой действует сила; β — угловое ускорение вращающегося тела; J — момент инерции тела.

- Момент инерции материальной точки

$$J = mR^2,$$

где m — масса материальной точки; R — расстояние от точки до оси вращения.

- Моменты инерции (некоторых однородных тел геометрически правильной формы) относительно оси симметрии:

а) тонкого стержня

$$J = \frac{1}{12} ml^2,$$

где l — длина стержня;

б) диска (цилиндра)

$$J = \frac{mR^2}{2},$$

где R — радиус диска (цилиндра);

в) обруча (тонкостенного кольца)

$$J = mR^2,$$

где R — средний радиус обруча;

г) шара

$$J = \frac{2}{5}mR^2,$$

где R — радиус шара.

• Закон сохранения импульса движения (момента импульса) в изолированной системе:

$$\sum_{i=1}^{i=n} J_i \omega_i = \text{const},$$

где J_i — момент инерции i -го тела; ω_i — вектор его угловой скорости.

• Кинетическая энергия вращающегося тела

$$W_k = \frac{J\omega^2}{2}.$$

где J — момент инерции тела; ω — угловая скорость.

• Для установившегося потока идеальной несжимаемой жидкости справедливы:

уравнение неразрывности струи $vS = \text{const},$

уравнение Бернулли $\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = \text{const},$

где S — площадь поперечного сечения потока (трубки тока); v и p — соответственно скорость течения и статическое давление жидкости; ρ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения.

Для горизонтальной трубки тока уравнение Бернулли имеет вид

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = \text{const}.$$

• Скорость вытекания жидкости из малого отверстия выражается (формула Торричелли)

$$v = \sqrt{2gh},$$

где h — высота поверхности жидкости над отверстием.

• Сила сопротивления, оказываемая жидкостью движущемуся в ней со скоростью v шарообразному телу радиусом r , выражается законом Стокса:

$$F = 6\pi\eta r v,$$

где η — коэффициент вязкости.

• Объем жидкости, протекающий по трубе радиусом r за время t ,

$$V = \frac{\pi r^4}{8\eta} \frac{\Delta p}{\Delta x} t,$$

где $\Delta p/\Delta x$ — градиент давления.

• Разновидности уравнения гармонического колебания:

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0),$$

$$x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right),$$

$$x = A \sin(2\pi\nu t + \varphi_0),$$

где x — смещение колеблющейся величины в момент времени t ; A — амплитуда; T — период; φ_0 — начальная фаза; $\nu = 1/T$ — частота и $\omega = 2\pi/T = 2\pi\nu$ — циклическая (круговая) частота колебания.

• Скорость и ускорение точки, совершающей гармоническое колебание:

$$v = \frac{\partial x}{\partial t} = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0)$$

и

$$a = \frac{\partial v}{\partial t} = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x.$$

• Возвращающая сила

$$F = ma = -mA\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) = -kx,$$

где m — масса материальной точки, совершающей гармоническое колебание; $k = m\omega^2$ — коэффициент возвращающей силы.

• Период гармонического колебания

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

• Кинетическая W_k , потенциальная W_n и полная W энергии гармонического колебания:

$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{2\pi^2 A^2 m}{T^2} \cos^2 \left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0 \right),$$

$$W_n = \frac{kx^2}{2} = \frac{2\pi^2 A^2 m}{T^2} \sin^2 \left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0 \right),$$

$$W = W_k + W_n = \frac{2\pi^2 A^2 m}{T^2}.$$

• Период колебания математического маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

где l — длина маятника.

• При сложении двух одинаково направленных гармонических колебаний (одинакового периода) получается гармоническое колебание (того же периода) с амплитудой

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos(\varphi_{01} - \varphi_{02})}$$

и с начальной фазой, определяемой из уравнения

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{A_1 \sin \varphi_{01} + A_2 \sin \varphi_{02}}{A_1 \cos \varphi_{01} + A_2 \cos \varphi_{02}},$$

где A_1 и A_2 — амплитуда слагаемых колебаний; φ_{01} и φ_{02} — начальные фазы колебаний.

• При сложении двух взаимно перпендикулярных колебаний (одинакового периода) уравнение траектории результирующего движения имеет вид

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_{02} - \varphi_{01}) = \sin^2(\varphi_{02} - \varphi_{01}),$$

где x и y — величины смещений в двух взаимно перпендикулярных колебаниях.

• Длина волны λ , скорость ν ее распространения и период T связаны соотношением

$$\lambda = \nu T.$$

- Уравнение волны:

$$x = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda} \right),$$

где A — амплитуда; T — период; λ — длина волны; x — смещение точки среды (участвующей в волновом процессе) в любой момент времени t ; y — расстояние от этой частицы до источника волны.

- Условие максимума интерференции двух когерентных волн:

$$\Delta l = k\lambda,$$

где Δl — разность хода волн (лучей); λ — длина волны; $k = 0, 1, 2,$

§ 1.2. КИНЕМАТИКА

1.1. Трактор при пахоте пятилемешным плугом, захватывающим полосу шириной 1,8 м, развивает скорость 4,3 км/ч. Какую площадь может вспахать этот трактор за 8 ч непрерывной работы?

1.2. Скорость сенокосилки равна 1,5 м/с. Средняя скорость ножа сенокосилки за один ход составляет 1,8 м/с. Найти скорость ножа относительно луга, если движение ножа перпендикулярно направлению движения сенокосилки.

1.3. Моторная лодка проходит расстояние между двумя пристанями, равное 150 км, по течению за 2 ч, а против течения за 3 ч. Определить скорость лодки относительно воды и скорость течения воды в реке.

* 1.4. Трактор проехал 0,4 пути s между населенными пунктами со скоростью $v_1 = 9$ км/ч, а оставшуюся часть пути со скоростью $v_2 = 12$ км/ч. Определить среднюю скорость v движения трактора.

1.5. Автомобиль трогается с места и, двигаясь с ускорением, проходит 500 м за 48 с. Найти величину ускорения.

1.6. Пуля, летящая со скоростью 300 м/с, попадает в стену и продвигается в ней с ускорением, равным -10^6 м/с². На какую глубину проникает пуля в стену? Сколько времени она будет продвигаться в стене?

1.7. Автомобиль, идущий со скоростью 50 км/ч, при выключении двигателя проходит до полной остановки 455 м. Сколько времени автомобиль двигался по инерции?

1.8. Посадочная скорость самолета равна 135 км/ч , а длина пробега составляет 500 м . Определить время пробега и ускорение, считая движение равнозамедленным.

1.9. Через какой промежуток времени начали свободно падать один за другим два шарика, если через 3 с после начала падения второго шарика расстояние между ними было 35 м ?

1.10. Мимо совхоза прошел трактор, двигавшийся с постоянной скоростью 9 км/ч . Спустя 2 мин из совхоза отправился в том же направлении второй трактор, который, достигнув через 25 с скорости 18 км/ч , стал двигаться равномерно. Через сколько времени и на каком расстоянии от совхоза второй трактор догнал первый?

1.11. Троллейбус начал двигаться равноускоренно по закругленному участку пути и, пройдя расстояние 100 м , развил скорость 24 км/ч . Найти касательное, центростремительное и полное ускорения троллейбуса через 20 с после начала движения. Радиус закругления равен 170 м .

*1.12. Камень, брошенный вертикально вверх, достиг максимальной высоты $H = 3 \text{ м}$. В этот момент был брошен второй камень с той же скоростью v_0 . На какой высоте h и через какое время t (считая от момента бросания второго камня) они встретились?

*1.13. Камень падает в колодец. Через промежуток времени $t = 5 \text{ с}$ был услышан стук камня о дно колодца. Определить глубину h колодца, если скорость звука $v = 330 \text{ м/с}$.

*1.14. Два тела брошены вертикально вверх из одной точки друг за другом с интервалом времени $t = 5 \text{ с}$ и одинаковыми начальными скоростями $v_0 = 2 \text{ м/с}$. Через какое время t_1 , отсчитываемое от момента бросания первого тела, тела встретятся?

1.15. Тело брошено под углом 30° к горизонту. С какой скоростью было брошено тело и какова горизонтальная дальность его полета, если оно находилось в полете 2 с ? Какова максимальная высота подъема тела? Сопротивлением воздуха пренебречь.

*1.16. Из орудия произведен выстрел под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Начальная скорость снаряда $v_0 = 1500 \text{ м/с}$. Через какое время t снаряд упадет и какова горизонтальная дальность его полета? Сопротивлением воздуха пренебречь.

1.17. Под каким углом нужно бросить камень, чтобы максимальная высота его подъема равнялась половине горизонтальной дальности полета? Сопротивление воздуха не учитывать.

* 1.18. Под каким углом к горизонту надо бросить тело, чтобы горизонтальная дальность его полета была наибольшей?

1.19. Камень брошен под углом 60° к горизонту со скоростью 30 м/с . На каком расстоянии и на какой высоте будет находиться камень через 4 с ? Сопротивлением воздуха пренебречь.

1.20. Битер льноуборочного комбайна вращается с постоянным угловым ускорением $2,5 \text{ рад/с}^2$. Определить полное ускорение битера через 1 с после начала движения. Диаметр битера $0,45 \text{ м}$.

1.21. Колесо, вращаясь равнозамедленно, уменьшило свою частоту вращения с 300 до 180 об/мин в течение 1 мин . С каким угловым ускорением двигалось колесо и сколько оборотов оно сделало за это время?

1.22. Вал молотилки вращается с постоянной угловой скоростью $18,9 \text{ рад/с}$. С некоторого момента вал тормозится и вращается равнозамедленно с угловым ускорением 6 рад/с^2 . Через какое время вал остановится и сколько оборотов он сделает до полной остановки?

1.23. Коленчатый вал двигателя трактора, вращаясь равномерно, изменил за 40 с частоту своего вращения так, что стал совершать 720 об/мин вместо 1200 об/мин . Определить угловое ускорение вала и число оборотов, сделанных им за это время.

1.24. Вал зерномолотилки, вращаясь равноускоренно, через 12 оборотов после начала вращения достиг скорости, соответствующей частоте вращения 1150 об/мин . Найти угловое ускорение вала.

1.25. Барабан молотилки диаметром $0,6 \text{ м}$ вращается так, что зависимость угла φ поворота радиуса барабана от времени t дается уравнением: $\varphi = 2B + Ct + Dt^3$, где $C = 5 \text{ рад/с}$, $D = 1 \text{ рад/с}^3$, $B = \text{const}$. Найти угловую и линейную скорости точек, лежащих на поверхности барабана, через 2 с после начала движения.

1.26. Два бумажных диска насажены на общую горизонтальную ось так, что плоскости их вертикальны и отстоят на 20 см друг от друга. Диски вращаются, делая 2200 об/мин . Пуля, летящая параллельно оси на расстоянии $0,1 \text{ м}$ от нее, пробивает оба

диска. Пробойны в дисках смещены на $5 \cdot 10^{-2}$ м относительно друг друга, считая по дуге окружности. Найти среднюю скорость полета пули в промежутке между дисками.

1.27. Определить ход поршня тракторного двигателя, если средняя скорость движения поршня равна 6 м/с , а коленчатый вал делает 1500 об/мин . (При одном обороте коленчатого вала поршень совершает два хода.)

1.28. Маховик молотилки делает 1150 об/мин . Найти угловую скорость вращения ротора генератора, соединенного ременной передачей с маховиком, если приводной шкив имеет диаметр 21 см . Диаметр маховика 53 см .

1.29. Определить среднюю скорость движения поршня в двигателе самосвала, если ход поршня равен $0,18 \text{ м}$, а коленчатый вал совершает 1500 об/мин . (При одном обороте вала поршень совершает два хода.)

1.30. Барабан самоходной молотилки совершает 1000 об/мин . Найти период и линейную скорость вращения барабана, если его диаметр $0,55 \text{ м}$.

1.31. Пассажирский тепловоз движется со скоростью 110 км/ч . Диаметр ведущих колес равен 105 см . Определить угловую скорость колес.

1.32. Рабочее колесо турбины имеет диаметр $6,6 \text{ м}$ и делает $88,3 \text{ об/мин}$. Определить период вращения шкива, насаженного на вал, и линейную скорость на его ободе, если радиус шкива $0,145 \text{ м}$.

1.33. Вал комбайна совершает 640 об/мин . Определить период вращения шкива, насаженного на вал, и линейную скорость точек на его поверхности, если диаметр колеса $5,5 \text{ м}$.

1.34. Рабочее колесо гидротурбины делает 125 об/мин . Определить угловую скорость колеса и линейную скорость точек на его поверхности, если диаметр колеса $5,5 \text{ м}$.

1.35. С какой частотой вращается колесо автомобиля, если радиус колеса $0,475 \text{ м}$, а скорость движения автомобиля 54 км/ч .

1.36. Скорость колесного трактора $5,4 \text{ км/ч}$. Определить диаметр колеса трактора, если угловая скорость вращения колес $2,5 \text{ рад/с}$.

1.37. На цилиндр, вращающийся вокруг горизонтальной оси, намотана нить. К концу нити привязан груз, который, двигаясь

равноускоренно, за 3 с опустился на 1,2 м. Определить угловое ускорение и угловую скорость цилиндра. Радиус шкива 0,2 м.

1.38. Найти среднюю скорость движения поршня в цилиндре двигателя автомобиля, если ход поршня равен 75 мм и коленчатый вал делает 4300 об/мин. (При одном обороте вала поршень совершает два хода.)

*1.39. Чему равна линейная скорость v_C верхней точки на ободе колеса трактора относительно земли, если скорость движения трактора $v_B = 7,2$ км/ч?

1.40. Вал молотилки начал вращаться равноускоренно и приобрел угловую скорость, соответствующую частоте 10 об/с, сделав 25 оборотов. Определить угловое ускорение вала и продолжительность равноускоренного движения.

§ 1.3. ДИНАМИКА

1.41. Брусок массой 2,04 кг скользит по поверхности стола под действием груза весом 8 Н, подвешенного на шнуре, прикрепленном к бруску и перекинутом через неподвижный блок. Определить силу натяжения шнура и ускорение, с которым движется груз. Трением пренебречь.

1.42. Через неподвижный блок перекинута нить, к концам которой подвешены гири массами 5 и 3 кг. Определить силу натяжения нити при движении грузов. Весом блока и трением пренебречь.

*1.43. Паровой молот массой $m = 400$ кг падает на заготовку, лежащую на наковальне, с высоты $h = 2,5$ м. Определить силу удара F_1 молота о заготовку, если продолжительность удара $\Delta t = 0,01$ с. Чему будет равна сила удара F_2 , если молот после удара той же продолжительности подскочит на высоту $h_1 = 30$ см?

1.44. От двухступенчатой ракеты общей массой 1000 кг при достижении скорости 170 м/с отделилась ее вторая ступень массой 400 кг, скорость которой при этом увеличилась до 185 м/с. С какой скоростью стала двигаться первая ступень ракеты?

1.45. Конькобежец, стоящий на льду, бросает в горизонтальном направлении камень массой 1 кг. Через 4 с камень падает, пролетев 20 м. С какой скоростью скользит при этом конькобежец, если его масса 75 кг? Трением пренебречь.

1.46. Найти массу поезда, идущего с ускорением $0,005 \text{ м/с}^2$, если сила тяги паровоза $0,22 \text{ МН}$ и коэффициент трения $0,004$.

1.47. Электровоз на горизонтальном участке пути развивает постоянную силу тяги $0,345 \text{ МН}$. Определить силу сопротивления движению товарного состава массой 1300 т , если на участке пути 300 м его скорость возросла от 36 до 42 км/ч .

1.48. Комбайн рассчитан на работу с гусеничным трактором. С каким ускорением будут двигаться по горизонтальной дороге трактор и комбайн, если сила тяги трактора на третьей передаче составляет $12,5 \text{ Н}$? Какое натяжение испытывает при этом соединяющий их трос? Массы трактора и комбайна соответственно равны $4,2 \text{ т}$ и $2,6 \text{ т}$.

1.49. Электротрактор движется со скоростью $6,28 \text{ км/ч}$. Через какое время и какое перемещение совершит трактор до полной остановки после выключения двигателя, если сила сопротивления качению составляет $0,3$ силы тяжести трактора?

1.50. Гусеничный трактор, трогаясь с места, тянет санный поезд из двух саней. Сила тяги, развиваемая трактором, равна 20 кН . Масса трактора 5660 кг , масса каждой саней 1500 кг . Найти ускорение, развиваемое трактором, и силу натяжения канатов, связывающих трактор с санями, а также сани между собой, если коэффициент трения санных полозьев о снег $0,05$.

1.51. Поезд идет со скоростью 54 км/ч по закругленному участку пути радиусом 1000 м . Расстояние между рельсами (по горизонтали) $1,5 \text{ м}$. На сколько внешний рельс должен быть выше внутреннего?

1.52. Трактор массой 3340 кг движется по выпуклому мосту со скоростью 9 км/ч . Сила давления трактора на середину моста составляет $32\,940 \text{ Н}$. Определить радиус кривизны моста.

1.53. Автомобиль движется по дороге со скоростью 54 км/ч . Найти наименьший радиус поворота автомобиля, при котором его еще не заносит. Коэффициент трения скольжения колес о полотно дороги $0,3$.

1.54. Самолет, летящий со скоростью 280 км/ч , описывает петлю Нестерова радиусом 100 м . Определить величину сил, прижимающих летчика к сиденью в верхней и нижней точках петли. Масса летчика 80 кг .

1.55. Сколько оборотов вокруг Земли совершит за сутки искусственный спутник, если радиус его орбиты 7300 км ?

Ускорение свободного падения на высоте спутника считать равным $7,5 \text{ м/с}^2$.

1.56. С какой наименьшей высоты h должен спускаться велосипедист накатом (не вращая педалей), чтобы описать на специальном треке (рис. 1.1) «мертвую» петлю радиусом 7 м ? Трением пренебречь.

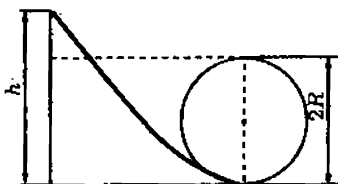


Рис. 1.1

* 1.57. Чему равна сила давления N автомобиля на выпуклый мост на расстоянии $s = 26 \text{ м}$ от его середины, если масса автомобиля с грузом $m = 5 \cdot 10^3 \text{ кг}$, скорость $v = 54 \text{ км/ч}$, а радиус кривизны моста $R = 50 \text{ м}$?

* 1.58. С какой частотой ν надо вращать карусель, чтобы лодочки, подвешенные к кругу на тросах длиной $l = 5 \text{ м}$, составили с горизонтальной плоскостью угол $\alpha = 30^\circ$? Радиус круга $r = 5 \text{ м}$.

1.59. Линейная скорость движения Земли вокруг Солнца $29,8 \text{ км/с}$, расстояние от Земли до Солнца $1,5 \cdot 10^8 \text{ км}$. Определить массу Солнца. Орбиту Земли считать круговой.

1.60. Клеть с углем поднимается из шахты при помощи стального троса, наматываемого на лебедку. Нагрузка на трос не должна превышать $7,85 \cdot 10^8 \text{ Па}$. Какое максимальное ускорение можно сообщить клетке при подъеме, если ее полная масса $1,5 \text{ т}$, а диаметр троса 3 см ?

1.61. К сухожилию длиной 12 см подвесили груз массой 7 кг , в результате чего оно удлинилось до 123 мм . На сколько удлинится сухожилие, если к нему подвесить груз массой 5 кг ?

§ 1.4. РАБОТА И ЭНЕРГИЯ

1.62. Лошадь везет груженные сани, прилагая усилие 3 кН . Какую работу выполнит лошадь на пути 2 км , если оглобли составляют с горизонтальным полотном дороги угол 30° ?

1.63. Какую работу надо совершить, чтобы выкопать колодец глубиной 10 м и площадью поперечного сечения 2 м^2 ? Один кубический метр земли имеет в среднем массу 2 т .

1.64. Совхозная ферма расходует в сутки $20\,000 \text{ л}$ воды, которая поступает на водонапорной башни высотой 12 м . Какую

работу совершает насос за сутки, если его коэффициент полезного действия 80%?

1.65. Какую работу необходимо совершить, чтобы ящик массой 100 кг поднять по наклонной плоскости длиной 2 м с ускорением 1 м/с^2 ? Уклон плоскости 30° , коэффициент трения 0,1.

1.66. Под действием постоянной силы вагонетка проходит путь 10 м и приобретает скорость 4 м/с . Определить работу силы, если масса вагонетки 600 кг и коэффициент трения качения 0,01.

1.67. Агрегат, соединенный с трактором, имеет тяговое сопротивление $33,25 \text{ кН}$. При работе он развивает скорость $4,2 \text{ км/ч}$. Определить работу, совершаемую им за 4 ч.

1.68. Какой мощности нужно построить насосную установку, чтобы она обеспечила водой совхозный поселок из 1000 жителей? Вода подается в водонапорную башню в течение 16 ч в сутки. Коэффициент полезного действия насосов 60%. Среднее потребление воды в сутки каждым жителем 40 л. Высота башни 20 м.

1.69. Какую мощность развивает спортсмен при прыжке в высоту, если его масса $71,4 \text{ кг}$ и за $0,5 \text{ с}$ центр его тяжести поднимается на 2 м?

1.70. Тяговое усилие электротрактора $205,8 \text{ кН}$. Определить работу трактора за 2 ч, если его средняя скорость при вспашке поля $1,2 \text{ м/с}$.

1.71. Тракторный двигатель, развивая полезную мощность $29,44 \text{ кВт}$, имеет коэффициент полезного действия 30%. Определить энергию, расходуемую в минуту: 1) на совершение полезной работы; 2) на нагревание двигателя.

1.72. Мощность двигателя трактора равна $27,2 \text{ кВт}$. Какова мощность трактора на крюке, если он движется по свежевспаханному полю (коэффициент сопротивления качения составляет 0,1) на пятой передаче со скоростью $9,17 \text{ км/ч}$? Масса трактора 3960 кг.

1.73. Определить мощность трактора, развиваемую на крюке при скорости $9,65 \text{ км/ч}$ и тяговом усилии 14700 Н , а также работу, выполняемую им за 2 ч.

1.74. Двигатель трактора при движении со скоростью 5 км/ч потребляет мощность 11 кВт . Определить силу тяги двигателя, если его коэффициент полезного действия 0,4.

1.75. Трактор тянет сани с лесом по ледяной дороге с постоянной скоростью 15 км/ч . С какой скоростью трактор мог бы

тянуть такие сани при вывозке леса летом по лежневой дороге, если мощность, развиваемая двигателем, в обоих случаях одинакова? Коэффициенты трения при движении по ледяной и лежневой дорогам соответственно равны 0,01 и 0,15.

1.76. Трактор с плугом, захват лемехов которого 1,2 м, вспахивает поле площадью 2 га за 8 ч. Определить мощность трактора, если его коэффициент полезного действия 80%. Сопротивление почвы 17,64 кН.

1.77. Мощность трактора на крюке составляет 27,2 кВт. Можно ли прицепить к пятилемешному плугу, который он тянет, борону? Тяговое сопротивление плуга и бороны равно соответственно 15 и 6 кН, скорость трактора 6,28 км/ч.

*1.78. Определить наименьшую мощность N двигателя колесного трактора, который, трогаясь с места, мог бы подняться по дороге с уклоном 0,02 (на расстоянии $l = 100$ м дорога поднимается на высоту $h = 2$ м) с ускорением $a = 0,05$ м/с². Коэффициент трения $k = 0,1$. Масса трактора $m = 2700$ кг, его конечная скорость $v = 5,4$ км/ч.

1.79. Через какое время после начала падения тело массой 1 кг будет обладать кинетической энергией 1250 Дж?

1.80. Определить кинетическую энергию автомобиля и его скорость в момент начала торможения, если сила трения в тормозных колодках автомобиля 4000 Н, а перемещение при торможении 20 м. Масса автомобиля 1224 кг.

1.81. Мотоциклист, масса которого вместе с массой мотоцикла равна 235 кг, увеличивает скорость движения от 10 до 20 м/с на расстоянии 100 м. Определить совершаемую при этом работу, если коэффициент трения 0,05.

1.82. Определить силу, необходимую для торможения автомобиля, движущегося со скоростью 50 км/ч, если тормозное перемещение при этой скорости 11,6 м. Масса автомобиля 1150 кг.

1.83. Какую работу нужно совершить, чтобы вывести спутник массой 500 кг на круговую орбиту, проходящую вблизи поверхности Земли? Радиус Земли считать равным 6400 км. Сопротивлением воздуха пренебречь.

1.84. Определить потенциальную энергию растянутой на 10 см пружины, если известно, что под действием силы 30 Н пружина растягивается на 1 см.

1.85. Какую силу надо приложить к пружине, чтобы растянуть ее на 5 см, если при растяжении на 20 см ее потенциальная энергия равна 60 Дж?

1.86. Определить потенциальную энергию взаимного притяжения двух медных соприкасающихся шаров радиусами 2 и 3 см.

1.87. Определить потенциальную энергию системы, состоящей из двух звезд, находящихся на расстоянии $5 \cdot 10^8$ км друг от друга. Масса каждой звезды $1,5 \cdot 10^{34}$ кг.

1.88. Паровой молот массой 51,02 кг поднимается на высоту 0,8 м над заготовкой и затем свободно падает на нее. Определить кинетическую энергию молота в средней точке пути падения и в момент удара о заготовку.

1.89. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 50 м/с. На какой высоте его кинетическая энергия будет равна потенциальной?

1.90. Камень массой 10 кг падает с некоторой высоты в течение 3 с. Найти кинетическую энергию камня в средней точке пути.

1.91. При вертикальном подъеме 225 кг сена на высоту 7 м стогометатель совершает работу 18370 Дж. С каким ускорением стогометатель поднимает сено?

1.92. В пустой колодец упал камень массой 2 кг. Падение продолжалось 1,4 с. Определить кинетическую и потенциальную энергии камня в средней точке пути.

***1.93.** Баба копра массой $m = 408$ кг ударяет в сваю, вбитую в грунт. Определить сопротивление грунта F и продолжительность удара Δt , если известно, что при каждом ударе свая погружается в грунт на глубину $s = 5$ см, а высота поднятия копра $h = 1,5$ м.

§ 1.5. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА

1.94. Момент инерции колеса диаметром 0,2 м равен $192,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. К колесу приложен постоянный момент силы $96 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Определить угловую скорость и угловое ускорение колеса, а также линейную скорость точек на его ободе через 30 с после начала вращения.

1.95. Молотильный барабан вращается с частотой, соответствующей 600 об/мин. Под действием постоянного тормозящего

момента $10 \text{ Н} \cdot \text{м}$ барабан останавливается в течение 3 мин . Определить момент инерции барабана.

1.96. Якорь генератора серии делает 1000 об/мин . Определить вращающий момент якоря, если мощность, развиваемая при этом мотором, равна 100 кВт .

1.97. Барабан сепаратора вращается, совершая 8250 об/мин . Под действием постоянного тормозящего момента, равного $9,8 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}$, он остановился после начала торможения через 80 с . Определить момент инерции барабана.

1.98. Под действием тормозящего момента $0,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ колесо автомобиля уменьшило за 30 с свою частоту вращения от 180 до 120 об/мин . Определить момент инерции колеса, его угловое ускорение, работу сил торможения, число оборотов, сделанных колесом за это время, и перемещение автомобиля. Радиус колеса $0,9 \text{ м}$.

1.99. По ободу шкива, насаженного на общую ось с маховым колесом, намотана нить, к концу которой подвешен груз 10 Н . На какое расстояние должен опуститься груз, чтобы колесо со шкивом получило скорость вращения, соответствующую частоте 60 об/мин ? Момент инерции колеса $0,42 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, радиус колеса 10 см . Массой шкива пренебречь.

1.100. К ободу колеса (диска) радиусом $0,5 \text{ м}$ приложена касательная сила 100 Н , сообщающая ему угловое ускорение $7,8 \text{ рад/с}^2$. Определить массу колеса и время, в течение которого колесо приобретает скорость, соответствующую 50 об/с .

*1.101. Барабан молотилки, вращаясь, совершает $\nu = 1200 \text{ об/мин}$. При торможении он останавливается, сделав при этом $N = 60$ полных оборотов. Определить тормозящий момент M , если момент инерции барабана $J = 50 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

1.102. Маховик насажен на горизонтальную ось. Под действием груза массой $0,5 \text{ кг}$, привязанного шнуром к ободу маховика, последний совершает вращательное движение. Определить момент инерции маховика, если, опускаясь равноускоренно, груз переместится на 160 см за 2 с . Радиус маховика $0,2 \text{ м}$.

*1.103. На сплошной цилиндрический вал радиусом $R = 0,5 \text{ м}$ намотан трос, к концу которого прикреплен груз массой $m_1 = 10 \text{ кг}$. Найти момент инерции J вала и его массу m , если известно, что груз опускается с ускорением $a = 2,04 \text{ м/с}^2$.

1.104. Определить вес колеса трактора, если при движении трактора с ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$ на колесо действует вращающий момент $10 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Колесо считать диском, радиус которого $0,6 \text{ м}$.

1.105. Стержень длиной 100 см и массой 1 кг вращается с угловым ускорением $0,8 \text{ рад/с}^2$ вокруг оси, проходящей через середину перпендикулярно длине. Определить момент силы, вращающей стержень.

1.106. Маховик радиусом $0,3 \text{ м}$ и массой 1 кг вращается при помощи приводного ремня. Определить силу натяжения ремня, если через 10 с после начала движения маховик приобретает скорость, соответствующую 25 об/с .

1.107. Найти момент инерции Земли относительно оси вращения, если ее средний радиус 6400 км , средняя плотность $5,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

1.108. Дiskoобразный маховик массой 50 кг и радиусом $0,2 \text{ м}$ был раскручен до скорости, соответствующей 480 об/мин и затем под влиянием трения остановился. Найти момент силы трения, если остановка произошла через 50 с .

1.109. Человек стоит в центре скамьи Жуковского и вращается с ней по инерции, делая $0,5 \text{ об/мин}$. Момент инерции тела человека относительно оси вращения $20 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. В вытянутых горизонтальных руках человек держит гири массой по $2,04 \text{ кг}$. Расстояние между гирями $1,4 \text{ м}$. Сколько оборотов в секунду будет делать скамья Жуковского с человеком, если он опустит руки и расстояние между гирями станет равным $0,4 \text{ м}$? Моментом инерции скамьи пренебречь.

1.110. В центре горизонтальной платформы массой $102,04 \text{ кг}$ и радиусом 2 м , вращающейся со скоростью, соответствующей 1 об/с , стоит человек и держит в расставленных руках 2 гири. На какую величину уменьшится момент количества движения человека, когда он опустил руки, если платформа при этом стала вращаться с частотой $1,5 \text{ об/с}$?

1.111. Для остановки диска, вращающегося со скоростью, соответствующей 20 об/с , требуется совершить работу 350 Дж . Определить момент инерции диска.

1.112. Под действием вращающего момента $490 \text{ Н} \cdot \text{м}$ коленчатый вал трактора начал вращаться равноускоренно. Какую кинетическую энергию приобрел вал, если его разгон длился 1 мин 20 с ? Момент инерции вала $10 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

1.113. Маховик в виде диска начинает вращаться с угловым ускорением $0,5 \text{ рад/с}^2$, и через 20 с его кинетическая энергия становится равной 500 Дж. Какой момент количества движения приобретает он через 15 мин после начала движения?

1.114. Кинетическая энергия вала, вращающегося со скоростью 5 об/с, равна 50 Дж. Найти момент количества движения вала.

1.115. Вал вентилятора зерноочистительной машины вращается, совершая 800 об/мин. Под действием тормозящего момента $200 \text{ Н} \cdot \text{м}$ он останавливается через 10 с. Момент инерции вентилятора $25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Определить работу сил торможения и число оборотов, сделанное вентилятором за время торможения.

1.116. Вычислить кинетическую энергию вала диаметром 0,6 м, вращающегося с частотой, равной 240 об/мин, если масса вала $2 \cdot 10^3 \text{ кг}$.

1.117. Маховое колесо, имеющее вместе с валом момент инерции $175 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, при вращении делает 240 об/мин. Через 3 мин после того, как на колесо перестал действовать вращающий момент, оно остановилось под влиянием сил трения в подшипниках. Считая трение в подшипниках постоянным, определить момент сил трения.

1.118. Снаряд массой 400 кг движется со скоростью 780 м/с, делая 5270 об/мин. Определить, во сколько раз энергия поступательного движения больше энергии его вращательного движения. Момент инерции снаряда $4,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

1.119. Обруч массой 1 кг и радиусом 0,4 м катится без скольжения по горизонтальной плоскости. При этом его полная кинетическая энергия равна 25 Дж. Найти угловую скорость вращения обруча.

1.120. Шар радиуса 8 см и массой 400 г катится без скольжения по горизонтальной плоскости, делая 300 об/мин. Найти полную кинетическую энергию шара.

*1.121. Какую линейную скорость v приобретает центр сплошного цилиндра, если он без скольжения скатывается в заготовительный цех по наклонной плоскости, имеющей высоту $h = 3 \text{ м}$?

1.122. Обруч катится по горизонтальной дороге со скоростью 18 км/ч. На какое расстояние он может подняться по наклонной плоскости за счет кинетической энергии, если уклон плоскости равен 5 м на каждые 50 м пути?

1.123. Снаряд, имеющий вид цилиндра диаметром $0,06 \text{ м}$, летит со скоростью 400 м/с и вращается с частотой 500 м/с . Найти его полную кинетическую энергию. Масса снаряда равна 30 кг .

1.124. Обруч и диск имеют одинаковую массу по $3,75 \text{ кг}$ и катятся с одинаковой скоростью, равной 6 м/с . Найти кинетические энергии этих тел.

1.125. Найти силу, отделяющую сливки (плотность $\rho_c = 0,93 \text{ г/см}^3$) в расчете на единицу объема, если отделение происходит в сепараторе а) при неподвижном сосуде; б) при сосуде, вращающемся со скоростью, соответствующей 6000 об/мин . Молоко находится на расстоянии 10 см от оси вращения.

§ 1.6. ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА

1.126. Давление воды, текущей по горизонтальной трубе, при изменении скорости течения увеличилось на 350 Па . Определить изменение скорости течения, если начальная скорость составляла $1,5 \text{ м/с}$.

1.127. Скорость течения воды в горизонтальной трубе увеличивается с 20 см/с до 1 м/с . На сколько изменится при этом давление воды?

1.128. Вследствие разности давлений над гребнями и над бороздами вспаханного поля имела место аэрация почвы. Определить давление воздуха в борозде, если скорость его движения над гребнями 5 м/с , а в основании борозды $0,4 \text{ м/с}$. Давление над гребнем считать равным $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

*1.129. На какую высоту h поднимается вода в вертикальной трубке, впаянной в узкую часть горизонтальной трубы (рис. 1.2) диаметром $d = 4 \text{ см}$, если в широкой части трубы диаметром $D = 6 \text{ см}$ скорость воды $v_1 = 40 \text{ см/с}$, а давление $p_1 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$?

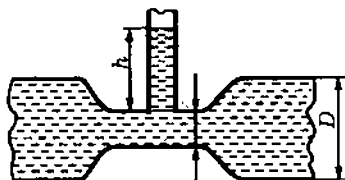


Рис. 1.2

1.130. В сосуд с водой вставлена трубка сечением 3 см^2 . В трубку налили 50 г масла ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$). Какова разность уровней масла и воды?

*1.131. Из опрыскивателя плодовых деревьев выбрасывается струя жидкости со скоростью 35 м/с . Плотность жидкости

$1,25 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ Какое давление создает компрессор в баке опрыскивателя?

* 1.132. Для полива опытного участка используется бак диаметром $D = 4 \text{ м}$. На дне бака имеется круглое отверстие диаметром $d = 8 \text{ см}$. С какой скоростью v_1 начнет понижаться уровень воды в баке, если первоначальная высота уровня $h = 3 \text{ м}$?

1.133. Шарик радиусом 3 мм движется в вертикальной трубке, заполненной глицерином. Определить силу сопротивления глицерина, если время падения шарика в трубке длиной 80 см равно 10 с .

1.134. При отстаивании сливок в молоке жировые шарики всплывают со скоростью $2 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}$. Определить радиус жировых шариков, если плотность жира $0,9 \text{ г/см}^3$, плотность обрат 1 г/см^3 , коэффициент вязкости обрат $0,0011 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$.

1.135. Определить коэффициент вязкости касторового масла, если пробковый шарик радиусом 5 мм всплывает в нем со скоростью $3,5 \text{ см/с}$.

1.136. Определить градиент давления на концах водопроводной трубы, служащей для водоснабжения животноводческой фермы, если диаметр трубы 6 см и за 20 с через нее протекает $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ воды.

1.137. Для полива парниковой рассады используется шланг длиной 3 м и диаметром 6 см . Давления воды на концах шланга соответственно равны $1,013 \cdot 10^5$ и $1,4 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Определить, какой объем жидкости протекает через шланг за 15 с .

1.138. Подача воды в теплицы производится с помощью горизонтальной трубы длиной 20 м и диаметром 6 см , один конец которого вварен в нижнюю часть боковой поверхности бака радиусом 2 м и высотой 5 м . Найти скорость понижения воды в баке для случая его полного заполнения.

§ 1.7. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

1.139. Написать уравнение гармонического колебания с амплитудой 7 см , если за 40 с совершается 100 колебаний. Начальная фаза колебания 45°

1.140. Точка совершает гармоническое колебание с периодом 24 с и начальной фазой, равной нулю. Через какое время, считая

от начала колебания, величина смещения точки от положения равновесия будет равна половине амплитуды?

1.141. Колебательное движение материальной точки задано уравнением

$$x = 2 \sin \frac{\pi}{2} \left(t + \frac{1}{2} \right)$$

Определить амплитуду, период, начальную фазу, максимальную скорость и максимальное ускорение колебания.

1.142. Движение материальной точки описывается уравнением

$$x = \sin \frac{\pi}{3} t.$$

Найти моменты времени, в которые достигаются максимальные значения скорости и ускорения.

***1.143.** По проселочной дороге прошел трактор, оставив следы в виде поперечных борозд на расстоянии $l = 30$ см друг от друга. По этой же дороге прокатили ручную тележку, рессоры которой дают прогиб $a = 2$ см под действием груза весом $P_0 = 9,8$ Н. С какой скоростью v катили тележку, если борозды на дороге вызвали сильное колебание рессор (т. е. вызвали резонанс)? Вес платформы тележки $P = 98$ Н.

***1.144.** На пружине подвешен груз массой m . Период колебания системы $T_1 = 0,5$ с. При добавлении одного грузика массой Δm период колебания возрастает до $T_2 = 0,6$ с. Определить удлинение Δl пружины под действием дополнительного грузика.

1.145. Амплитуда колебаний материальной точки массой $0,02$ кг равна 5 см, период колебаний 10 с. Найти значение скорости, ускорения, возвращающей силы и кинетической энергии точки для момента, когда фаза равна 60°

1.146. Амплитуда колебаний материальной точки массой 3 г равна 15 см, круговая частота 10 с $^{-1}$. Определить максимальную величину возвращающей силы и максимальную кинетическую энергию точки.

1.147. Уравнение колебания материальной точки массой 46 г имеет вид

$$x = 0,1 \sin \left(\frac{\pi}{8} t + \frac{\pi}{4} \right).$$

Найти максимальные значения скорости и ускорения движения точки; силы, действующей на точку; полной энергии колеблющейся точки.

1.148. Написать уравнение гармонического колебания материальной точки массой 10 г , если амплитуда ее колебания $0,05 \text{ м}$, полная энергия $3 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$, начальная фаза $\frac{\pi}{3}$.

1.149. К пружине, имеющей коэффициент упругости 800 Н/м , подвешен груз и приведен в колебательное движение. Определить амплитуду колебания, зная, что максимальная кинетическая энергия груза $2,5 \text{ Дж}$.

1.150. На тело, совершающее гармоническое колебание с периодом 1 с и начальной фазой $\pi/6$, действует максимальная возвращающая сила $1,75 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$. При этом полная энергия колебания $2,85 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$. Написать уравнение этого колебания.

1.151. Определить период колебаний груза массой 5 кг , подвешенного к пружине, если пружина под действием силы 40 Н растягивается на 6 см .

1.152. Определить полную энергию колебания маятника, состоящего из шарика массой 12 кг , подвешенного на нити длиной 50 см , если амплитуда колебания маятника 5 см . Массой и деформацией нити пренебречь.

*1.153. Плотность молока, а следовательно, и его жирность, определяют с помощью ареометра, называемого лактометром. Если опустить лактометр в молоко, то в течение некоторого времени он будет совершать колебания. Определить период T колебания лактометра, если плотность молока $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$. Масса лактометра $m = 0,2 \text{ кг}$, а диаметр его цилиндрической части $d = 1 \text{ см}$. Колебания считать гармоническими и незатухающими.

1.154. Найти амплитуду и начальную фазу гармонического колебания, полученного от сложения одинаково направленных колебаний, заданных уравнениями:

$$x_1 = 2 \sin \left(5\pi t + \frac{\pi}{2} \right), \quad x_2 = 2 \sin \left(5\pi t + \frac{\pi}{4} \right)$$

1.155. Написать уравнение колебания, получающегося в результате сложения двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаний с одинаковыми частотами $7,5 \text{ Гц}$

и начальной фазой $\pi/6$. Амплитуды колебаний соответственно равны 2 и 3,5 см.

1.156. Точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, заданных уравнениями:

$$x = 4 \sin \omega t, \quad y = 6 \cos \omega t.$$

Определить траекторию движения точки.

1.157. Найти длину волны, имеющей период 10^{-14} с и распространяющейся со скоростью $3 \cdot 10^8$ м/с.

1.158. Определить длину волны, если скорость ее распространения 400 м/с, а частота 500 Гц.

1.159. Вдоль упругого шнура распространяется поперечная волна со скоростью 18 м/с. Период колебания точек шнура 1,5 с, амплитуда колебания 0,025 м. Определить длину волны, а также фазу и смещение точки, отстоящей на расстоянии 45 м от источника волн, для момента времени, равного 6 с.

*1.160. Расстояние l_1 от точки A до точки C равно 12 м, а расстояние l_2 от точки B до точки C равно 15 м (рис. 1.3). Из точек A и B одновременно и в одинаковых фазах идут по направлению к точке C волны со скоростью $v = 330$ м/с и частотой $\nu = 550$ Гц. Амплитуды волн равны $A_1 = 4$ см, $A_2 = 8$ см. Какова амплитуда A колебания в точке C ?

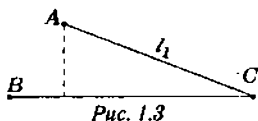


Рис. 1.3

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

§ 2.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

• Уравнение Клапейрона–Менделеева (уравнение состояния идеального газа):

$$pV = \frac{m}{M}RT,$$

где $R = 8,32 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$ — молярная газовая постоянная; $\frac{m}{M}$ — число молей, содержащихся в данной массе m газа; M — молярная масса; p — давление; V — объем; T — температура газа по термодинамической шкале.

• Давление p смеси различных газов равно (по закону Дальтона) сумме парциальных давлений p_i газов, составляющих смесь:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^{i=n} p_i.$$

• Основное уравнение кинетической теории газов:

$$p = \frac{2}{3}n_0\bar{W}_0 = \frac{2}{3}n_0\frac{mu^2}{2},$$

где p — давление газа; n_0 — число молекул в единице объема; $\bar{W}_0$ — средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы; m — масса молекулы; u — средняя квадратичная скорость молекул.

• Число молекул в единице объема газа

$$n_0 = \frac{p}{kT},$$

где $k = R/N_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ — постоянная Больцмана; N_A — постоянная Авогадро; p и T — соответственно давление и температура газа по термодинамической шкале.

- Средняя квадратичная скорость молекул газа

$$u = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}},$$

где m — масса молекулы.

- Наиболее вероятная скорость молекул

$$v_b = \sqrt{\frac{2RT}{M}}.$$

- Средняя арифметическая скорость молекул

$$v = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}.$$

- Средняя кинетическая энергия (поступательного и вращательного движения) одной молекулы газа

$$\bar{W} = \frac{i}{2}kT,$$

где i — число степеней свободы молекулы.

- Внутренняя энергия газа (энергия теплового движения его молекул)

$$W = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT,$$

где m — масса газа.

- Связь между молярной C и удельной c теплоемкостями:

$$C = Mc.$$

- Молярная теплоемкость при постоянном объеме

$$C_V = i/2R.$$

- Молярная теплоемкость при постоянном давлении

$$C_p = \frac{i+2}{2}R \quad \text{или} \quad C_p = C_V + R.$$

- Отношение теплоемкостей

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}.$$

- Средняя длина свободного пробега молекул газа

$$\bar{\gamma} = \frac{\bar{v}}{\bar{z}} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n_0},$$

где $\bar{v}$ — среднеарифметическая скорость молекул; $\bar{z}$ — среднее число столкновений молекулы за секунду; σ — эффективный диаметр молекулы; n_0 — число молекул в единице объема.

- Масса газа ΔM , переносимая за время Δt через площадку ΔS путем диффузии, определяется уравнением

$$\Delta M = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \Delta S \Delta t,$$

где $\Delta \rho / \Delta x$ — градиент плотности; $D = \bar{\lambda} \bar{v} / 3$ — коэффициент диффузии.

- Сила внутреннего трения

$$F = -\eta \frac{\Delta u}{\Delta x} \Delta S,$$

где $\Delta u / \Delta x$ — градиент скорости течения газа; $\eta = \bar{v} \bar{\lambda} \rho / 3$ — коэффициент внутреннего трения (вязкость); ρ — плотность газа; u — скорость течения газа.

- Количество теплоты ΔQ , переносимое за время Δt через площадку ΔS в результате теплопроводности, выражается соотношением

$$\Delta Q = -\chi \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S \Delta t,$$

где $\Delta T / \Delta x$ — градиент температуры; $\chi = \bar{\lambda} \bar{v} c_V \rho / 3$ — коэффициент теплопроводности; c_V — удельная теплоемкость при постоянном объеме.

- Осмотическое давление p раствора (закон Вант-Гоффа):

$$p = \frac{cRT}{M},$$

где R — универсальная газовая постоянная; T — температура раствора по термодинамической шкале; M — молярная масса растворенного вещества; $c = m/V$ — концентрация раствора; m — масса растворенного вещества; V — объем раствора.

• Коэффициент температуропроводности k связан с коэффициентом теплопроводности χ , удельной теплоемкостью c и плотностью ρ следующим соотношением:

$$k = \frac{\chi}{c\rho}$$

• Коэффициент поверхностного натяжения жидкости

$$\alpha = \frac{F}{l}$$

где F — сила поверхностного натяжения, действующая на контур длиной l .

• Избыточное давление Δp , вызванное кривизной поверхности жидкости, определяется формулой Лапласа:

$$\Delta p = \alpha \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

где R_1 и R_2 — радиусы кривизны двух нормальных взаимно перпендикулярных сечений поверхности жидкости.

• Высота h поднятия (опускания) жидкости в капилляре определяется формулой Жюрена:

$$h = \frac{2\alpha \cos \theta}{r\rho g},$$

где r — радиус капилляра; ρ — плотность жидкости; θ — краевой угол; g — ускорение свободного падения.

• Уравнение состояния реального газа (уравнение Ван-дер-Ваальса) для любой массы m газа:

$$\left(p + \frac{m^2}{M^2} \frac{a}{V^2} \right) \left(V - \frac{m}{M} b \right) = \frac{m}{M} RT,$$

где V — объем; M — молярная масса; p — давление; T — температура газа по термодинамической шкале; a и b — константы (различные для разных газов), связанные с критическими значениями температуры T_k , давления p_k и объема V_{Mk} следующими соотношениями:

$$V_{Mk} = 3b, \quad p_k = \frac{a}{27b^2}, \quad T_k = \frac{8a}{27bR}.$$

• Избыточное давление насыщенного пара над искривленной поверхностью жидкости

$$\Delta p = \pm \frac{2\alpha\rho_0}{\rho R},$$

где ρ — плотность жидкости; ρ_0 — плотность насыщенного пара; R — радиус кривизны поверхности; α — коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

• Относительное уменьшение давления насыщенного пара над раствором определяется законом Рауля:

$$\frac{p_0 - p}{p_0} = \frac{z}{z + z'},$$

где p_0 — давление насыщенного пара над чистым растворителем; p — давление насыщенного пара над раствором; z' — число молей растворенного вещества; z — число молей растворителя.

• Первое начало термодинамики:

$$Q = \Delta U + A,$$

где Q — количество теплоты, полученное системой; ΔU — изменение внутренней энергии системы; $A = p\Delta V$ — работа, совершаемая системой при изменении ее объема (p — давление, ΔV — изменение объема системы).

• Изменение внутренней энергии газа

$$\Delta U = \frac{m}{M} \frac{i}{2} R \Delta T,$$

где ΔT — изменение температуры; m — масса; M — масса моля газа; i — число степеней свободы молекул.

• Работа, совершаемая при изотермическом изменении объема газа,

$$A = RT \frac{m}{M} \ln \frac{V_2}{V_1},$$

где V_2 и V_1 — соответственно конечный и начальный объемы газа.

• Уравнения Пуассона для адиабатического процесса:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}},$$

где p , T и V — соответственно давление, температура по термодинамической шкале и объем газа, $\gamma = c_p/c_v$ — отношение теплоемкости газа при постоянном давлении к его теплоемкости при постоянном объеме.

• Работа, совершаемая при адиабатическом изменении объема газа,

$$A = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \frac{m}{M} \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right) = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \frac{m}{M} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right)$$

• Коэффициент полезного действия тепловой машины

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

где Q_1 — количество теплоты, переданное нагревателем рабочему телу; Q_2 — количество теплоты, отданное холодильнику.

• Для цикла Карно

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

где T_1 — температура нагревателя; T_2 — температура холодильника.

• Изменение энтропии системы при переходе из состояния A в состояние B

$$\Delta S = \int_A^B \frac{dQ}{T},$$

где dQ — количество теплоты, переданное системе (или системой); T — температура по термодинамической шкале, при которой происходила теплопередача.

§ 2.2. ГАЗЫ

2.1. На рис. 2.1 изображен график изменения состояния идеального газа в координатах V, T . Представьте эти процессы на графике в координатах p, V (V — объем, p — давление, T — температура газа по термодинамической шкале). Назовите эти процессы.

2.2. На рис. 2.1 дан график изменения состояния идеального газа в координатах V, T . Представьте эти процессы на графике в координатах p, T . Назовите эти процессы.

2.3. Газ при 27°C занимает объем V . До какой температуры его следует изобарически охладить, чтобы привести к объему $0,25 V$?

2.4. В цилиндре двигателя внутреннего сгорания давление в конце такта сжатия равно $1,1 \text{ МПа}$, а температура составляет 350°C . Каким станет давление после сгорания газовой смеси, если температура при этом достигнет 2000°C , а объем останется неизменным?

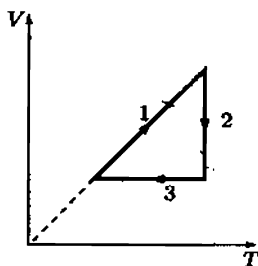


Рис. 2.1

2.5. При изготовлении газонаполненных ламп их наполняют инертным газом при температуре 150°C и давлении $7,4 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Каким станет давление газа в лампе во время ее горения, если температура газа повысится до 300°C ?

2.6. На какую величину нужно уменьшить давление (по сравнению с первоначальным), чтобы объем данной массы газа при постоянной температуре увеличился на 20% ?

2.7. Взрослая корова выделяет при дыхании $0,235 \text{ кг}$ воздуха в час при давлении 10^5 Па . Температура легких коровы 37°C . Определить объем выдыхаемого ею воздуха за час.

2.8. Масса воздуха, поступающего в легкие теленка при одном вдохе $3,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$, объем вдыхаемого воздуха $0,3 \text{ л}$, температура легких $36,7^\circ\text{C}$. Каково давление воздуха в легких теленка?

2.9. Подсчитать массу и количество молей водяного пара, находящегося в 1 м^3 воздуха, если парциальное давление этого пара 1200 Па , а температура воздуха 27°C .

2.10. Чему равна плотность кислорода при температуре 27°C и давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$?

2.11. В закрытом сосуде емкостью 1 м^3 находится $1,2 \text{ кг}$ углекислого газа и $4,8 \text{ кг}$ воды. Найти давление в сосуде при 510°C , считая, что вся вода при этой температуре превратится в пар.

2.12. При температуре 47°C и давлении $5,065 \cdot 10^5 \text{ Па}$ плотность газа $0,0061 \text{ г/см}^3$. Определить массу моля газа.

2.13. Какова плотность насыщенного водяного пара, содержащегося в воздухе теплицы для выращивания огурцов, при 27°C , если давление пара при этой температуре 3550 Па ?

2.14. В баллоне емкостью 24 л находится водород при температуре 15°C . После того как часть водорода израсходовали, давление в баллоне понизилось на $4,052 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Какое количество водорода было израсходовано? Процесс считать изотермическим.

2.15. Газ находится при температуре 17°C и давлении $5,065 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Какое давление потребуется для того, чтобы увеличить плотность газа в 2,5 раза, если его температура будет доведена до 100°C ?

2.16. Сколько молекул содержится в 2 л кислорода, находящегося при температуре 17°C и давлении $2,026 \cdot 10^5 \text{ Па}$?

2.17. При температуре 27°C и давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ в парнике находится $2,45 \cdot 10^{27}$ молекул воздуха. Вычислить объем парника.

2.18. В 10 л азота при температуре 22°C содержится $2 \cdot 10^{24}$ молекул. Найти давление газа при данных условиях.

2.19. Микроскопическая пылинка углерода содержит $5 \cdot 10^{12}$ молекул. Определить массу пылинки.

2.20. Определить массу молекулы воды и молекулы воздуха. Молярная масса воздуха $0,029 \text{ кг/моль}$.

2.21. Сколько молекул находится в 10 г углекислого газа?

*2.22. Определить длину l ребра кубического сосуда, содержащего $N = 10^7$ молекул идеального газа при нормальных условиях.

2.23. Найти число молекул в единице объема азота и его плотность при давлении $1,33 \text{ нПа}$ и температуре 17°C .

2.24. Какова средняя квадратичная скорость атомов гелия при температуре 27°C ?

2.25. При какой температуре средняя арифметическая скорость молекул водорода $1,6 \text{ км/с}$?

2.26. У молекул какого газа наиболее вероятная скорость при 132°C равна 460 м/с ?

2.27. Найти среднюю квадратичную и среднюю арифметическую скорости молекул азота при 27°C .

2.28. Определить среднюю арифметическую скорость молекул газа, если известно, что их средняя квадратичная скорость $0,8 \text{ км/с}$.

2.29. Во сколько раз средняя квадратичная скорость молекул азота больше средней квадратичной скорости пылинок, взвешенных в азоте, если масса одной пылинки 10^{-9} г ?

2.30. Сосуд емкостью 1 л содержит 1,5 г некоторого газа под давлением $2,53 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Определить среднюю квадратичную скорость молекул газа.

2.31. При какой температуре молекулы водорода имеют такую же среднюю квадратичную скорость, как молекулы аргона при 27°C ?

2.32. Определить кинетическую энергию поступательного движения одной молекулы аммиака при 100°C , а также полную кинетическую энергию молекул, содержащихся в одном моле аммиака при той же температуре.

2.33. Чему равна энергия теплового движения молекул, содержащихся в 12 г азота при 17°C ?

2.34. Вычислить энергии вращательного и поступательного движений молекул, содержащихся в 1 кг кислорода при 7°C .

2.35. Чему равна энергия теплового движения молекул двухатомного газа, заключенного в сосуд объемом 5 л и находящегося под давлением в $2,53 \cdot 10^5 \text{ Па}$?

*2.36. При какой температуре T средняя кинетическая энергия теплового движения молекулы кислорода будет достаточна для того, чтобы молекула кислорода, содержащегося в лунной коре, преодолела лунное тяготение и навсегда покинула пределы Луны? Ускорение свободного падения на поверхности Луны $g_{\text{л}} = 1,61 \text{ м/с}^2$, радиус $r_{\text{л}} = 1,74 \cdot 10^6 \text{ м}$.

2.37. При температуре 21°C в сосуде содержится 10^{24} молекул газа. Определить кинетическую энергию поступательного движения всех молекул.

2.38. Кинетическая энергия поступательного движения всех молекул кислорода, выделенного растениями в процессе фотосинтеза за день, 5 кДж . Средняя квадратичная скорость этих молекул 470 м/с . Какова масса выделенного растениями кислорода?

2.39. Сколько степеней свободы имеет молекула, обладающая кинетической энергией $9,7 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ при 7°C ?

2.40. Двухатомный газ массой 2 кг находится под давлением $5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и имеет плотность 4 кг/м^3 . Найти энергию теплового движения молекул газа при этих условиях.

2.41. Найти молярную теплоемкость кислорода: 1) при объеме $V = \text{const}$; 2) при давлении $p = \text{const}$.

2.42. Найти удельные теплоемкости азота при постоянном объеме и при постоянном давлении, а также их отношение γ .

2.43. Вычислить удельные теплоемкости при постоянном давлении и при постоянном объеме для газа, молярная масса которого $0,044 \text{ кг/моль}$, а отношение теплоемкостей

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1,33.$$

2.44. Удельные теплоемкости газа при постоянном объеме и постоянном давлении равны соответственно 649 и $912 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. Определить молярную массу этого газа и число степеней свободы его молекул.

2.45. Плотность некоторого одноатомного газа при нормальных условиях $0,00374 \text{ г/см}^3$. Вычислить для этого газа удельные теплоемкости при постоянном объеме и постоянном давлении.

2.46. Определить среднюю длину свободного пробега молекул кислорода при нормальных условиях. Эффективный диаметр молекулы кислорода принять равным $2,9 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

2.47. При каком давлении средняя длина свободного пробега молекул водорода $2,5 \text{ см}$? Температура водорода 68°С , а эффективный диаметр молекулы $2,3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

2.48. Найти среднее число столкновений в 1 с молекулы углекислого газа при 100°С , если средняя длина свободного пробега молекул $8,7 \cdot 10^{-2} \text{ см}$.

2.49. Сколько молекул содержится в 1 см^3 водорода, находящегося при давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и температуре 27°С ? Чему равна средняя арифметическая скорость этих молекул? Сколько соударений в секунду испытывает молекула, если ее эффективный диаметр $2,3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$?

2.50. Какова плотность разреженного водорода, если средняя длина свободного пробега молекул 1 см , эффективный диаметр молекулы $2,3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$?

2.51. При каком давлении средняя длина свободного пробега молекул азота равна 1 мм , если при нормальном давлении она составляет $6 \cdot 10^{-6} \text{ см}$?

2.52. Найти коэффициент внутреннего трения азота при нормальных условиях, если коэффициент диффузии азота при этих условиях $1,42 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

***2.53.** Какое количество теплоты ΔQ теряется ежедневно через двойную парниковую раму за счет теплопроводности

воздуха, заключенного между ее полиамидными пленками? Площадь каждой пленки $S = 4 \text{ м}^2$, расстояние между ними $d = 30 \text{ см}$. Температура в парнике $t_1 = 5^\circ \text{С}$, температура наружного воздуха $t_2 = -10^\circ \text{С}$; температуру t воздуха между пленками считать равной средней арифметической этих температур. Радиус молекулы воздуха $r = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ см}$, молярная масса воздуха $M = 0,029 \text{ кг/моль}$.

2.54. Коэффициент диффузии водорода при нормальных условиях равен $0,91 \text{ см}^2/\text{с}$. Определить коэффициент теплопроводности водорода при этих условиях.

2.55. Средняя длина свободного пробега атомов гелия при нормальных условиях $1,85 \cdot 10^{-5} \text{ см}$. Определить коэффициент диффузии гелия.

2.56. Коэффициент диффузии кислорода при 0°С равен $0,19 \text{ см}^2/\text{с}$. Определить среднюю длину свободного пробега молекул кислорода.

2.57. Эффективный диаметр молекулы аргона $2,7 \cdot 10^{-8} \text{ см}$. Определить коэффициент внутреннего трения для аргона при 50°С .

2.58. Коэффициенты диффузии и внутреннего трения водорода при некоторых условиях равны соответственно $1,42 \text{ см}^2/\text{с}$ и $8,5 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$. Найти плотность водорода при этих условиях.

2.59. Коэффициент теплопроводности кислорода при 100°С равен $3,25 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$. Вычислить коэффициент вязкости кислорода при этой температуре.

2.60. Найти количество азота, прошедшего вследствие диффузии через площадку 10 см^2 за 5 с , если градиент плотности азота в направлении, перпендикулярном площадке, $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ г}/\text{см}^4$. Коэффициент диффузии $1,42 \text{ см}^2/\text{с}$.

2.61. За сколько времени 720 мг углекислого газа продиффундируют из чернозема в атмосферу через 1 м^2 его поверхности при градиенте плотности $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ г}/\text{см}^4$? Коэффициент диффузии принять равным $0,04 \text{ см}^2/\text{с}$.

2.62. За сутки через 1 м^2 поверхности дерново-подзолистой почвы продиффундировало 145 г углекислого газа. Определить коэффициент диффузии углекислого газа, если градиент плотности в нем $1,4 \cdot 10^{-5} \text{ г}/\text{см}^4$.

§ 2.3. ЖИДКОСТИ И ТВЕРДЫЕ ТЕЛА

2.63. Найти напряжение в шейке крюка подъемного крана при полной нагрузке, если диаметр шейки крюка 28 мм, а грузоподъемность крана 29 400 Н.

2.64. На сколько градусов нужно нагреть медную проволоку диаметром 0,5 мм, чтобы она получила такое же удлинение, как при растяжении силой 147 Н?

2.65. К стальной проволоке длиной 10 мм диаметром 1 мм приложена сила 98 Н. Определить абсолютное удлинение проволоки.

2.66. Какую силу надо приложить к латунной проволоке длиной 5 м и диаметром 0,3 мм для ее удлинения на 2 мм?

2.67. На базе горюче-смазочных материалов совхоза в цистерну залито 100 л керосина при 10° С. Каким будет объем этого керосина при 25° С? Коэффициент объемного расширения керосина $0,001 \text{ К}^{-1}$

2.68. Длина стальной ленты в рулетке при 0° С равна 10 м. На сколько увеличится длина ленты при нагревании до 30° С?

2.69. При 0° С цинковый стержень имеет длину 200 мм, а медный 201 мм. При какой температуре стержни будут иметь одинаковую длину?

2.70. Пользуясь законами Дюлонга—Пти и Джоуля—Коппа, найти удельные теплоемкости алюминия, поваренной соли и серной кислоты.

2.71. Пользуясь законами Дюлонга—Пти и Джоуля—Коппа, определить, во сколько раз молярная теплоемкость хлористого кальция (CaCl_2) больше атомной теплоемкости алмаза.

***2.72.** Паровой молот массой $m_0 = 10\,000 \text{ кг}$ многократно падает с высоты $h = 2 \text{ м}$ на железную болванку массой $m = 250 \text{ кг}$. Сколько раз он должен упасть, чтобы температура болванки изменилась на $\Delta t = 100^\circ \text{С}$? На нагревание болванки идет 60% теплоты, выделенной при ударах. Удельную теплоемкость железа с найти по закону Дюлонга и Пти.

2.73. Во время работы молотилки ее железный барабан массой 100 кг нагрелся на 5° С. На сколько при этом изменилась внутренняя энергия материала, из которого сделан барабан? (При решении воспользоваться законом Дюлонга—Пти.)

2.74. Определить радиус жировых шариков в молоке, если скорость их всплывания при естественном отстаивании сливок $2 \cdot 10^{-7}$ м/с. Плотность жира $0,9 \text{ г/см}^3$, плотность обрат 1 г/см^3 , коэффициент внутреннего трения обрат $\eta = 0,011 \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{с}}$.

*2.75. Осмотическое давление p поваренной соли (NaCl) в водном растворе при $t = 17^\circ \text{C}$ равно $2,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Объем раствора $V = 0,5 \text{ л}$, степень диссоциации молекул соли 75%. Определить массу m соли, необходимую для создания такого раствора.

2.76. 20 г сахара ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) растворено в 1 л воды при 40°C . Чему равно осмотическое давление сахара? Диссоциация молекул сахара отсутствует.

2.77. Осмотическое давление в клетках листьев винограда $16,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Определить концентрацию клеточного сока, если температура окружающего воздуха 27°C . Диссоциацией молекул пренебречь.

2.78. При какой температуре осмотическое давление в клетках листьев хлопчатника $22,3 \cdot 10^5 \text{ Па}$, если концентрация клеточного сока 935 моль/м^3 ? Диссоциация молекул отсутствует.

2.79. Определить коэффициент теплопроводности мышечной ткани животного, если за 10 мин через 1 м^2 ее поверхности прошло 680 Дж теплоты. Толщина ткани 1 см , изменение температуры на этом расстоянии 20°C .

2.80. Наружная поверхность парниковой бетонной стены имеет температуру $t_1 = -10^\circ \text{C}$, внутренняя — $t_2 = 20^\circ \text{C}$. Толщина стены $0,25 \text{ м}$. Какое количество теплоты проходит через 2 м^2 поверхности за 1 ч? Коэффициент теплопроводности бетона $0,817 \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К}}$.

2.81. Через какую площадь поверхности суглинистой почвы пройдет $4,83 \cdot 10^5 \text{ Дж}$ теплоты в течение 1 ч, если температура на поверхности почвы 20°C , а на глубине $0,5 \text{ м}$ она равна 10°C ? Коэффициент теплопроводности почвы $1,01 \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К}}$.

2.82. Определить количество теплоты, прошедшее в течение 5 мин через слой зерна толщиной 2 м и площадью $1,5 \text{ м}^2$, если разность температур верхней и нижней поверхностей 4°C . Коэффициент теплопроводности зерна $0,174 \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К}}$.

*2.83. Определить коэффициент температуропроводности k пшеницы, хранящейся в элеваторе, если ее плотность

$\rho = 7,8 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$, коэффициент теплопроводности $\chi = 0,14 \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К}}$ и удельная теплоемкость $c = 1,75 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

2.84. Во сколько раз скорость прогревания (коэффициент температуропроводности) воздуха больше, чем скорость прогревания воды? (Необходимые для решения задачи величины взять из таблиц.)

2.85. Из капиллярной трубки по каплям вытекает глицерин. Диаметр шейки капли в момент отрыва 2 мм. Определить коэффициент поверхностного натяжения глицерина, если вес 50 капель равен 0,0191 Н.

2.86. Из капилляра выпало 100 капель спирта массой 0,71 г. Определить диаметр шейки капли в момент отрыва, если коэффициент поверхностного натяжения спирта 0,0222 Н/м.

2.87. Найти разность уровней ртути в двух сообщающихся капиллярах диаметрами $d_1 = 1 \text{ мм}$ и $d_2 = 2 \text{ мм}$. Несмачивание считать полным.

2.88. В воду на малую глубину погружен конец вертикально расположенной трубки с внутренним диаметром 2 мм. Какова масса вошедшей в трубку воды, если коэффициент поверхностного натяжения воды $7,2 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}$? Смачивание считать полным.

2.89. На какую высоту поднимается вода в почвенном монолите за счет его пористости, если диаметр почвенного капилляра $7,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$, а вода полностью смачивает почву?

2.90. Определить радиус почвенного капилляра, если высота поднятия воды в нем 0,147 м. Смачивание считать полным.

2.91. В капиллярах песчаных почв вода поднимается на высоту 1,5 м. Температура воды равна 20°C , а ее плотность 1000 кг/м^3 . Определить диаметр почвенных капилляров. Смачивание считать полным.

2.92. Фитиль поднимает воду на высоту 8 см. На какую высоту по тому же фитилю поднимается керосин?

2.93. Во сколько раз высота подъема воды в стеблях риса со средним диаметром капилляров 0,02 мм больше, чем в почве с капиллярами диаметром 0,3 мм?

***2.94.** Определить давление p воздуха в воздушном пузырьке радиусом $r = 0,1 \text{ мм}$, находящемся на глубине $h = 30 \text{ см}$ под поверхностью воды. Внешнее давление $p_1 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

2.95. Давление воздуха внутри мыльного пузыря на 226 Па больше атмосферного. Чему равен диаметр пузыря? Коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора $0,043 \text{ Н/м}$.

§ 2.4. ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

2.96. Определить размерность в единицах СИ постоянных a и b , входящих в уравнение Ван-дер-Ваальса.

***2.97.** Какую температуру имеют 2 г азота, занимающего объем $0,082 \text{ л}$ при давлении $2,026 \text{ МПа}$? Газ рассматривать как: 1) идеальный; 2) реальный.

2.98. Определить критическую температуру кислорода по известным для него значениям постоянных a и b .

2.99. Найти плотность углекислого газа в критическом состоянии по известным для него значениям критической температуры T_k и критического давления p_k .

2.100. Найти значения a и b в уравнении Ван-дер-Ваальса для водяного пара по известным для него значениям критической температуры T_k и критического давления p_k .

2.101. В баллоне емкостью 22 л находится $0,7 \text{ кг}$ кислорода при 0°С . Определить внутреннее давление газа и собственный объем его молекул.

2.102. Какое количество теплоты потребуется для сушки зерна массой 10 т , если масса готовой продукции составляет 80% от массы до сушки? Начальная температура зерна $t_1 = 20^\circ \text{С}$, температура в сушилке $t_2 = 80^\circ \text{С}$. Удельная теплота испарения воды при 80°С составляет $2,3 \text{ МДж/кг}$. Для упрощения расчетов положить, что все испарение происходит при 80°С . Удельная теплоемкость сухого зерна $1,51 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$.

2.103. Какое количество теплоты нужно сообщить 10 кг льда, взятого при температуре -10°С , чтобы расплавить его, а полученную воду нагреть до 100°С и выпарить?

2.104. Какое количество воды превратится в пар, если в латунный сосуд, содержащий 1 л воды при 10°С , влить 10 кг расплавленного свинца при температуре плавления? Масса сосуда $0,5 \text{ кг}$.

2.105. На электроплитке мощностью 600 Вт , имеющей к. п. д. 40% , нагрелось 2 л воды, взятой при 20°С , до кипения и 10% ее обратилось в пар. Как долго длилось нагревание?

2.106. В 1 л воды при 20°С бросают кусок железа массой 300 г , нагретый до 600°С . Окончательная температура воды оказалась равной 24°С . Определить массу обратившейся в пар воды.

2.107. В теплоизолированном сосуде содержится смесь из 500 г воды и 54 г льда при 0°С . В сосуд ввели 10 г сухого насыщенного пара при 100°С . Какой будет температура в сосуде после установления теплового равновесия?

2.108. Трактор буксовал на заснеженной дороге в течение 1 мин , расходуя на буксование мощность 15 кВт . Какое количество снега, имевшего температуру -5°С , растаяло за это время?

2.109. Кусок меди массой 1 кг расплавился наполовину при сообщении ему количества теплоты, равного $1,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$. Определить начальную температуру меди.

2.110. За 1 ч в холодильной установке превращается в лед при температуре $t_2 = 0^\circ \text{С}$ масса воды $m = 5,2 \text{ кг}$, имевшая начальную температуру $t_1 = 10^\circ \text{С}$. Какая мощность N потребляется холодильной установкой от электросети, если отдаваемая ею в окружающее пространство мощность $N_1 = 840 \text{ Вт}$?

2.111. Внутренний диаметр барометрической трубки $0,6 \text{ см}$. Какую поправку нужно ввести в отсчет по барометру при измерении атмосферного давления? Несмачивание стекла ртутью считать полным.

2.112. Какую относительную ошибку мы допускаем, измеряя атмосферное давление, равное 10^5 Па , по высоте ртутного столба, если внутренний диаметр барометрической трубки 4 мм ? Несмачивание считать полным.

2.113. Определить высоту столба ртути в барометрической трубке диаметром 2 мм , если атмосферное давление 10^5 Па . Несмачивание считать полным.

2.114. Каким должен быть минимальный диаметр барометрической трубки, чтобы поправка на снижение уровня ртути в трубке вследствие несмачивания не превышала $266,6 \text{ Па}$?

2.115. Чему равно давление насыщенного водяного пара над раствором сахара при температуре 50°С , если в $0,5 \text{ л}$ воды было растворено 40 г сахара ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)?

2.116. Упругость насыщенного водяного пара над-раствором при 30°C равна $4,19 \text{ кПа}$. Найти упругость насыщенного пара над этим раствором при 90°C .

2.117. В одном литре воды растворено 100 г нелетучего вещества. Температура раствора 90°C . Давление насыщенного пара над раствором $6,86 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Определить массу одного моля растворенного вещества.

§ 2.5. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

2.118. Многоатомный газ, находившийся под давлением $1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ при температуре 7°C , был нагрет на 50°C , в результате чего он занял объем 12 л . Определить количество теплоты, переданное газу.

2.119. Какое количество водяного пара можно нагреть от 20 до 100°C при постоянном давлении количеством теплоты, равным 220 Дж ? На сколько изменится при этом его внутренняя энергия?

2.120. Два моля газа изобарически нагреваются от 20 до 600°C ; при этом газ поглощает $2,4 \cdot 10^7 \text{ Дж}$ энергии. Определить: 1) число степеней свободы молекул газа; 2) приращение внутренней энергии газа; 3) работу, совершенную газом при расширении.

2.121. Какое количество теплоты нужно сообщить 15 г кислорода, чтобы нагреть его на 100°C при постоянном объеме?

2.122. Закрытый баллон емкостью 10 л с углекислым газом при давлении 8 МПа и температуре 7°C нагревается до 17°C . Какое количество теплоты поглощается при этом газом?

2.123. Какое количество азота подвергалось изотермическому расширению при температуре -23°C от давления $2,53 \cdot 10^5 \text{ Па}$ до $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$, если при этом была совершена работа 720 Дж ?

2.124. При изотермическом расширении 2 м^3 газа совершена работа в $2,2 \cdot 10^5 \text{ Дж}$. Во сколько раз уменьшилось при этом давление, если начальное давление было равно $5,065 \cdot 10^5 \text{ Па}$?

2.125. Кислород, находящийся при нормальных условиях, изотермически расширяется за счет полученной извне теплоты от 10 до 15 л . Найти: 1) работу, совершенную газом при расширении; 2) количество сообщенной газу теплоты; 3) изменение внутренней энергии газа.

2.126. Воздух, занимавший объем 20 л при нормальном атмосферном давлении, адиабатически сжимается до объема 2 л. Определить давление воздуха после сжатия.

2.127. Воздух в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания сжимается адиабатически, и его давление при этом изменяется от $1,013 \cdot 10^6$ до $35,455 \cdot 10^6$ Па. Температура воздуха в конце сжатия оказалась равной 592°C . Найти начальную температуру воздуха.

2.128. Чему равно число степеней свободы молекулы газа, при адиабатическом сжатии которого объем уменьшился в 10 раз, а давление увеличилось в 21,4 раза?

2.129. Во сколько раз нужно увеличить давление горючей смеси в двигателе Дизеля, чтобы она воспламенилась? Температура воспламенения смеси 800°C , начальная температура 70°C . Горючую смесь считать многоатомным газом.

2.130. На сколько изменяется внутренняя энергия при адиабатическом нагревании 200 г кислорода от 20 до 120°C ?

2.131. На сколько изменится внутренняя энергия углекислого газа, находившегося при нормальном давлении, если его объем адиабатически расширится от 5 до 10 л?

2.132. Одноатомному газу сообщено 41,9 Дж теплоты. При этом газ расширяется, сохраняя постоянное давление. Найти работу расширения газа.

***2.133.** Один киломоль азота нагревают при постоянном давлении от 10 до 110°C . Найти: 1) изменение его внутренней энергии ΔW ; 2) работу A , совершаемую при расширении; 3) количество теплоты ΔQ , сообщенное газу.

2.134. В результате кругового процесса газ совершил работу, равную 3 кДж, и передал холодильнику 16,8 кДж теплоты. Определить к. п. д. этого процесса.

2.135. Рассчитать температуру холодильника паровой турбины большой мощности, если к. п. д. цикла 66%, а температура пара 900°C . Цикл турбины считать идеальным.

2.136. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя 227°C , а температура холодильника 10°C . При изотермическом расширении газ совершил работу 150 Дж. Определить количество теплоты, которое газ отдал холодильнику при изотермическом сжатии.

2.137. Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, имеет температуру нагревателя 327°C и температуру холодильника 227°C . Во сколько раз нужно увеличить абсолютную температуру нагревателя, чтобы к. п. д. машины увеличился в 2 раза?

2.138. Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает за 1 цикл работу $7 \cdot 10^4$ Дж. Температуры нагревателя и холодильника соответственно равны 400 K и 200 K . Найти коэффициент полезного действия машины, количество теплоты, полученное машиной за один цикл от нагревателя, и количество теплоты, отданное за один цикл холодильнику.

2.139. Тепловая машина работает по циклу Карно. Температура нагревателя 327°C . Определить к. п. д. цикла и температуру холодильника тепловой машины, если за счет 2 кДж теплоты, полученной от нагревателя, машина совершает работу, равную 400 Дж .

2.140. Какую работу должны совершить внешние силы в идеальной холодильной машине, работающей по обратному циклу Карно, чтобы отнять от холодильника, температура которого -10°C , 100 кДж теплоты? Температура охлаждающей воды 10°C .

2.141. Найти изменение энтропии при плавлении 2 кг льда при 0°C .

2.142. Найти изменение энтропии при превращении 1 кг воды при 20°C в пар при 100°C .

***2.143.** 4 кг кислорода нагревают при постоянном объеме от 27 до 227°C . Найти изменение энтропии, происшедшей при этом процессе.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

§ 3.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

• По закону Кулона сила взаимодействия F между точечными зарядами q_1 и q_2 , находящимися на расстоянии r один от другого в среде с диэлектрической проницаемостью ϵ , выражается соотношением

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2},$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — электрическая постоянная.

• Напряженность электрического поля

$$E = \frac{F}{q},$$

где F — сила, с которой поле действует на пробный заряд q .

• Напряженность поля точечного заряда q , или поля вне равномерно заряженного шара,

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2},$$

где r — расстояние от заряда q или от центра шара до точки, в которой определяется напряженность.

• Напряженность поля прямолинейной равномерно заряженной бесконечно длинной нити

$$E = \frac{\rho}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r},$$

где ρ — линейная плотность заряда нити; r — расстояние от нити до точки, в которой определяется напряженность поля.

- Напряженность поля, образованного равномерно заряженной бесконечной плоскостью,

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0},$$

где σ — поверхностная плотность заряда плоскости.

- Напряженность поля между двумя разноименно заряженными параллельными бесконечными плоскостями (напряженность поля внутри плоского конденсатора)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}.$$

- Напряженность поля, создаваемого диполем на перпендикуляре к середине его оси,

$$E = \frac{p}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^3},$$

где $p = ql$ — электрический момент диполя; l — длина оси диполя, r — расстояние от центра диполя до данной точки.

- Напряженность поля, создаваемого диполем на продолжении его оси (на расстоянии $r \gg l$),

$$E = \frac{p}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r^3}.$$

- Разность потенциалов между двумя точками электрического поля определяется работой, совершаемой при перемещении единичного положительного заряда из одной точки поля в другую,

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q},$$

где A — работа перемещения заряда q .

- Потенциал поля точечного заряда

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r},$$

где r — расстояние от заряда q , создающего поле, до точки, в которой определяется потенциал.

• Для плоского конденсатора связь между напряженностью поля E и разностью потенциалов U его пластин выражается соотношением

$$E = \frac{U}{d},$$

где d — расстояние между пластинами.

• Емкость удлиненного проводника связана с его зарядом q и потенциалом φ соотношением

$$C = \frac{q}{\varphi}.$$

• Емкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

где S — площадь пластины конденсатора.

• Емкость уединенного проводящего шара

$$C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r,$$

где r — радиус шара.

• Емкость C системы конденсаторов связана с емкостями C_i , входящих в нее конденсаторов соотношениями:

а) при последовательном соединении

$$\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i};$$

б) при параллельном соединении

$$C = \sum C_i.$$

• Энергию W уединенного заряженного проводника можно определить по следующим формулам:

$$W = \frac{q\varphi}{2}, \quad W = \frac{C\varphi^2}{2}, \quad W = \frac{q^2}{2C},$$

где q, φ и C — соответственно заряд, потенциал и емкость проводника.

Для плоского конденсатора

$$W = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S U^2}{2d} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2 S d}{2} = \frac{\sigma^2 S d}{2\varepsilon\varepsilon_0},$$

где S — площадь пластины; U — разность потенциалов между пластинами; σ — поверхностная плотность заряда пластин; E — напряженность электрического поля конденсатора.

- Плотность энергии электрического поля

$$w = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2.$$

- Пластины плоского конденсатора взаимно притягиваются с силой

$$F = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2 S = \frac{\epsilon \epsilon_0 U^2 S}{2d^2} = \frac{\sigma^2 S}{2\epsilon \epsilon_0}.$$

- Сила постоянного тока I связана с количеством электричества q , проходящим через поперечное сечение проводника за время t , следующим соотношением:

$$I = \frac{q}{t}.$$

- Плотность тока

$$j = \frac{I}{S},$$

где S — площадь поперечного сечения проводника.

- Сопротивление проводника длиной l и площадью поперечного сечения S

$$R = \frac{\rho l}{S},$$

где ρ — удельное сопротивление материала проводника.

- Закон Ома для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R},$$

где U — разность потенциалов на концах участка; R — его сопротивление.

- Закон Ома для полной цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$$

где $\mathcal{E}$ — электродвижущая сила источника тока; R — внешнее сопротивление цепи, r — внутреннее сопротивление источника тока.

- Удельное сопротивление ρ проводника связано с температурой t соотношением

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

где ρ_0 — удельное сопротивление при 0°C ; α — температурный коэффициент сопротивления.

- Работа тока A на участке цепи (или количество теплоты, выделенное в нем при прохождении тока) определяется формулами:

$$A = IUt = I^2 R t = \frac{U^2 t}{R},$$

где t — время прохождения тока.

- Мощность тока, выделяемая на участке цепи, определяется соотношениями:

$$N = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

- Полная мощность, выделяемая в цепи,

$$N = \mathcal{E} I.$$

- Для расчета разветвленных цепей применяются два правила Кирхгофа.

Первое правило для алгебраической суммы токов в узле:

$$\sum I = 0.$$

Второе правило для алгебраической суммы произведений токов на сопротивления участков и алгебраической суммы электродвижущих сил в контуре:

$$\sum \mathcal{E} = \sum IR.$$

- По первому закону Фарадея масса вещества, выделившегося при электролизе, равна

$$m = kIt = kq,$$

где k — электрохимический эквивалент, q — количество электричества, прошедшего через электролит за время t .

Второй закон Фарадея:

$$k = \frac{1}{F} \frac{A}{z},$$

где z — валентность вещества, A — масса одного kz -атома, F — постоянная Фарадея.

• Плотность тока в газе при небольших его значениях выражается законом Ома:

$$j = nq(u_+ + u_-)E = \sigma E,$$

где σ — удельная проводимость газа; E — напряженность поля; q — заряд иона; u_+ и u_- — подвижности положительных и отрицательных ионов; n — число пар ионов, находящихся в единице объема газа.

• Когда ток в газе достигает насыщения, справедлива формула

$$I_n = NqdS,$$

где N — число пар ионов, создаваемых ионизирующим агентом в единице объема за единицу времени; d — расстояние между электродами; q — заряд иона; S — площадь электродов.

• Напряженность магнитного поля, созданного бесконечно длинным прямолинейным проводником с током,

$$H = \frac{I}{4\pi r},$$

где I — сила тока; r — расстояние от точки, в которой определяется напряженность, до проводника.

• Напряженность магнитного поля, созданного прямолинейным проводником конечной длины с током,

$$H = \frac{I}{4\pi r} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

где α_1 и α_2 — углы между направлениями тока и радиуса вектора, проведенного из начала и конца проводника в рассматриваемую точку.

• Напряженность магнитного поля в центре кругового тока

$$H = \frac{I}{2R},$$

где R — радиус кругового контура.

• Напряженность магнитного поля внутри бесконечно длинного соленоида ($l > 10R$, где l — длина, R — радиус витка соленоида)

$$H = \frac{In}{l},$$

где n — число витков соленоида.

• Магнитная индукция B связана с напряженностью магнитного поля соотношением $B = \mu\mu_0 H$,

где μ — относительная магнитная проницаемость среды; $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$ — магнитная постоянная.

• Поток магнитной индукции, связанный с контуром,

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

где S — площадь, ограниченная контуром; α — угол между нормалью к плоскости контура и направлением вектора магнитной индукции.

• На прямолинейный проводник длиной l с током I , находящийся в магнитном поле, действует сила Ампера

$$F = BIl \sin \alpha,$$

где α — угол между направлениями тока и вектора индукции.

• Сила взаимодействия двух длинных параллельных проводников с токами I_1 и I_2

$$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r},$$

где l — длина каждого проводника; r — расстояние между ними.

• При перемещении проводника с током I в магнитном поле (перпендикулярно полю) совершается работа

$$\Delta A = I \Delta \Phi,$$

где $\Delta \Phi$ — магнитный поток через площадь, описываемую проводником при перемещении.

• На заряженную частицу, движущуюся со скоростью v в магнитном поле, действует сила Лоренца

$$F = qBv \sin \alpha,$$

где q — заряд частицы; α — угол между направлениями поля и скорости частицы.

• Разность потенциалов, возникающая на концах прямого проводника длиной l , движущегося в однородном магнитном поле (перпендикулярно полю) со скоростью v , выражается формулой

$$U = \frac{Bv}{c}.$$

- Закон Фарадея для электродвижущей силы индукции:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt},$$

где $d\Phi/dt$ — скорость изменения магнитного потока через площадь, ограниченную контуром.

- Возникающая в контуре э. д. с. самоиндукции

$$\mathcal{E} = -L\frac{dI}{dt},$$

где L — индуктивность контура; dI/dt — скорость изменения тока в контуре.

- Индуктивность соленоида

$$L = \mu\mu_0 \frac{n^2}{l} S,$$

где l — длина соленоида; n — число витков; S — площадь поперечного сечения соленоида.

- Э. д. с. взаимной индукции двух контуров

$$\mathcal{E}_2 = -M\frac{dI_1}{dt},$$

где $\mathcal{E}_2$ — э. д. с. взаимной индукции, возникающая в одном из контуров при скорости изменения тока в другом контуре, равной dI_1/dt ; M — коэффициент взаимной индукции контуров.

- Коэффициент взаимной индукции индукционной катушки

$$M = \frac{1}{l} \mu\mu_0 n_1 n_2 S,$$

где n_1 и n_2 — соответственно число витков в первичной и во вторичной обмотках, S и l — площадь поперечного сечения и длина катушки. Кроме того, $M = \sqrt{L_1 L_2}$, где L_1 и L_2 — соответственно индуктивности первичной и вторичной обмоток.

• Индуктивность контура L связана с пронизывающим его магнитным потоком Φ следующим соотношением:

$$L = \frac{\Phi}{I},$$

где I — ток в контуре, обуславливающий магнитный поток.

Для соленоида, имеющего n витков,

$$L = \frac{\Phi n}{I},$$

где Φ — магнитный поток, связанный с одним витком.

• Энергия магнитного поля, создаваемого током I в контуре индуктивностью L ,

$$W = \frac{1}{2}LI^2.$$

• Плотность энергии магнитного поля

$$w = \frac{1}{2}HB = \frac{1}{2}\mu\mu_0H^2 = \frac{B^2}{2\mu\mu_0},$$

где H — напряженность; B — индукция магнитного поля.

• Э. д. с. индукции S , возникающая в рамке площадью S , содержащей n витков, при ее вращении с угловой скоростью ω в однородном магнитном поле с индукцией B , определяется соотношением

$$\mathcal{E} = BS\omega n \sin \omega t,$$

где ωt — угол поворота рамки к моменту времени t (отсчитывается от начального положения, при котором плоскость рамки перпендикулярна полю).

• Период собственных колебаний в контуре, не содержащем омического сопротивления (формула Томсона),

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

где L — индуктивность; C — емкость контура.

• Действующие величины тока и напряжения выражаются соотношениями:

$$I_d = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad U_d = \frac{U_m}{\sqrt{2}},$$

где I_m и U_m — амплитудные (максимальные) значения тока и напряжения.

• Полное сопротивление R цепи переменного тока, содержащей последовательно соединенные омическое

сопротивление R_0 , индуктивность L и емкость C , выражается соотношением

$$R = \sqrt{R_0^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$$

где ω — циклическая частота тока.

• Мощность тока (при сдвиге фаз φ между током и напряжением)

$$N = I_d U_d \cos \varphi.$$

§ 3.2. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

3.1. В элементарной теории строения атома водорода принимают, что электрон обращается вокруг ядра по круговой орбите. Определить скорость электрона, если радиус орбиты $5,3 \cdot 10^{-9}$ см.

3.2. Два одинаковых заряда, находящихся на расстоянии 10 см друг от друга, взаимодействуют с силой $9,8 \cdot 10^{-5}$ Н. Определить величину зарядов.

3.3. Два разноименно заряженных шарика находятся в масле на расстоянии 5 см. Определить диэлектрическую проницаемость масла, если эти же шарики взаимодействуют с такой же силой в воздухе на расстоянии 11,2 см.

3.4. На двух одинаковых капельках воды находится по одному отрицательному элементарному заряду. Определить массу капельки, если электрическая сила отталкивания капелек уравнивает силу их взаимного тяготения.

3.5. Молекулу воды можно рассматривать как диполь, электрический момент которого $6,2 \cdot 10^{-30}$ Кл·м. Определить напряженность поля диполя на расстоянии $3 \cdot 10^{-7}$ см от середины оси диполя в точке, лежащей на перпендикуляре к оси диполя. Считать, что диполь образован элементарными зарядами.

3.6. Напряженность поля, созданного электрическим диполем на расстоянии $4 \cdot 10^{-9}$ м от середины оси диполя в точке, лежащей на продолжении оси диполя, равна 1,74 МВ/м. Определить электрический момент диполя, который образован элементарными зарядами.

3.7. Расстояние между двумя точечными зарядами $+10^{-8}$ Кл и $-5 \cdot 10^{-8}$ Кл равно 10 см. Определить

напряженность поля зарядов в точке, удаленной на 8 см от первого и на 6 см от второго зарядов.

3.8. Два точечных заряда по $+10^{-7}$ Кл каждый расположены на расстоянии 10 см друг от друга. Определить напряженность и потенциал поля в точке, удаленной на 10 см от каждого заряда.

3.9. Результирующая напряженность поля двух точечных зарядов $+6,25 \cdot 10^{-8}$ Кл и -10^{-8} Кл на расстоянии 2 см за вторым из них (на линии, проходящей через заряды) равна нулю. Определить расстояние между зарядами.

3.10. Два точечных заряда $+5q$ и $-2q$ находятся на расстоянии 10 см друг от друга. В какой точке линии, проходящей через эти заряды, напряженность электрического поля равна нулю?

3.11. С какой силой электрическое поле бесконечной равномерно заряженной нити с линейной плотностью заряда 3 Кл/см действует на заряд 1 нКл , помещенный в это поле, на расстояние 1,5 см от нее? Диэлектрическая проницаемость среды равна 5.

3.12. В поле бесконечной равномерно заряженной нити, на которой распределен заряд $+3 \cdot 10^{-8}$ Кл на каждые 150 см длины, помещена пылинка, несущая на себе два электрона. На каком расстоянии от нити находится пылинка, если на нее действует сила $4 \cdot 10^{-15} \text{ Н}$?

*3.13. К бесконечной вертикальной плоскости на нити подвешен заряженный шарик массой $m = 5 \text{ г}$ и зарядом $q = 11,8 \text{ нКл}$. Нить образует с плоскостью угол $\alpha = 45^\circ$. Определить поверхностную плотность σ заряда на плоскости.

*3.14. В центр правильного треугольника, в вершинах которого находится по заряду $q = 3,43 \cdot 10^{-8}$ Кл, помещен отрицательный заряд. Найти величину q_0 этого заряда, если данная система находится в равновесии.

3.15. Считая Землю шаром радиусом $6,4 \cdot 10^3 \text{ км}$, определить заряд, который несет Земля, если напряженность электрического поля у ее поверхности в среднем 130 В/м . Определить потенциал поля Земли на расстоянии 300 км от ее поверхности.

3.16. Маленький шарик с зарядом 10^{-10} Кл находится в электрическом поле равномерно заряженной плоскости площадью 400 см^2 с зарядом 6 мКл . Определить силу их взаимодействия.

3.17. Бесконечная равномерно заряженная нить с линейной плотностью заряда $3 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/см}$ расположена горизонтально.

Под ней на расстоянии 2 см находится в равновесии шарик массой 0,01 г. Определить заряд шарика.

3.18. Градиент потенциала электрического поля между двумя параллельными, расположенными близко друг от друга и равномерно заряженными пластинами, равен 100 В/см. Определить величину заряда на пластинах, если площадь пластины равна 200 см².

3.19. Две пластины площадью 200 см² каждая, находясь в керосине на расстоянии 0,4 см друг от друга, взаимодействуют с силой $2,5 \cdot 10^{-4}$ Н. Определить разность потенциалов между пластинами.

*3.20. Между двумя горизонтально расположенными пластинами находится в равновесии капелька масла. Поверхностная плотность заряда на пластинах $\sigma = 3 \cdot 10^{-8}$ Кл/см². Заряд капли q равен пяти элементарным зарядам. Определить объем капли V .

3.21. К пластинам плоского конденсатора, находящимся на расстоянии 4 мм друг от друга, приложена разность потенциалов 160 В. Пространство между пластинами заполнено стеклом. Определить величину заряда на пластинах, если площадь каждой пластины 100 см².

3.22. Две круглые параллельные металлические пластины радиусом 10 см находятся на расстоянии 2 см друг от друга. Определить напряженность электрического поля и разность потенциалов между пластинами, если они взаимно притягиваются с силой 0,0125 Н.

3.23. Тысяча одинаковых, одноименно наэлектризованных дождевых капелек сливаются в одну каплю, причем заряды всех капелек сохраняются. Во сколько раз потенциал капли станет больше потенциала отдельной капельки?

3.24. Определить работу по перемещению заряда 10^{-8} Кл в электрическом поле между двумя точками, находящимися на расстояниях 10 и 20 см от заряда 10^{-7} Кл.

*3.25. В вершинах квадрата со стороной $a = 4$ см расположены точечные заряды $q = 4,4$ нКл. Определить работу перемещения заряда $q_1 = 2,2$ нКл из центра квадрата в середину одной из его сторон.

3.26. На расстоянии 5 см от поверхности металлического шара радиусом 2 см с поверхностной плотностью заряда 4 мкКл/м²

находится точечный заряд 1 нКл . Определить работу электрических сил при перемещении этого заряда на расстояние 8 см от поверхности шара.

3.27. Под действием силы однородного электрического поля напряженностью 6 В/м электрон приобрел кинетическую энергию $4,8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Найти: 1) ускорение, полученное электроном; 2) разность потенциалов, которую прошел электрон; 3) скорость, которую приобрел электрон за время своего движения, если начальная скорость была равна нулю.

3.28. Какую скорость приобретает электрон, пройдя разность потенциалов, равную $1, 5, 10, 500$ и 1000 В ?

3.29. Расстояние между двумя горизонтально расположенными пластинами 2 см . Определить разность потенциалов между пластинами, если протон, пройдя под действием силы электрического поля 3 мм , приобрел скорость $1,5 \cdot 10^4 \text{ м/с}$?

3.30. Радиус водяной капли 1 мм . Найти потенциал капли, если ее заряд составляет 10^8 электронов.

3.31. Шарик радиусом 2 см заряжен до потенциала 500 В . Чему равна поверхностная плотность заряда на шарике?

3.32. Определить емкость земного шара, считая его радиус равным 6400 км . Какой заряд надо сообщить земному шару, чтобы изменить его потенциал на 3 кВ ?

3.33. Площадь каждой пластины плоского конденсатора 1 см^2 , расстояние между пластинами $1,5 \text{ мм}$. Диэлектриком является стекло. Найти емкость конденсатора.

3.34. Емкость плоского воздушного конденсатора 1 мкФ . Определить емкость конденсатора, если пространство между пластинами заполнить парафином.

3.35. Вычислить емкость системы конденсаторов, изображенной на рис. 3.1. Емкость каждого конденсатора $0,3 \text{ мкФ}$.

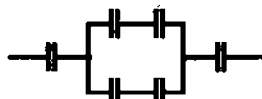


Рис. 3.1

3.36. Три плоских конденсатора емкостями $2, 4$ и 6 нФ соединены последовательно. К ним приложено напряжение 110 кВ . Как распределится это напряжение между отдельными конденсаторами?

3.37. У электрического утюга орган для накапливания электрической энергии представляет собой своеобразную батарею конденсаторов, заряженных до потенциала 800 В . Мощность

разряда 1 кВт . Считая время разряда равным 10^{-4} с , определить емкость этой батареи конденсаторов.

3.38. Три одинаковых плоских конденсатора соединены между собой параллельно. Емкость полученной батареи $9 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}$. Площадь каждой пластины 100 см^2 . Диэлектрик — стекло. Определить толщину стекла.

3.39. Два конденсатора зарядили до потенциалов 600 В и 200 В и соединили параллельно. Определить разность потенциалов между обкладками конденсаторов, если емкость первого конденсатора в 3 раза больше емкости второго.

3.40. Плоский конденсатор, расстояние между пластинами которого 1 см , заряжен до 500 В и отключен от источника тока. Какова будет разность потенциалов между пластинами, если их раздвинуть до 5 см ?

3.41. В сельских электроэнергетических установках в качестве компенсирующих устройств применяются статические масляные конденсаторы. Два таких конденсатора емкостями 140 и 180 мкФ соединены последовательно. Будет ли пробита эта система, если к ней приложить напряжение 600 В ? Конденсаторы рассчитаны на напряжение $0,4 \text{ кВ}$.

***3.42.** Шар A радиусом $r = 10 \text{ см}$ зарядили до потенциала $\varphi_A = 2700 \text{ В}$ и отключили от источника напряжения. После этого шар A соединили проволокой (емкостью которой можно пренебречь) с незаряженным шаром B такого же радиуса. Найти: 1) начальный заряд шара A ; 2) заряды q'_A , q'_B и потенциалы φ'_A , φ'_B шаров A и B после их соединения; 3) энергию W' обоих шаров после соединения; 4) работу разряда A при соединении.

3.43. Плоский конденсатор с площадью пластин 200 см^2 каждая и расстоянием между ними 2 см заряжается до 3 кВ и отключается от источника. Затем расстояние между пластинами изменяется до 5 см . Определить работу, совершенную при раздвижении пластин.

3.44. Пластины плоского конденсатора площадью 100 см^2 находятся на расстоянии 2 см друг от друга. Пространство между ними заполнено слюдой. Заряд на пластинах равен $0,3 \text{ мКл}$. Найти: 1) силу взаимного притяжения пластин; 2) разность потенциалов между пластинами; 3) плотность энергии электрического поля.

*3.45. Плоский воздушный конденсатор с площадью пластины $S = 200 \text{ см}^2$ заряжен до напряжения $U = 2 \text{ кВ}$. После зарядки конденсатор отключили от источника напряжения и пространство между пластинами заполнили эбонитом. Расстояние между пластинами $d = 1 \text{ см}$. Найти: 1) изменение емкости ΔC конденсатора; 2) изменение напряженности электрического поля ΔE внутри конденсатора; 3) изменение энергии ΔW конденсатора.

3.46. Два конденсатора емкостями $1,5 \text{ нФ}$ и 1 нФ , соединенные последовательно, заряжают до потенциала 10 кВ и, не разряжая, соединяют параллельно. Определить энергию конденсаторов до и после переключения и работу разряда.

3.47. В обычных условиях напряженность электрического поля Земли 130 В/м , а перед грозовым разрядом возрастает до 200 кВ/м . Во сколько раз увеличивается плотность энергии электрического поля вблизи поверхности Земли перед грозой?

3.48. Разрядный ток электрического ската достигает 8 А при напряжении 300 В . Считая, что вся энергия органов для накопления электричества переходит в работу разряда, определить электроемкость этих органов. Время разряда принять равным 10^{-4} с .

3.49. Плотность энергии электрического поля плоского конденсатора 25 Дж/м^3 . Площадь каждой пластины 200 см^2 . С какой силой взаимодействуют пластины?

§ 3.3. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

3.50. На сколько изменяется сопротивление железного телеграфного провода длиной 100 км и площадью поперечного сечения 10 мм^2 , если температура воздуха колеблется от -30° С зимой до $+30^\circ \text{ С}$ летом.

3.51. Обмотка электромагнитов генератора сделана из медного провода, имеющего при температуре 10° С сопротивление $14,2 \text{ Ом}$. После работы сопротивление обмотки повысилось до $16,5 \text{ Ом}$. Какова при этом температура обмотки?

3.52. Найти падение напряжения на медном проводе длиной 300 м и диаметром 3 мм , если сила тока в нем 2 А .

3.53. Имеется моток медной проволоки площадью поперечного сечения $0,1 \text{ мм}^2$. Масса всей проволоки $0,3 \text{ кг}$. Определить сопротивление проволоки.

3.54. Определить сопротивление проводника, который нужно соединить параллельно с проводником, имеющим сопротивление $300\ \Omega$, чтобы их общее сопротивление стало равным $120\ \Omega$.

3.55. Батарея, э. д. с. которой $6\ В$, а внутреннее сопротивление $1,4\ \Omega$, питает внешнюю цепь, состоящую из двух параллельно соединенных проводников сопротивлениями $2\ \Omega$ и $8\ \Omega$. Определить разность потенциалов на полюсах батареи и силу тока в проводниках.

3.56. Генератор с э. д. с. $150\ В$ и внутренним сопротивлением $0,4\ \Omega$ питает сеть освещения, в котором установлено 200 ламп с сопротивлением по $320\ \Omega$ каждая, соединенных параллельно. Определить напряжение на полюсах генератора и падение напряжения на подводящих проводах.

3.57. неполяризующийся гальванический элемент замыкают реостатом с сопротивлением $0,6\ \Omega$, причем по цепи идет ток $0,9\ А$. Если тот же элемент замкнуть реостатом с сопротивлением $1,2\ \Omega$, то ток будет равным $0,6\ А$. Определить электродвижущую силу и внутреннее сопротивление элемента.

3.58. Какое напряжение надо подать с электростанции для питания электродвигателя, расположенного на расстоянии $500\ м$ от нее? Двигатель рассчитан на ток $8\ А$ и напряжение $120\ В$. Площадь сечения каждого из двух проводов медного кабеля, подающего ток, равна $7\ мм^2$.

3.59. Определить плотность тока в железном проводе длиной $20\ м$, подающем ток для зарядки аккумулятора. Провод находится под напряжением $12\ В$.

3.60. Элемент с э. д. с. $1,1\ В$ и внутренним сопротивлением $1\ \Omega$ замкнут на внешнее сопротивление. По цепи идет ток $0,11\ А$. Найти: 1) внешнее сопротивление; 2) падение напряжения во внешней цепи; 3) падение напряжения внутри элемента; 4) к. п. д. элемента.

***3.61.** Какую максимальную полезную мощность N_m может выделить аккумулятор с э. д. с. $\mathcal{E} = 10\ В$ и внутренним сопротивлением $r = 1\ \Omega$? Каково при этом сопротивление R внешней цепи?

3.62. Коэффициент полезного действия источника тока, замкнутого на внешнее сопротивление, равен 60% . Каким будет к. п. д., если увеличить внешнее сопротивление в шесть раз?

3.63. Для подогрева воды надо изготовить нагревательный прибор, в котором 50 л воды за 25 мин будут нагреваться от 10°C до кипения. Напряжение в сети 220 В, к. п. д. прибора 80%. Какой длины проволоку надо взять, если сопротивление 1 м ее длины составляет 6 Ом?

3.64. Сколько времени необходимо для того, чтобы в проводнике, находящемся под напряжением 110 В, при силе тока 2 А выделилось 1106,16 Дж теплоты?

3.65. Для анализа почвы в агрохимической лаборатории нагрели 0,75 л воды от 14 до 70°C в течение 5 мин при помощи электронагревателя с сопротивлением 19,6 Ом. Определить силу тока и напряжение для нагревателя, если его к. п. д. 80%.

3.66. За сколько времени нагреется 0,4 л воды от 14 до 64°C , если сила тока в нагревательном приборе 5 А, сопротивление прибора 20,84 Ом и к. п. д. 80%?

3.67. Миллиамперметр со шкалой на 20 мА необходимо использовать как амперметр для измерения токов силой до 5 А. Рассчитать сопротивление шунта, если сопротивление миллиамперметра 8 Ом.

3.68. Амперметр имеет шкалу до 1 А. Если к нему присоединить шунт сопротивлением 6 Ом, то этим амперметром можно измерять ток до 10 А.

Какое добавочное сопротивление нужно присоединить к амперметру, чтобы его можно было использовать (без шунта) как вольтметр, измеряющий напряжение до 100 В?

3.69. Два элемента с э. д. с. $\mathcal{E}_1 = 2\text{ В}$ и $\mathcal{E}_2 = 1\text{ В}$ и проводник сопротивлением $R = 0,5\text{ Ом}$ соединены по схеме, указанной на рис. 3.2. Внутренние сопротивления элементов одинаковы и равны $r = 1\text{ Ом}$ каждое. Определить силу тока на всех участках цепи.

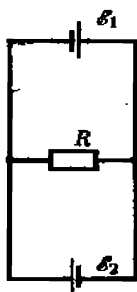


Рис. 3.2

3.70. На схеме, изображенной на рис. 3.3, э. д. с. первого элемента $\mathcal{E} = 36\text{ В}$ и его внутреннее сопротивление $r = 3\text{ Ом}$, э. д. с. второго элемента $\mathcal{E}_2 = 12\text{ В}$.

Каким должно быть внутреннее сопротивление r_2 , чтобы через проводник с сопротивлением R не проходил ток?

3.71. Аккумулятор с внутренним сопротивлением 1 Ом подключен для зарядки к сети напряжением 12,5 В. Определить

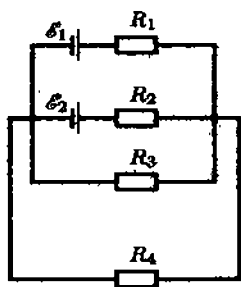


Рис. 3.3

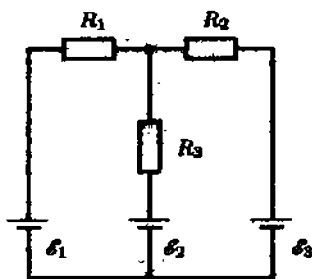


Рис. 3.4

э. д. с. аккумулятора, если при зарядке через него проходит ток силой $0,5\text{ A}$.

3.72. Определить напряжение на проводниках с сопротивлениями $R_1 = 3\text{ Ом}$, $R_2 = 2\text{ Ом}$, $R_3 = 4\text{ Ом}$ и $R_4 = 3\text{ Ом}$ включенных, как показано на рис. 3.3. Э. д. с. источников тока $\mathcal{E}_1 = 8\text{ В}$ и $\mathcal{E}_2 = 6\text{ В}$. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

3.73. На схеме (рис. 3.4) $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_3$, $R_1 = 20\text{ Ом}$, $R_2 = 12\text{ Ом}$ и падение напряжения на проводнике с сопротивлением R_2 равно 6 В .

Найти сопротивление R_3 и силу тока на каждом участке цепи.

3.74. На схеме (рис. 3.5) $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 110\text{ В}$, $R_1 = R_2 = 200\text{ Ом}$. Вольтметр показывает 100 В . Найти сопротивление вольтметра. Сопротивлением источников тока пренебречь.

3.75. Две батареи с э. д. с. $\mathcal{E}_1 = 2\text{ В}$ и $\mathcal{E}_2 = 4\text{ В}$ соединены по схеме, представленной на рис. 3.6. Амперметры показывают силы тока $I_1 = 0,73\text{ А}$ и $I_2 = 0,165\text{ А}$. Определить сопротивление R_1 и R_2 и силу тока I_3 , текущего через проводник с сопротивлением $R_3 = 10\text{ Ом}$.

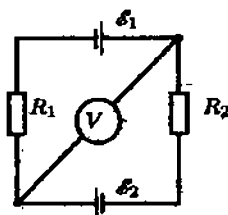


Рис. 3.5

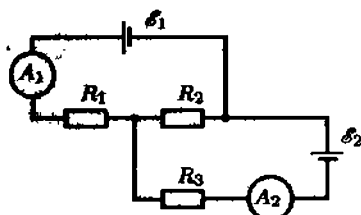


Рис. 3.6

3.76. Источник тока замкнут на потенциометр с сопротивлением 2000 Ом , э. д. с. источника 50 В (рис. 3.7). Вольтметр, включенный между началом и серединой обмотки потенциометра, показывает 20 В . Определить сопротивление вольтметра. Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

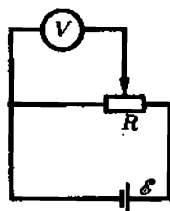


Рис. 3.7

3.77. Центрифуга мощностью $2,8 \text{ кВт}$ включена в сеть с напряжением 110 В . Определить силу тока, который проходит через обмотку двигателя центрифуги, если ее к. п. д. 98% .

***3.78.** От полюсов генератора с напряжением $U = 230 \text{ В}$ идет линия для освещения помещения. В линию последовательно включены четыре лампы, требующие напряжения $U_0 = 42 \text{ В}$ и силы тока $I = 10 \text{ А}$. Определить сопротивление R реостата, который необходимо включить в линию. Для линии использован алюминиевый провод длиной $l = 400 \text{ м}$ и площадью сечения $S = 2,5 \text{ мм}^2$.

3.79. Определить количество теплоты, выделяемое в течение одной секунды при зарядке аккумулятора. Напряжение между полюсами аккумулятора 2 В , его остаточная э. д. с. $-1,3 \text{ В}$, внутреннее сопротивление $0,7 \text{ Ом}$.

3.80. Напряжение в сети подстанции для зарядки аккумуляторов равно 13 В , внутреннее сопротивление аккумулятора, поставленного на зарядку — $0,4 \text{ Ом}$, его остаточная э. д. с. 11 В . Какая мощность будет расходоваться на зарядку аккумулятора? Какая часть этой мощности пойдет на его нагревание?

3.81. К электродвигателю с полезной мощностью $3,68 \text{ кВт}$, рабочим напряжением 110 В и к. п. д. 82% требуется передать энергию от электростанции на расстояние 125 м . Определить площадь поперечного сечения медных проводов, если падение напряжения в них составляет 5 В .

3.82. Батарея, состоящая из 11 одинаковых аккумуляторов, включена во внешнюю цепь сопротивлением R . При каком значении внутреннего сопротивления r аккумулятора сила тока в цепи будет одинакова как при последовательном, так и при параллельном соединениях аккумуляторов в батарею?

3.83. Имеются два проводника, причем сопротивление первого вдвое меньше второго. В каком проводнике будет выделяться

больше тепла: а) при параллельном включении; б) при последовательном включении их в цепь с постоянным напряжением?

3.84. Электролиз раствора медного купороса происходил в течение одного часа при плотности тока 56 А/м^2 . Площадь каждого электрода 75 см^2 . Сколько меди выделяется за это время?

3.85. При электролизе раствора AgNO_3 было израсходовано 1780 Дж электрической энергии; при этом на электроде выделилось 500 мг серебра. Определить разность потенциалов на электродах.

3.86. Никелирование металлического изделия с поверхностью 120 см^2 происходило при силе тока $0,3 \text{ А}$. На изделии выделился слой никеля толщиной $13,5 \text{ мкм}$. Сколько времени продолжалось никелирование изделия? Валентность никеля 2.

3.87. Концентрация пар ионов, обуславливающих проводимость атмосферного воздуха, в среднем равна 700 см^{-3} . Вычислить плотность тока проводимости в атмосфере, если средняя величина напряженности земного электрического поля 130 В/м . Подвижности положительных и отрицательных ионов равны соответственно $1,37$ и $1,91 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$.

3.88. Объем воздуха, заключенного между пластинами плоского конденсатора, равен $0,5 \text{ л}$. Воздух ионизируется рентгеновскими лучами. За 1 с в 1 см^3 воздуха образуется $2 \cdot 10^{10}$ пар одновалентных ионов. Определить ток насыщения.

§ 3.4. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

3.89. По прямому бесконечно длинному проводу идет ток 8 А . Определить напряженность магнитного поля в точке, лежащей на расстоянии $0,3 \text{ м}$ от провода.

3.90. По прямому проводу длиной $0,9 \text{ м}$ течет ток 6 А . Определить напряженность магнитного поля в точке, лежащей на расстоянии $0,5 \text{ м}$ от середины провода.

3.91. К концам проволоки, образующей кольцо длиной $6,28 \text{ м}$, приложена разность потенциалов 2 В . Сопротивление кольца 4 Ом . Определить напряженность магнитного поля в центре кольца.

3.92. По двум бесконечно длинным прямолинейным параллельным проводникам (рис. 3.8), находящимся на расстоянии $KN = 0,2 \text{ м}$ друг от друга, текут в одном направлении токи $I_1 = 6 \text{ А}$, $I_2 = 8 \text{ А}$. Определить напряженность магнитного поля в точках A , B и C , если $AK = 0,05 \text{ м}$, $NC = 0,01 \text{ м}$ и $KB = BN$.

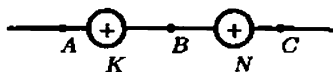


Рис. 3.8

3.93. Решить предыдущую задачу при условии, что токи текут в противоположных направлениях.

3.94. По двум длинным прямолинейным параллельным проводникам, находящимся на расстоянии $0,3 \text{ м}$ друг от друга, текут в одном направлении токи 5 А и 3 А . На каком расстоянии от первого провода, на линии соединяющей провода, напряженность магнитного поля равна нулю?

3.95. По двум бесконечно длинным прямолинейным параллельным проводам текут в одном направлении токи по $0,34 \text{ А}$. Расстояние между проводами $0,3 \text{ м}$. Определить напряженность магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии $0,3 \text{ м}$ от каждого провода.

***3.96.** По длинному проводу, согнутому под прямым углом, течет ток $I = 15 \text{ А}$. Найти напряженность магнитного поля H в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины на расстоянии $r = 0,05 \text{ м}$.

***3.97.** Проволочная рамка, имеющая форму правильного шестиугольника с небольшим разрезом, находится под напряжением $U = 3 \text{ В}$. Длина проволоки $l = 1,2 \text{ м}$, сопротивление $R = 1,5 \text{ Ом}$. Определить напряженность магнитного поля H в центре рамки.

3.98. По проволочной катушке длиной $0,3 \text{ м}$, состоящей из 1000 витков, проходит ток 2 А . Найти напряженность магнитного поля в катушке. Диаметр катушки считать малым по сравнению с ее длиной.

3.99. Длинный соленоид, по которому течет ток $0,4 \text{ А}$, содержит 500 витков. Определить длину соленоида, если напряженность магнитного поля на его оси составляет 1000 А/м .

3.100. Определить длину провода, из которого изготовлен соленоид диаметром $0,06 \text{ м}$ и длиной $0,5 \text{ м}$, если напряженность магнитного поля на оси соленоида 40 А/м и по нему течет ток 2 А .

***3.101.** Из какого материала изготовлена обмотка соленоида длиной $l = 0,3$ м, если диаметр соленоида $D = 0,05$ м, напряженность магнитного поля на его оси $H = 15$ А/м и напряжение на концах обмотки $U = 0,9$ В. Диаметр провода $d = 10^{-3}$ м.

3.102. Обмотка длинного соленоида сделана из провода диаметром $2 \cdot 10^{-3}$ м. Витки плотно прилегают друг к другу. При какой силе тока напряженность магнитного поля в соленоиде равна 8000 А/м?

3.103. Определить магнитную проницаемость железа, если магнитное поле в нем имеет напряженность 8000 А/м.

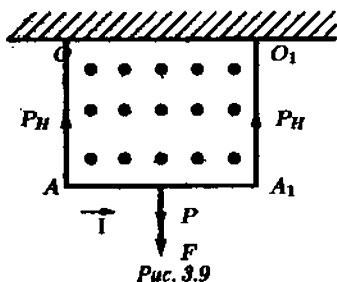
Указание. При решении задач 3.103 и 3.104 следует воспользоваться графиком зависимости магнитной индукции B от напряженности магнитного поля H (см. рис. 7.1 на стр. 123).

3.104. Сколько ампер-витков должен иметь соленоид с железным сердечником длиной $0,5$ м, чтобы магнитная индукция в нем равнялась $1,2$ Т? Соленоид считать бесконечно длинным.

3.105. Определить магнитную индукцию в никелевом сердечнике соленоида, имеющего 10 витков на 1 см длины, если сила тока в соленоиде равна 4 А. Магнитная проницаемость никеля 200 .

3.106. На прямой проводник длиной $0,5$ м, расположенный перпендикулярно магнитному полю с индукцией $2 \cdot 10^{-2}$ Т, действует сила $0,15$ Н. Найти силу тока в проводнике.

***3.107.** Прямой проводник длиной $l = 0,2$ м и весом $P = 5 \cdot 10^{-2}$ Н подвешен горизонтально на двух легких нитях OA и O_1A_1 (рис. 3.9) в однородном магнитном поле, вектор напряженности которого горизонтален и перпендикулярен проводнику. Какой силы ток I нужно пропустить через проводник, чтобы нити разорвались? Напряженность магнитного поля $H = 3,2 \cdot 10^3$ А/м. Каждая нить разрывается при нагрузке $P_n = 3,9 \cdot 10^{-2}$ Н.



3.108. Между полюсами электромагнита создается однородное магнитное поле, индукция которого $0,1$ Т. По проводу, помещенному перпендикулярно полю, течет ток силой 6 А. Найти силу, действующую на провод, если его длина $0,6$ м.

3.109. По прямолинейному проводу длиной $0,05\text{ м}$, помещенному в однородное магнитное поле, индукция которого $1,26\text{ Т}$, идет ток силой 1 А . На провод действует сила $5 \cdot 10^{-2}\text{ Н}$. Определить угол между направлениями поля и тока.

3.110. На проводник с током, помещенный в однородное магнитное поле под углом 17° к силовым линиям, действует сила $3 \cdot 10^{-2}\text{ Н}$. Определить индукцию магнитного поля, если длина проводника 3 м , сила тока 20 А .

3.111. По двум длинным параллельным проводникам текут токи одинаковой силы. Расстояние между проводниками 10 см . Определить силу тока в проводниках, если они взаимодействуют с силой $0,02\text{ Н}$ на каждый метр длины.

3.112. Два параллельных проводника, расстояние между которыми 20 см , взаимодействуют с силой $3 \cdot 10^{-2}\text{ Н}$. Определить силу тока во втором проводнике, если сила тока в первом проводнике 15 А . Длина каждого проводника 6 м .

3.113. По двум параллельным проводникам длиной 1 м текут токи силой 20 и 30 А . Определить расстояние между проводниками, если они взаимодействуют с силой $0,004\text{ Н}$.

3.114. Проводник длиной 1 м расположен перпендикулярно силовым линиям горизонтального магнитного поля напряженностью $6,34\text{ кА/м}$. Какую силу тока нужно пропустить по проводнику, чтобы он оказался взвешенным в магнитном поле? Масса проводника $0,008\text{ кг}$.

3.115. Горизонтальное магнитное поле индукцией 48 Т уравнивает проводник, по которому течет ток 23 А . Угол между направлениями тока и поля равен 60° . Определить длину проводника, если его масса $0,0237\text{ кг}$.

3.116. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 10 кВ , влетает в однородное магнитное поле, перпендикулярное его движению. Индукция поля 3 мТ . Найти радиус кривизны траектории электрона и период обращения его по окружности.

3.117. Протон влетает в однородное магнитное поле со скоростью $2 \cdot 10^7\text{ м/с}$ под углом 45° к направлению поля. Определить индукцию магнитного поля, если на протон действует сила $3,7 \cdot 10^{-14}\text{ Н}$.

3.118. Электрон влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям со скоростью $4 \cdot 10^7\text{ м/с}$. Индукция

магнитного поля 10^{-3} Т . Чему равен радиус кривизны траектории электрона в магнитном поле?

3.119. Поток электронов ускоряется в вакууме электрическим полем с разностью потенциалов 300 В . Определить напряженность магнитного поля, в которое влетел электрон, если сила, действующая на него в магнитном поле, $4 \cdot 10^{-12} \text{ Н}$.

3.120. Электрон движется в магнитном поле, индукция которого 2 мТ , по окружности радиусом $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$. Определить скорость электрона.

3.121. Заряженная частица движется по окружности радиусом 2 см в однородном магнитном поле индукцией $1,26 \cdot 10^{-2} \text{ Т}$. Найти удельный заряд частицы, если ее скорость 10^6 м/с .

§ 3.5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

3.122. Найти разность потенциалов, возникающую между концами оси, при движении со скоростью 15 км/ч , если длина оси 3 м и вертикальная составляющая напряженности магнитного поля Земли 40 А/м .

3.123. В постоянном магнитном поле напряженностью 40 А/м движется проводник длиной 10 м перпендикулярно полю. С какой скоростью перемещается проводник, если на его концах индуцируется э. д. с. 4 мВ ?

*3.124. К концам прямого проводника длиной $l = 0,5 \text{ м}$ и сопротивлением $R = 0,1 \text{ Ом}$ приложено напряжение $U = 1,25 \text{ В}$. Проводник движется в однородном магнитном поле индукцией $B = 1,4 \text{ Т}$ перпендикулярно полю со скоростью $v = 0,5 \text{ м/с}$. Определить полную мощность N , затрачиваемую при передвижении проводника.

3.125. В магнитном поле напряженностью $1,6 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ вращается рамка площадью 100 см^2 , имеющая 100 витков. Ось вращения рамки расположена перпендикулярно полю. Период вращения равен $0,1 \text{ с}$. Определить максимальное значение э. д. с. индукции, возникающей в рамке.

3.126. Замкнутый контур в виде рамки площадью 50 см^2 равномерно вращается в магнитном поле, делая 14 об/с . При этом в контуре индуцируется максимальная э. д. с., равная $8,78 \text{ мВ}$. Определить индукцию магнитного поля, в котором вращается контур. Ось вращения контура перпендикулярна полю.

3.127. Между полюсами электромагнита генератора электрического тока в магнитном поле индукцией $0,6 \text{ Т}$ вращается якорь, состоящий из 100 витков площадью 600 см^2 каждый. Определить максимальную э. д. с. индукции, если якорь делает 10 об/с .

3.128. Катушка, состоящая из 200 витков проволоки, равномерно вращается в однородном магнитном поле индукцией $0,1 \text{ Т}$ вокруг оси, перпендикулярной полю. Площадь поперечного сечения катушки 50 см^2 . Сколько оборотов в секунду делает катушка, если в ней возникает э. д. с. индукции $3,14 \text{ В}$?

3.129. Катушка длиной 30 см и площадью поперечного сечения 10 см^2 имеет 300 витков. Определить силу тока в катушке, если магнитный поток через площадь ее поперечного сечения равен 4 мкВб .

3.130. Стержень длиной 1 м вращается в магнитном поле и при каждом обороте пересекает магнитный поток $0,314 \text{ Вб}$. Ось вращения параллельна силовым линиям и проходит через один из концов стержня. Определить индукцию магнитного поля.

*3.131. Виток, радиус которого $R = 2 \text{ см}$, находится в однородном магнитном поле индукцией $B = 0,1 \text{ Т}$. Плоскость витка перпендикулярна полю. Какую работу нужно совершить, чтобы повернуть виток вокруг его диаметра на 90° , если сила тока в витке $I = 50 \text{ А}$?

3.132. Вычислить коэффициент самоиндукции соленоида длиной 80 см и площадью поперечного сечения 20 см^2 , содержащего 1000 витков.

3.133. Чему равна индуктивность соленоида без сердечника, если при изменении тока на $0,2 \text{ А/с}$ в нем возникает э. д. с. самоиндукции $0,01 \text{ В}$?

3.134. Две катушки расположены на небольшом расстоянии одна от другой. Когда ток в первой катушке равномерно изменяется на 5 А/с , во второй катушке возникает электродвижущая сила индукции $0,01 \text{ В}$. Определить коэффициент взаимной индукции катушек.

*3.135. Две катушки намотаны на один общий сердечник. Индуктивность первой катушки $L_1 = 0,3 \text{ Г}$, индуктивность второй катушки $L_2 = 0,8 \text{ Г}$. Ток I_1 , достигающий значения $0,4 \text{ А}$, выключается в течение времени $\Delta t = 0,0015 \text{ с}$. Определить сопротивление R_2 второй катушки, если при этом по ней течет ток силой $I_2 = 2 \text{ А}$.

3.136. Коэффициент взаимной индукции двух индукционных катушек $0,2 \text{ Г}$. Какой силы ток потечет по вторичной катушке, если в первичной выключить ток $0,4 \text{ А}$ в течение $0,002 \text{ с}$? Сопротивление вторичной катушки 400 Ом .

3.137. Обмотка длинного соленоида с железным сердечником имеет $n_0 = 10$ витков на каждый сантиметр длины. Найти магнитную проницаемость μ железа, если при силе тока $I = 1 \text{ А}$ плотность энергии магнитного поля $\omega_0 = 250 \text{ Дж/м}^3$.

3.138. Соленоид с железным сердечником имеет 200 витков. При силе тока $2,5 \text{ А}$ магнитный поток в железе $6 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$. Найти энергию магнитного поля в железе.

3.139. При индукции магнитного поля 1 Т на каждый кубический сантиметр железа приходится энергия поля $2 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$. Определить магнитную проницаемость железа.

3.140. При токе силой 1 А , проходящем по обмотке соленоида, энергия его магнитного поля 10^{-4} Дж . Определить индуктивность соленоида и число витков, приходящееся на один метр длины. Длина соленоида 1 м , площадь поперечного сечения 2 см^2 .

3.141. Индуктивность соленоида, имеющего 200 витков, равна $0,02 \text{ Г}$. Определить магнитный поток через сечение соленоида, если по нему течет ток силой 2 А .

§ 3.6. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

3.142. Действующая сила тока синусоидальной формы 7 А . Определить максимальную силу тока.

3.143. Максимальная сила тока $4,23 \text{ А}$. Чему равна действующая сила тока?

3.144. Действующее напряжение в цепи переменного тока 240 В . Найти амплитудное напряжение.

3.145. Мастерская подключена к магистральной линии электропередачи. Она потребляет мощность 100 кВт при напряжении 220 В . Сопротивление подводящих проводов $0,01 \text{ Ом}$, сдвиг фаз между током и напряжением составляет 37° . Найти потерю мощности в подводящих проводах.

3.146. Электродогреватель сопротивлением $20,8 \text{ Ом}$ подогревает воду. Сколько воды можно нагреть на 10° С за час, если максимальная сила тока $14,9 \text{ А}$ и к. п. д. установки 70% ?

3.147. Измерительные приборы на щитке у генератора переменного тока показывают ток силой 4 А , напряжение 220 В и мощность 10 кВт . Каков сдвиг фаз между током и напряжением в этой цепи?

3.148. Найти к. п. д. трансформатора, если его первичная обмотка находится под напряжением 220 В при силе тока $0,25\text{ А}$, а вторичная дает напряжение 12 В при силе тока 3 А . Сдвиг фаз между током и напряжением в первичной обмотке трансформатора 45°

3.149. Первичная обмотка понижающего трансформатора питается от сети напряжением 220 В при силе тока $0,275\text{ А}$. Вторичная обмотка дает ток силой $2,5\text{ А}$ при напряжении 12 В . Определить сдвиг фаз между током и напряжением в первичной обмотке трансформатора, если его к. п. д. 70% .

3.150. В цепь переменного тока частотой 50 Гц последовательно включены омическое сопротивление 20 Ом , соленоид индуктивностью 3 Г и конденсатор емкостью 20 мкФ . Определить полное сопротивление цепи.

3.151. При каком напряжении по обмотке дросселя, имеющей омическое сопротивление 40 Ом и индуктивность $0,15\text{ Г}$, пойдет ток силой 2 А , если его частота 50 Гц ?

3.152. Какой емкости надо взять конденсатор, чтобы его емкостное сопротивление было эквивалентно омическому сопротивлению реостата в 500 Ом при частоте тока 50 Гц ?

3.153. Чему равен сдвиг фаз между током и напряжением в катушке индуктивностью $0,06\text{ Г}$ и сопротивлением 10 Ом , если частота тока 50 Гц ?

3.154. Обмотка дросселя имеет омическое сопротивление 35 Ом . При напряжении на обмотке 141 В по ней идет переменный ток силой 3 А . Определить индуктивность дросселя, если частота тока 50 Гц .

3.155. Для обогрева помещения используется нагреватель мощностью $2,2\text{ кВт}$, рассчитанный на напряжение 127 В . Нагреватель включен в сеть переменного тока частотой 50 Гц последовательно с дросселем индуктивностью $0,02\text{ Г}$. Определить полное сопротивление этой цепи.

3.156. В цепи, состоящей из катушки самоиндукции и конденсатора, происходят электрические колебания. Максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора 100 В . При

этом по цепи идет ток силой $0,05 \text{ А}$. Определить емкость конденсатора и индуктивность катушки, если период колебаний $6,28 \cdot 10^{-3} \text{ с}$.

3.157. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 10^{-2} Г и конденсатора емкостью 1 мкФ . Найти период колебаний.

3.158. Какую емкость надо включить в колебательный контур, чтобы при индуктивности 20 мГ получить звуковую частоту 1500 Гц ?

3.159. Катушка индуктивностью 9 мГ присоединена к плоскому конденсатору. Площадь пластин конденсатора 200 см^2 , расстояние между ними 2 см . Каким диэлектриком надо заполнить пространство между пластинами конденсатора, чтобы колебательный контур резонировал на волну длиной 750 м ?

3.160. В сеть переменного тока включены последовательно конденсатор емкостью 5 мкФ и катушка индуктивностью $0,2 \text{ Г}$. Определить частоту переменного тока, при которой наступит электрический резонанс (напряжений).

3.161. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $0,01 \text{ мГ}$ и конденсатора. Конденсатор заряжен количеством электричества $2,5 \text{ мкКл}$. Максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора 100 В . Определить длину волны, на которую будет резонировать контур.

ОПТИКА

§ 4.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

- Закон преломления света:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{12} = \frac{v_1}{v_2},$$

где α — угол падения; β — угол преломления; n_{12} — показатель преломления второй среды относительно первой; v_1 и v_2 — скорости распространения света в первой и второй средах.

- Оптическая сила тонкой линзы, помещенной в однородную среду,

$$D = \frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{a} + \frac{1}{b},$$

где a и b — расстояния от предмета и изображения до линзы; R_1 и R_2 — радиусы кривизны линзы; n — относительный показатель преломления материала линзы; F — фокусное расстояние линзы.

- Увеличение линзы

$$y = \frac{b}{a};$$

увеличение микроскопа

$$N = \frac{Ll}{F_{об}F_{ок}},$$

где L — расстояние наилучшего зрения (25 см); l — расстояние между фокусами объектива и окуляра; $F_{об}$ и $F_{ок}$ — фокусные расстояния объектива и окуляра.

- Световой поток Φ_λ монохроматического излучения определяется произведением мощности этого

излучения W_λ на коэффициент видности V_λ . Световой поток немонахроматического излучения Φ суммируется из всех Φ_λ :

$$\Phi = \sum \Phi_\lambda = \sum W_\lambda V_\lambda.$$

• Сила света измеряется световым потоком, создаваемым точечным источником света в единичном телесном угле:

$$I = \frac{\Phi}{\omega}.$$

• Освещенность характеризуется величиной светового потока, приходящегося на единицу площади:

$$E = \frac{\Phi}{S}.$$

• Точечный источник силой света I создает на площадке, отстоящей от него на расстоянии r , освещенность

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2},$$

где α — угол падения лучей.

• Интенсивность света, прошедшего через слой прозрачного вещества толщиной a , уменьшается по закону Бугера:

$$J = J_0 e^{-ka},$$

где J_0 и J — соответственно интенсивности света, падающего и прошедшего через этот слой; k — коэффициент поглощения вещества.

• Разность хода Δl и разность фаз $\Delta \theta$ двух когерентных световых волн связаны соотношением

$$\Delta \theta = 2\pi \frac{\Delta l}{\lambda},$$

где λ — длина световой волны.

• Условие возникновения интерференционных максимумов:

$$\Delta l = k\lambda, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Условие возникновения интерференционных минимумов:

$$\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

• Расстояние между соседними интерференционными максимумами (или минимумами) в интерференционной картине, создаваемой на экране двумя когерентными источниками света, отстоящими на расстояние d друг от друга,

$$\Delta x = k \frac{\lambda L}{d},$$

где L — расстояние от источников света до экрана.

• При дифракции света на одной щели (падающего нормально на эту щель) направления на дифракционные максимумы и минимумы определяются соотношениями:

$$\begin{aligned} a \sin \varphi &= (2k + 1) \frac{\lambda}{2} && \text{(для максимума),} \\ a \sin \varphi' &= k\lambda && \text{(для минимума),} \end{aligned}$$

где a — ширина щели; λ — длина световой волны; φ, φ' — углы отклонения лучей от нормали (углы дифракции); k — порядковый номер максимума (или минимума).

• Разрешаемое расстояние оптического микроскопа

$$\Delta y = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin u/2},$$

а его разрешающая способность $1/\Delta y$. Здесь λ — длина световой волны; n — показатель преломления среды, находящейся между препаратом и объективом; u — апертурный угол объектива.

• При дифракции света на прозрачной дифракционной решетке направления на дифракционные спектры определяются условием

$$d \sin \varphi = \pm k\lambda,$$

где d — постоянная решетки; λ — длина световой волны; φ — угол дифракции; $k = 0, 1, 2, \dots$ — порядок спектра.

• Положения дифракционных максимумов при дифракции рентгеновских лучей, зеркально отраженных от кристаллической решетки, определяются формулой Вульфа—Бреггов:

$$2d \sin \varphi = k\lambda,$$

где λ — длина волны рентгеновского излучения; d — расстояние между атомными плоскостями кристалла; φ — угол

скольжения (угол между падающим лучом и гранью кристалла); $k = 1, 2, 3$. Формула Вульфа—Бреггов верна и для дифракции электронных лучей (пучков).

• Длина волны λ , соответствующая движущейся частице, определяется формулой де Бройля:

$$\lambda = \frac{h}{mv},$$

где m и v — масса и скорость частицы; $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка.

• Угол падения α_p естественного луча на границу раздела диэлектрических сред, при котором отраженный луч полностью поляризуется, связан с относительным показателем преломления n_{21} этих сред законом Брюстера:

$$\operatorname{tg} \alpha_p = n_{21}.$$

• Интенсивность света J , прошедшего через поляризатор и анализатор, выражается законом Малюса:

$$J = J_0 \cos^2 \alpha,$$

где J_0 — интенсивность света, падающего на анализатор, равная 0,5 интенсивности естественного света; α — угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора.

• Угол θ поворота плоскости колебаний поляризованного света, прошедшего через слой оптически активного вещества толщиной l , выражается соотношениями:

$$\begin{aligned} \theta &= \alpha l C & (\text{для растворов}), \\ \theta &= \alpha^* l & (\text{для кристаллов}), \end{aligned}$$

где α и α^* — удельные вращения соответственно для растворов и кристаллов; C — концентрация раствора (масса оптически активного вещества в единице объема раствора).

• Полные лучеиспускательная E и лучепоглощательная A способности любого тела связаны с полной лучеиспускательной способностью $\mathcal{E}$ абсолютно черного тела (находящегося при той же температуре) законом Кирхгофа:

$$\mathcal{E} = \frac{E}{A}.$$

• Полная лучеиспускательная способность (энергетическая светимость) абсолютно черного тела определяется по закону Стефана—Больцмана:

$$\mathcal{E} = \sigma T^4,$$

где T — температура тела по термодинамической шкале; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$ — постоянная Стефана—Больцмана.

• Длины волны λ_m , на которую приходится максимум излучения абсолютно черного тела (т. е. максимум спектральной плотности энергетической светимости), выражается законом Вина:

$$\lambda_m T = b,$$

где $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ — постоянная Вина.

• Энергия ϵ кванта света (фотона) связана с частотой и длиной волны λ соотношениями:

$$\epsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

где c — скорость света в вакууме; h — постоянная Планка.

• Масса фотона

$$m = \frac{h\nu}{c^2}.$$

• Световое давление

$$p = \frac{W}{c} (1 + \chi),$$

где W — количество лучистой энергии, падающей в единицу времени на единичную площадку, расположенную перпендикулярно лучам; χ — коэффициент отражения площадки (при полном отражении света $\chi = 1$, при полном поглощении $\chi = 0$).

• Изменение длины волны рентгеновского фотона при его столкновении с электроном (эффект Комптона):

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = 2,42 (1 - \cos \theta) \cdot 10^{-3},$$

где λ_0 и λ — длины волн падающего и рассеянного фотона, нм; θ — угол рассеяния, т. е. угол между направлениями движения фотона до и после столкновения с электроном.

• Энергия фотона, вызывающего внешний фотоэффект, связана с максимальной кинетической энергией вылетевшего электрона уравнением Эйнштейна:

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A,$$

где h — постоянная Планка; ν — частота падающего света; m — масса электрона; v — скорость электрона; A — работа выхода электрона из металла.

• Красная граница фотоэффекта, т. е. частота ν_0 (или длина волны λ_0), при которой начинается фотоэффект, определяется из соотношения

$$h\nu_0 = A \quad \text{или} \quad \frac{hc}{\lambda_0} = A.$$

§ 4.2. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА. ФОТОМЕТРИЯ

4.1. Человек высотой 1,5 м, стоящий на берегу озера, видит в небе по направлению, составляющему угол 60° с горизонтом, Луну. На каком расстоянии от себя увидит человек отражение Луны в воде озера?

*4.2. Плоское зеркало поворачивается на угол $\alpha = 27^\circ$. На какой угол повернется отраженный луч?

4.3. Определить показатель преломления и скорость распространения света в веществе, если известно, что при угле падения 45° угол преломления равен 30° .

*4.4. Луч света падает под углом $\alpha = 0^\circ$ на плоскопараллельную пластинку и выходит из нее параллельно первоначальному лучу. Показатель преломления стекла $n = 1,5$. Какова толщина h пластинки, если расстояние между лучами $d = 1,94$ см?

4.5. Найти предельный угол падения при переходе луча света из стекла в воду, если показатель преломления стекла равен 1,5.

4.6. Для определения концентрации белка в сыворотке крови использован рефрактомер. Каким должен быть предельный угол падения, если показатель преломления сыворотки крови 1,34436?

4.7. Концентрацию растворенного вещества определяют с помощью рефрактомера, считая зависимость показателя преломления n от концентрации c линейной (рис. 4.1). Какой

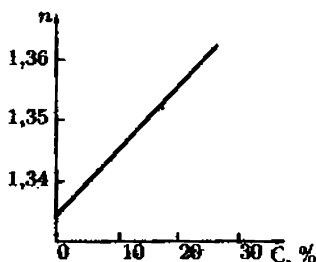


Рис. 4.1

должна быть концентрация сахарного раствора, если предельный угол падения $48^\circ 36'$?

4.8. Луч света выходит из скипидара в воздух. Предельный угол падения $42^\circ 23'$. Определить скорость распространения света в скипидаре.

4.9. Показатель преломления кунжутного масла 1,47. Определить скорость распространения света в нем.

4.10. Вычислить длину волны красного света в стекле, если его длина волны в воздухе $6 \cdot 10^{-5}$ см. Показатель преломления стекла 1,5.

4.11. Определить показатель преломления стекла для фиолетового света, если его длина волны в воздухе $3,97 \cdot 10^{-5}$ см, а в стекле — $2,32 \cdot 10^{-5}$ см.

4.12. Радиусы кривизны двояковыпуклой линзы соответственно равны 45 и 50 см. Показатель преломления материала линзы 1,5. Определить оптическую силу линзы.

4.13. Найти фокусное расстояние линзы, погруженной в воду, если известно, что в воздухе ее оптическая сила 5 дп. Показатель преломления стекла линзы 1,6.

4.14. Какое увеличение дает линза, показатель преломления которой 1,6 и радиусы кривизны 50 см, если предмет находится на расстоянии 50 см от нее?

4.15. Фокусное расстояние объектива микроскопа 0,1 см, фокусное расстояние окуляра 3 см. Расстояние между фокусами объектива и окуляра 20 см. Определить увеличение микроскопа.

4.16. Определить оптическую силу окуляра микроскопа, если фокусное расстояние объектива 2 мм, расстояние между фокусами объектива и окуляра 18 см. Микроскоп обладает 56-кратным увеличением.

4.17. Определить величину изображения среза мышечного волокна диаметром $9 \cdot 10^{-4}$ см, рассматриваемого под микроскопом с фокусными расстояниями окуляра и объектива, соответственно равными 14 и 0,2 см. Расстояние между фокусами объектива и окуляра 20 см.

4.18. Оптимальное значение освещенности, необходимое для укоренения черенков черной смородины 800 лк. На какой высоте помещен источник света силой 200 кд? Считать, что свет падает перпендикулярно к поверхности грядки.

4.19. Лампы дневного освещения подвешены в теплицах на высоте 0,6 м. Норма освещенности для выращивания рассады огурца 400 лк. Определить силу света ламп, если свет падает нормально к поверхности почвы.

4.20. В полдень во время осеннего и весеннего равноденствий Солнце стоит на экваторе в зените. Во сколько раз освещенность поверхности Земли на экваторе больше, чем в Санкт-Петербурге? Широта Санкт-Петербурга 60°

4.21. Светильник имеет форму шара диаметром 20 см. Полный световой поток, равномерно испускаемый шаром во все стороны, равен 2512 лм. Найти силу света, исходящего от этого шара.

4.22. Лампочка, потребляющая мощность 100 Вт, дает на расстоянии 2 м при нормальном падении лучей освещенность 25 лк. Сколько ватт на канделу потребляет лампочка?

4.23. Вычислить дневной расход электроэнергии в теплице, освещаемой лампами с удельной мощностью 1 Вт/кд , если продолжительность светового дня для растений 12 ч, а освещенность 250 лк. Над каждым квадратным метром грядки расположено 2 лампы, площадь теплицы 10 м^2 . Считать, что данная освещенность создается за счет 40% полного светового потока ламп.

***4.24.** Две лампы, силы света которых $I_1 = 25 \text{ кд}$ и $I_2 = 8 \text{ кд}$, находятся на расстоянии $l = 1,8 \text{ м}$ друг от друга. На каком расстоянии от первой лампы (по линии, проходящей через лампы) надо поместить лист бумаги, чтобы освещенность его со стороны первой лампы была бы вдвое больше, чем со стороны второй?

4.25. Электрическая лампа силой света 175 кд потребляет $0,4 \text{ Вт}$ на одну канделу. Найти световой коэффициент полезного действия лампы, если механический эквивалент света $1,65 \text{ мВт/лм}$.

4.26. На каком расстоянии друг от друга необходимо подвешивать лампы в теплицах, чтобы освещенность на поверхности земли в точке, лежащей посередине между двумя лампами, была бы не менее 200 лк? Высота теплицы 2 м. Сила света каждой лампы 800 кд. Произвести расчет для двух ламп.

4.27. Лампа создает световой поток 320 лм. Причем 36% этого потока направлено на поверхность 7 м^2 . Вычислить среднюю освещенность поверхности.

4.28. При выращивании рассады ранней капусты выбирается площадка квадратной формы со стороной $1,3 \text{ м}$. Лампа силой света 400 кд подвешена над центром площадки на высоте $2,2 \text{ м}$. Определить максимальную и минимальную освещенности площадки.

4.29. Интенсивность света, прошедшего через слой воздуха толщиной 1 км , уменьшилась в $2,7$ раза. Определить коэффициент поглощения воздуха.

4.30. Толщина стекла в теплице 2 мм . Коэффициент поглощения стекла (для инфракрасной области спектра с максимумом, приходящимся на длину волны $1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}$) $0,62 \text{ см}^{-1}$. Какая доля энергии достигает растений? Поглощение в атмосфере не учитывать.

§ 4.3. ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА И МИКРОЧАСТИЦ

4.31. Разность хода интерферирующих волн (лучей) от двух когерентных источников света равна $0,2$ длины волны. Определить разность фаз этих волн.

4.32. Экран освещается двумя когерентными источниками света, находящимися на расстоянии 1 мм друг от друга. Расстояние от плоскости источников света до экрана 3 м , длина волны используемого света 400 нм . Определить расстояние первого и второго интерференционных максимумов от центрального максимума.

4.33. Каждый интерференционный максимум, создаваемый на экране двумя когерентными источниками белого света, является многоцветным с красным ($\lambda = 0,7 \text{ мкм}$) наружным и фиолетовым ($\lambda = 0,4 \text{ мкм}$) внутренним краями. Какова ширина первого максимума, если расстояние между источниками света 4 мм , а их расстояние до экрана 4 м ?

4.34. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света $0,5 \text{ мм}$, расстояние от изображения до экрана 5 м . Найти расстояние между соседними интерференционными максимумами, если длина волны используемого света $0,5 \text{ мкм}$.

4.35. Разность хода двух когерентных лучей $2,5 \text{ мкм}$. Определить длины волн видимого света (от 760 нм до 400 нм), которые дадут интерференционные максимумы.

***4.36.** На мыльную пленку одинаковой толщины (показатель преломления $n = 1,33$) падает белый свет под углом $\alpha = 45^\circ$. При какой наименьшей толщине h пленки отраженный от нее свет будет зеленым ($\lambda = 550 \text{ нм}$)?

***4.37.** Пучок параллельных лучей, соответствующих длине волны $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$, падает на мыльную пленку под углом $\alpha = 45^\circ$. Показатель преломления мыльной воды $n = 1,33$. При какой наименьшей толщине пленки отраженный от нее свет будет максимально ослаблен?

4.38. Параллельный пучок монохроматического света ($\lambda = 0,55 \text{ мкм}$) падает нормально на тонкую пленку, нанесенную на толстую стеклянную пластинку. Показатели преломления пленки и пластинки соответственно равны 1,46 и 1,54. Определить наименьшую толщину пленки, обеспечивающую максимальное ослабление отраженного света.

4.39. На щель шириной $0,1 \text{ мм}$ нормально падает монохроматический свет, соответствующий длине волны $0,7 \text{ мкм}$. Определить угол отклонения лучей, дающих первый дифракционный максимум.

4.40. Пучок монохроматического света длиной волны $0,76 \text{ мкм}$ падает нормально на узкую щель, давая первый дифракционный минимум под углом $14^\circ 30'$. Определить ширину щели.

4.41. Найти наименьший (разрешаемый) размер объектов, доступный рассмотрению (изучению) под микроскопом (без иммерсионной жидкости), если препарат освещается: а) красным светом ($\lambda = 760 \text{ нм}$); б) фиолетовым светом ($\lambda = 400 \text{ нм}$). Какова разрешающая способность микроскопа для этих длин волн? Апертурный угол объектива 160° .

4.42. При исследовании срезов растительных волокон используют биологический микроскоп (без иммерсионной жидкости). Препарат освещают монохроматическим светом длиной волны $0,5 \text{ мкм}$. Какой должна быть числовая апертура объектива, если диаметр волокон составляет примерно 40 мкм ?

4.43. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет длиной волны $0,59 \text{ мкм}$. Под какими углами к оси коллиматора будут видны дифракционные максимумы первого и второго порядков, если решетка имеет 500 штрихов на сантиметр?

4.44. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет длиной волны 600 нм . Решетка имеет 200 штрихов на миллиметр. Определить число дифракционных максимумов, возникающих в этом случае.

4.45. На дифракционную решетку, имеющую 500 штрихов на сантиметр, нормально падает параллельный пучок белого света. Определить разность углов отклонения начала спектра второго порядка и конца спектра первого порядка, полагая длины волн, соответствующие красному и фиолетовому цветам, равными $0,76 \text{ мкм}$ и $0,4 \text{ мкм}$.

4.46. Сколько штрихов на сантиметр имеет дифракционная решетка, если спектр четвертого порядка, даваемый ею при нормальном падении света с длиной волны $0,65 \text{ мкм}$, наблюдается под углом 6° ?

4.47. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический пучок света ($\lambda = 0,59 \text{ мкм}$), причем спектр третьего порядка наблюдается под углом $10^\circ 12'$. При какой длине световой волны дифракционный спектр первого порядка будет наблюдаться под углом $2^\circ 48'$?

4.48. Свет от разрядной трубки, наполненной водородом, нормально падает на дифракционную решетку, имеющую 200 штрихов на миллиметр. Под каким наименьшим углом к первоначальному направлению световых лучей надо установить зрительную трубу гониометра, чтобы в поле зрения совместились линии, соответствующие длинам волн 656 нм и 410 нм ?

*4.49. Пучок белого света с длинами волн в интервале от $0,4$ до $0,76 \text{ мкм}$ падает нормально на дифракционную решетку. При этом в спектре третьего порядка ($k = 3$) под углом φ наблюдается линия, соответствующая длине волны $\lambda = 0,48 \text{ мкм}$. Будут ли видны под этим же углом еще какие-нибудь спектральные линии?

4.50. Параллельный пучок рентгеновских лучей, которым соответствует длина волны $0,15 \text{ нм}$, падает на грань кристалла каменной соли. Определить расстояние между атомными плоскостями кристалла, если дифракционный максимум второго порядка наблюдается при угле скольжения падающих лучей, равном 30° .

4.51. Определить длину волны де Бройля для: 1) электрона, летящего со скоростью 10^6 м/с ; 2) протона, летящего

со скоростью 500 м/с ; 3) шара массой 1 г , движущегося со скоростью 10 м/с .

***4.52.** Определить скорость движения электрона, у которого длина волны де Бройля такая же, как у нейтрона, движущегося со скоростью, равной средней квадратичной скорости нейтронов при температуре 0°C .

4.53. Падающий на алюминиевую пластинку электронный луч создает при отражении дифракционный максимум второго порядка, соответствующий углу скольжения $84^\circ 48'$. Определить скорость электронов в луче, если расстояние между атомными плоскостями кристаллической решетки алюминия $0,4 \text{ нм}$.

4.54. Солнечные лучи, отраженные поверхностью реки, оказались полностью поляризованными. Под каким углом к горизонту находилось Солнце? Чему равен угол преломления лучей?

4.55. Определить скорость света в алмазе, если угол полной поляризации при отражении света от поверхности алмаза $67^\circ 30'$.

4.56. Естественный свет полностью поляризуют, пропуская через поляризатор. Во сколько раз уменьшится при этом его интенсивность? Поглощением и отражением света от поляризатора пренебречь.

***4.57.** Интенсивность света после прохождения через поляризатор и анализатор уменьшилась в четыре раза. Найти угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если на поляризатор падал естественный свет. Поглощением света пренебречь.

4.58. Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, главные плоскости которых составляют между собой угол 60° . Во сколько раз уменьшится интенсивность прошедшего света, если и поляризатор и анализатор поглощают и отражают каждый по 10% падающего на них света?

4.59. Интенсивность света, прошедшего через анализатор, составляет 9% от интенсивности естественного света, падающего на поляризатор. Найти угол между главными плоскостями этих николей, если потеря на поглощение и отражение света в каждом никеле 8% (от падающего на них света).

4.60. Луч желтого света ($\lambda = 0,589 \text{ мкм}$) падает на пластинку исландского шпата перпендикулярно его оптической оси.

Показатели преломления этого кристалла для обыкновенного и необыкновенного лучей равны соответственно 1,658 и 1,486. Определить длины волн в исландском шпате для обыкновенного и необыкновенного лучей.

4.61. Концентрация водного раствора сахара определялась сахариметром (поляриметром). Чему равна эта концентрация, если для восстановления первоначальной (без трубки с раствором) освещенности поля зрения анализатор сахариметра пришлось повернуть на угол 20° ? Длина трубки с раствором 1,5 дм; удельное вращение раствора сахара $1,14 \cdot 10^{-2} \text{ рад} \cdot \text{м}^2/\text{кг}$.

4.62. Определить удельное вращение сахарозы в соке сахарного тростника, если угол поворота плоскости колебаний поляризованного света составил 17° при длине трубки с раствором, равной 10 см. Концентрация раствора $0,25 \text{ г/см}^3$.

4.63. Найти толщину кварцевой пластинки, поворачивающей плоскость колебаний поляризованного света на 180° , если удельное вращение кварца 572 рад/м .

4.64. Зеленый свет был максимально ослаблен при прохождении через два скрещенных николя. Какой толщины пластинку из кварца надо поместить между николями, чтобы поле зрения стало максимально светлым, если удельное вращение кварца для зеленого света равно 463 рад/м ?

§ 4.4. КВАНТОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА

4.65. Лучепоглощательные способности участков луга и парового (вспаханного) поля равны соответственно 0,6 и 0,8. Какой участок обладает большей лучеиспускательной способностью и во сколько раз? Температуры участков одинаковы.

4.66. Для повышения температуры верхнего слоя почвы применили мульчирование угольным порошком (т. е. этим порошком покрыли поверхность почвы), в результате чего установилась температура, равная 27°C . Определить лучеиспускательную способность угольной мульчи, если ее лучепоглощательная способность при данной температуре 0,88.

4.67. В результате мульчирования молотым мелом поверхность почвы приняла температуру 17°C . Определить лучепоглощательную способность мульчи, если ее лучеиспускательная способность при данной температуре $64 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$.

4.68. Смотровое окно плавильной печи имеет площадь 6 см^2 . Какое количество лучистой энергии уйдет из печи через это окно за 1 мин, если температура печи 1000 К ?

4.69. Определить температуру, при которой полная лучеиспускательная способность абсолютно черного тела составляет 10^4 Вт/м^2

*4.70. Абсолютно черное тело изготовлено в виде полости с малым отверстием радиусом $r = 5 \text{ мм}$. Полость нагревают изнутри током, проходящим по вольфрамовой спирали. Этот нагреватель потребляет мощность $N = 100 \text{ Вт}$, 10% которой рассеивается в окружающую среду через стенки полости. Найти температуру T , установившуюся внутри полости.

4.71. Считая Солнце абсолютно черным телом, определить, сколько энергии оно излучает за 1 с. Температура солнечной поверхности 6000 К , радиус Солнца $6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$.

4.72. На какую длину волны приходится максимум излучения абсолютно черного тела, имеющего температуру человеческого тела (37° С).

4.73. Длина волны, соответствующая максимуму излучения, равна для Солнца $0,47 \text{ мкм}$, для Полярной звезды $0,35 \text{ мкм}$ и для Сириуса $0,29 \text{ мкм}$. Определить температуры поверхностей этих звезд.

4.74. В инкубаторе экспериментальную партию куриных яиц подвергли воздействию инфракрасного излучения, используя специальный рефлектор. Температура нагревательного элемента рефлектора 690 К . На какую длину волны приходится максимум его излучения?

4.75. При охлаждении абсолютно черного тела длина волны, соответствующая максимуму его излучения, увеличилась от $0,4$ до $0,7 \text{ мкм}$. Во сколько раз уменьшилась при этом полная лучеиспускательная способность тела?

4.76. Определить полную лучеиспускательную способность Земли и длину волны, соответствующую максимуму ее излучения. Считать Землю абсолютно черным телом с температурой поверхности 7° С .

*4.77. Количество лучистой энергии, ежесекундно посылаемой Солнцем через площадку $S = 1 \text{ м}^2$, расположенную перпендикулярно солнечным лучам на верхней границе земной атмосферы, называется солнечной постоянной W_0 . Определить

величину солнечной постоянной, считая Солнце абсолютно черным телом с температурой поверхности $T = 5800\text{ К}$. Радиус Солнца $r = 6,95 \cdot 10^8\text{ м}$, расстояние от Солнца до Земли $R = 1,5 \cdot 10^{11}\text{ м}$.

4.78. Определить энергию, массу и импульс фотона, соответствующего: а) видимому свету ($\lambda_1 = 0,6\text{ мкм}$); б) рентгеновскому излучению ($\lambda_2 = 0,1\text{ нм}$); в) γ -излучению ($\lambda_3 = 0,001\text{ нм}$).

4.79. Монохроматический свет нормально падает на дифракционную решетку с постоянной, равной 3 мкм . Углы дифракции, под которыми наблюдаются два соседних максимума в поле зрения трубы гониометра, $23^\circ 30'$ и $36^\circ 50'$. Определить энергию фотонов данного света.

4.80. На ядра животных и растительных клеток можно воздействовать ультрафиолетовым излучением длиной волны около 254 нм , так как оно не поглощается цитоплазмой клетки. Определить частоту и энергию фотонов этого излучения.

4.81. Количество движения электрона, имеющего скорость 1400 м/с , равно количеству движения фотона. Какой длине волны соответствует этот фотон?

*4.82. На животноводческой ферме для дезинфекции воздуха в помещении молодняка провели ультрафиолетовое облучение посредством ртутно-кварцевой лампы. Интенсивность облучения $J = 6\text{ Вт/м}^2$, длина волны $\lambda = 254\text{ нм}$. Подсчитать число n фотонов, пролетающих через площадку (перпендикулярную лучам) 1 м^2 за 1 с .

4.83. Интенсивность монохроматического излучения, соответствующая плотности потока 10^{14} фотонов за 1 с через площадку 1 м^2 (перпендикулярную направлению потока), равна $3 \cdot 10^{-2}\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$. Определить частоту этого излучения.

4.84. Человеческий глаз наиболее чувствителен к зеленому свету ($\lambda = 0,55\text{ мкм}$), для которого порог чувствительности глаза соответствует 80 фотонам, падающим на сетчатку за 1 с . Какой мощности света соответствует этот порог?

4.85. Мощность, рассеиваемая в виде излучения во всех направлениях лампочкой карманного фонарика, равна 1 Вт ; средняя длина волны излучения 1 мкм . Сколько фотонов проходит за 1 с через площадку 1 см^2 , расположенную на расстоянии 10 км от лампочки перпендикулярно лучам?

4.86. На поверхность, площадь которой $0,01 \text{ м}^2$, ежеминутно падает 63 Дж световой энергии (в направлении, перпендикулярном поверхности). Вычислить световое давление на эту поверхность, если она: а) полностью отражает свет; б) полностью поглощает свет.

***4.87.** В классических опытах П. Н. Лебедева по определению светового давления свет направлялся на один из легких кружков (A или B) чувствительных крутильных весов (рис. 4.2). Центры кружков расположены на расстоянии $r = 0,9 \text{ см}$ от оси весов. Определить угол α поворота зеркальца C , если световая энергия, падавшая за время $t = 1 \text{ мин}$ на зачерненный кружок, $W = 8,4 \text{ Дж}$. Считать, что зачерненный кружок полностью поглощает свет. Коэффициент момента кручения нити $m = 5 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}/\text{рад}$.

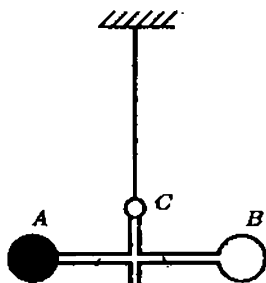


Рис. 4.2

4.88. Определить давление солнечного света на зачерненную пластинку, расположенную перпендикулярно солнечным лучам на верхней границе земной атмосферы. Солнечная постоянная $1,4 \text{ кВт}/\text{м}^2$, коэффициент отражения пластинки 8% .

4.89. У электролампы-рефлектора посеребренная часть стеклянного баллона представляет собой сферическое зеркало, полностью отражающее падающий на него свет. Лампа потребляет мощность 50 Вт , 90% которой идет на излучение. Радиус баллона 4 см . Чему равно световое давление на посеребренную часть баллона?

4.90. Определить угол рассеяния фотона, испытавшего соударение со свободным электроном (эффект Комптона), если изменение длины волны фотона при рассеянии $3,62 \cdot 10^{-3} \text{ нм}$.

***4.91.** В результате комптоновского рассеяния энергия ϵ_0 падающего фотона распределилась поровну между рассеянным фотоном и электроном отдачи. Угол рассеяния $\theta = 90^\circ$. Определить энергию ϵ и импульс p рассеянного фотона.

4.92. Рентгеновский фотон, характеризуемый частотой $1,5 \cdot 10^{18} \text{ Гц}$, при комптоновском столкновении с электроном потерял 10% своей энергии. Определить энергию и длину волны падающего и рассеянного фотонов.

4.93. У некоторого металла фотоэффект начинается при частоте используемого света $5,8 \cdot 10^{14}$ Гц. Определить работу выхода электрона из этого металла в электронвольтах.

4.94. На поверхность серебряной пластинки падают ультрафиолетовые лучи ($\lambda = 0,3 \text{ мкм}$). Работа выхода электронов из серебра $4,7 \text{ эВ}$. Будет ли иметь место фотоэффект?

4.95. Определить красную границу фотоэффекта для платины и цезия.

4.96. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла 275 нм . Найти: а) работу выхода электрона из этого металла; б) максимальную скорость электронов, вырываемых из металла светом длиной волны 180 нм ; в) максимальную кинетическую энергию вырываемых электронов.

4.97. Определить длину волны света, который, будучи направлен на поверхность никеля, обеспечит фотоэлектронам скорость $3 \cdot 10^8 \text{ см/с}$.

***4.98.** Квант света длиной волны $\lambda = 232 \text{ нм}$ вырывает с поверхности платины электрон. Определить суммарный импульс p , сообщаемый при этом платине, если электрон вылетает навстречу падающему фотону.

4.99. При фотоэффекте с поверхности платины величина задерживающего потенциала (т. е. потенциала, возвращающего фотоэлектроны обратно к металлу) оказалась равной $0,8 \text{ В}$. Вычислить длину волны используемого света.

***4.100.** Цинковую пластинку освещают ультрафиолетовым светом длиной волны $\lambda = 30 \text{ нм}$. Определить, на какое максимальное расстояние s от пластинки может удалиться фотоэлектрон, если вне пластинки имеется задерживающее однородное электрическое поле напряженностью $E = 10 \text{ В/см}$.

ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА

§ 5.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

- Момент количества движения (импульса) электрона в атоме на стационарной орбите

$$mvr = \frac{nh}{2\pi},$$

где m — масса электрона; v — его линейная скорость; r — радиус орбиты; n — главное квантовое число; h — постоянная Планка.

- Радиус стационарной орбиты атома водорода

$$r = \frac{n^2 \epsilon_0 h^2}{\pi m e^2},$$

где e — заряд электрона; ϵ_0 — электрическая постоянная.

- Кинетическая, потенциальная и полная энергии электрона на орбите соответственно равны

$$W_k = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} = \frac{1}{n^2} \frac{e^4 m}{8\epsilon_0^2 h^2}, \quad W_n = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} = -\frac{1}{n^2} \frac{e^4 m}{4\epsilon_0^2 h^2},$$

$$W = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} = -\frac{1}{n^2} \frac{e^4 m}{8\epsilon_0^2 h^2}.$$

- Частота излучения атома водорода

$$\nu = R \left(\frac{1}{n_0^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где $R = 3,28985 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$ — постоянная Ридберга; n_0 — номер орбиты, на которую переходит электрон; n — номер орбиты, с которой переходит электрон.

- Частота излучения водородоподобного атома (иона)

$$\nu = RZ^2 \left(\frac{1}{n_0^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где Z — атомный номер элемента.

- Коротковолновая граница сплошного рентгеновского спектра определяется соотношением

$$h\nu_0 = eU,$$

где ν_0 — частота, соответствующая коротковолновой границе; U — разность потенциалов, приложенная к рентгеновской трубке.

- Частота характеристического рентгеновского излучения

$$\nu = R(Z - b)^2 \left(\frac{1}{n_0^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где Z — порядковый номер элемента, из которого сделан антикатод; b — постоянная экранирования.

- Закон Мозли:

$$\sqrt{\nu} = aZ - b,$$

где $a = \sqrt{R(1/n_0^2 - 1/n^2)}$; b — постоянная экранирования.

- Закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где N_0 — число атомов в начальный момент времени; N — число атомов, оставшихся по истечении времени t ; λ — постоянная распада.

- Период полураспада T связан с постоянной распада соотношением:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

- Среднее время жизни атома радиоактивного вещества

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ln 2} = 1,44T.$$

- Активность элемента

$$a = \frac{N \ln 2}{T},$$

где N — число атомов элемента.

- Дефект массы атомного ядра

$$\Delta m = m_p Z + m_n (A - Z) - m_{\text{я}},$$

где m_p — масса протона; m_n — масса нейтрона; $m_{\text{я}}$ — масса ядра; A — массовое число; Z — порядковый номер элемента.

- Энергия связи ядра $\mathcal{E} = \Delta m c^2$,

где c — скорость света.

- Энергия связи, выраженная в мегаэлектронвольтах:

$$\mathcal{E} = 931 (m_p Z + m_n (A - Z) - m_{\text{я}}).$$

- Удельная энергия связи $\varepsilon = \frac{\mathcal{E}}{A}$.

• Количество ядерной энергии $\Delta \mathcal{E}$, связанное с каждым прореагировавшим ядром, равно разности между энергией связи $\mathcal{E}_2$ продукта реакции и энергией связи исходного ядерного материала $\mathcal{E}_1$

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1,$$

или

$$\Delta \mathcal{E} = 931 (m_2 - m_1),$$

где m_1 и m_2 — массы атомов исходного материала и конечного продукта реакции. При $\Delta \mathcal{E} > 0$ ядерная энергия выделяется, при $\Delta \mathcal{E} < 0$ ядерная энергия поглощается.

§ 5.2. СТРОЕНИЕ АТОМА

5.1. При переходе электрона внутри атома с более высокого энергетического уровня на более низкий излучается квант света с энергией 1,98 эВ. Определить длину волны излучения.

5.2. Определить энергию кванта излучения, соответствующего длине волны 550 нм.

5.3. Сколько квантов содержится в излучении, энергия которого 2 мкДж? Длина волны этого излучения 600 нм.

5.4. Вычислить момент количества движения электрона на второй стационарной орбите атома водорода.

5.5. Вычислить радиус третьей стационарной орбиты атома водорода.

*5.6. Вычислить угловую скорость ω и период обращения T электрона на второй стационарной орбите атома водорода.

5.7. Определить кинетическую, потенциальную и полную энергии электрона на второй стационарной орбите атома водорода.

5.8. На сколько полная энергия электрона на второй стационарной орбите атома водорода больше, чем на первой (по абсолютному значению)?

5.9. Электрон атома водорода переходит со второй орбиты на первую. Вычислить частоту и энергию излучения.

5.10. Определить массу и импульс фотона, соответствующего переходу электрона с третьей орбиты на вторую.

5.11. Электрон атома водорода переходит с четвертого энергетического уровня на второй. Найти длину волны излучения.

5.12. Какую энергию получил невозбужденный атом водорода, если его электрон перешел с первого энергетического уровня на третий?

5.13. Во сколько раз энергия фотона, соответствующего пятой линии серии Лаймана, больше энергии фотона, соответствующего пятой серии Бальмера?

5.14. Вычислить суммарную энергию четырех фотонов, соответствующих четырем линиям видимой части спектральной серии Бальмера.

5.15. Определить частотные границы видимого спектра водорода (соответствующие длинам волн 400 нм и 750 нм).

5.16. Определить частотный интервал между первой линией серии Лаймана и коротковолновой границей серии Бальмера.

5.17. Определить интервал длин волн между коротковолновой границей серии Пашена и первой линией серии Бальмера.

5.18. Определить частоту и энергию кванта, соответствующего коротковолновой границе серии Лаймана.

5.19. Ион бериллия (Be^{+++}) излучает квант энергии в результате перехода электрона с четвертой орбиты на вторую. Определить длину волны излучения. Попадает ли соответствующая линия в видимую часть спектра?

5.20. Возбужденный атом гелия (He^+) испускает световой квант при переходе электрона с четвертой орбиты на вторую. Какому переходу электрона в атоме водорода это соответствует?

5.21. Вычислить импульс и определить массу фотона, излучаемого при переходе электрона в ионе гелия (He^+) с шестой орбиты на первую.

5.22. Вычислить частоту и энергию, соответствующие коротковолновой границе серии Бальмера.

5.23. Определить частоту и энергию, соответствующие коротковолновой границе серии линий в спектре ионизированного гелия (He^+), образованных переходами электронов на первую стационарную орбиту.

5.24. Какую энергию получил невозбужденный ион бериллия (Be^{+++}), если его электрон перешел с первого энергетического уровня на третий?

5.25. Определить коротковолновую границу сплошного рентгеновского спектра, если к рентгеновской трубке приложена разность потенциалов 30 000 В.

5.26. Какая разность потенциалов приложена к рентгеновской трубке, если длина волны, соответствующая коротковолновой границе сплошного рентгеновского спектра, в 100 раз короче длины волны, соответствующей коротковолновой границе серии Лаймана?

5.27. На сколько надо уменьшить напряжение U , приложенное к рентгеновской трубке, чтобы коротковолновая граница сплошного спектра увеличилась вдвое?

5.28. Энергия, соответствующая одной из линий спектра гамма-излучения ^{60}Co , равна 1,17 МэВ. Какое напряжение надо приложить к рентгеновской трубке, чтобы получить рентгеновы лучи такой энергии?

5.29. Электрон переходит в атоме молибдена с M -слоя на L -слой. Определить длину волны и энергию рентгеновского излучения. Постоянная экранирования равна 5,6.

5.30. Электрон переходит в атоме циркония с M -слоя на K -слой. Определить длину волны и энергию рентгеновского излучения. Постоянная экранирования равна 1.

5.31. Длина волны, соответствующей K_α линии рентгеновского излучения, $7,5 \cdot 10^{-2}$ нм. Определить элемент, из которого сделан антикатод. Постоянная экранирования равна 1.

5.32. К рентгеновской трубке с серебряным антикатодом приложено напряжение, достаточное для возбуждения всей K серии. Определить суммарную энергию двух квантов, соответствующих α - и β -линиям этой серии. Постоянная экранирования равна 1.

§ 5.3. АТОМНОЕ ЯДРО И ВНУТРИЯДЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ

5.33. Определить, сколько протонов и нейтронов содержится в ядре атома калия. Сколько электронов находится по электронной оболочке калия и как они расположены по орбитам?

5.34. На сколько в ядре атома ^{238}U больше нейтронов, чем протонов?

5.35. Сколько атомов ^{210}Po распадается за сутки, если первоначальное количество полония 10^{-6} кг?

5.36. Определить количество ^{32}P , активность которого равна 1 мкКи .

5.37. Кинетическая энергия α -частицы, испускаемой ^{222}Rn , $5,5 \text{ МэВ}$. Определить ее скорость.

5.38. Широко применяемый в агrobiологических и зоотехнических исследованиях радиоактивный фосфор ^{32}P имеет период полураспада $14,3$ суток. Определить постоянную распада λ этого изотопа, среднее время жизни τ его атома и активность a 1 мг радиофосфора.

5.39. Применяемый для подавления весеннего прорастания пищевого картофеля и других овощей радиоактивный ^{60}Co имеет период полураспада $5,3$ года. В овощехранилище заложено количество ^{60}Co , имеющего активность 10 Ки . Определить активность кобальта через два года.

5.40. В сосуды, содержащие по 8 кг земли для проведения агrobiологического эксперимента, внесен радиоактивный фосфор ^{32}P из расчета $0,3 \text{ мкКи}$ на 1 кг массы почвы. Определить активность радиофосфора в каждом сосуде к концу опыта, т. е. через 43 суток.

5.41. Кролику массой 5 кг ввели с пищей радиоактивный ^{24}Na из расчета $0,02 \text{ мкКи}$ на 1 кг массы животного. Определить активность радиоактивного натрия в теле кролика через сутки. Естественное выведение натрия из организма принять равным 50% за сутки.

5.42. Радиоактивный йод ^{131}I , вводимый при биологическом эксперименте в организм ягненка, концентрируется почти полностью в его щитовидной железе. Допустимое количество ^{131}I имеет активность 10^{-3} мкКи на 1 г массы железы. Какую массу ^{131}I можно ввести ягненку, масса щитовидной железы которого 5 г ?

5.43. Сколько распадов в секунду регистрирует счетчик Гейгера—Мюллера, приложенный к телу ягненка в области щитовидной железы (см. задачу 5.42), если считать, что счетчик регистрирует 50% вылетающих β -частиц и не регистрирует γ -излучение ^{131}I ?

5.44. Для уничтожения вредителей зерна в зернохранилище использован ^{60}Co в виде проволоки массой 1 г. Содержание радиоактивного кобальта в проволоке составляет 0,01% от массы проволоки. Определить активность радиоактивного кобальта.

5.45. Для повышения урожайности семена пшеницы были намочены в растворе азотнокислого натрия, в котором натрий был радиоактивным изотопом ^{24}Na . Общая активность раствора, впитанного зерном, была 1,6 мКи. Во сколько раз уменьшилась активность зерна через трое суток после предпосевной обработки?

5.46. После проведения эксперимента с применением радиоактивного вещества навеска почвы давала на счетчике Гейгера—Мюллера 128 импульсов в секунду. Через четверо суток такая же навеска почвы давала 90 импульсов в секунду. Каков период полураспада радиоизотопа, внесенного в почву?

5.47. При изучении скорости движения питательных веществ в растениях в качестве радиоактивного индикатора был взят радиоактивный фосфор ^{32}P . Лист растения, имеющий площадь 12 см², давал на торцовом счетчике Гейгера—Мюллера, приложенном вплотную к листу, 36 импульсов в секунду. Считая, что 50% излучения регистрируется счетчиком, определить количество ^{32}P в листе. Площадь окошка счетчика 3 см.

5.48. Построить график радиоактивного распада (т. е. зависимости числа N атомов радиоактивного вещества от времени t), пригодный для графического определения оставшегося в данный момент времени количества любого радиоактивного вещества, применяемого в сельскохозяйственной науке и практике.

Указание. В качестве масштаба взять период полураспада.

5.49. В центре изолированного металлического шара с радиусом 10 см находится источник β -излучения, имеющий активность 1 мКи. До какого потенциала зарядится шар через 10 с, если все β -излучение поглощается шаром?

5.50. В ядерном реакторе происходит превращение ^{235}U в ^{239}Pu . Определить мощность реактора исходя из того, что в нем

расходуется $3,9 \cdot 10^{-4}$ кг ^{235}U в сутки и что при каждом делении ^{235}U образуется 1 атом ^{239}Pu и выделяется 170 МэВ энергии.

5.51. Определить дефект массы и энергию связи ядра дейтерия.

5.52. Вычислить дефект массы и энергию связи ядра изотопа ^3He .

5.53. Вычислить дефект массы, полную и удельную энергии связи ядра изотопа кислорода $^{16}_8\text{O}$.

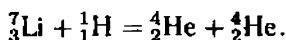
5.54. Вычислить дефект массы, полную и удельную энергии связи ядра изотопа кальция $^{40}_{20}\text{Ca}$.

5.55. Вычислить дефект массы, полную и удельную энергии связи ядра изотопа ртути $^{200}_{80}\text{Hg}$.

5.56. Определить величину энергии связи одного килограмм-атома гелия ^4_2He .

5.57. Энергия связи ядра лития ^6_3Li равна 31,8 МэВ. Определить дефект массы при образовании ядра лития.

5.58. Ядерная реакция протекает по уравнению:



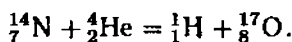
Выделяется или поглощается при этом энергия и в каком количестве?

5.59. Ядерная реакция протекает по уравнению



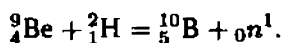
Выделяется или поглощается при этом энергия, и в каком количестве?

5.60. Ядерная реакция протекает по уравнению



Выделяется или поглощается при этом энергия и в каком количестве?

5.61. Ядерная реакция протекает по уравнению



Выделяется или поглощается при этом энергия и в каком количестве?

5.62. Реакция деления ядра урана $^{235}_{92}\text{U}$ идет с выделением энергии 200 МэВ на каждое деление. Вычислить энергию, выделившуюся при расщеплении 1 кг ^{235}U .

ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

1.1. $6,2 \cdot 10^4 \text{ м}^2$.

1.2. $2,34 \text{ м/с}$.

1.3. $62,5 \text{ км/ч}$; $12,5 \text{ км/ч}$.

1.4. $v = s/(t_1 + t_2)$, где $t_1 = 0,4 \text{ с}/v_1$ — время, в течение которого трактор прошел 0,4 пути, а $t_2 = 0,6 \text{ с}/v_2$ — время, в течение которого он прошел оставшуюся часть пути. Поэтому $v = v_1 v_2 / (0,4 v_2 + 0,6 v_1) = 10,6 \text{ км/ч}$.

1.5. $0,435 \text{ м/с}^2$.

1.9. $1,48 \text{ с}$.

1.6. $4,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $3 \cdot 10^{-4} \text{ с}$.

1.10. 265 с ; $662,5 \text{ м}$.

1.7. $65,5 \text{ с}$.

1.8. $26,6 \text{ с}$; $1,41 \text{ м/с}^2$

1.11. $0,222 \text{ м/с}^2$; $0,116 \text{ м/с}^2$; $0,25 \text{ м/с}^2$.

1.12. Так как начальные скорости камней одинаковы, то в точке встречи скорость падения первого камня будет равна скорости подъема второго камня, т. е. $gt = v_0 - gt$, откуда $t = v_0/2g = 0,39 \text{ с}$. Здесь $v_0 = \sqrt{2gH}$. Высота точки встречи $h = H - gt^2/2 = H - v_0^2/(8g) = 2,25 \text{ м}$.

1.13. Глубина колодца может быть найдена из соотношений: $h = gt^2/2$ и $h = v(t - t_1)$, где t — время, через которое был услышан стук камня о дно; t_1 — время падения камня. Из этих соотношений найдем t_1 , а затем и $h = 106 \text{ м}$.

1.14. Запишем уравнения для перемещения тел, брошенных вертикально вверх

$$H_1 = v_0 t_1 - \frac{gt_1^2}{2}, \quad H_2 = v_0(t_1 - t) - \frac{g(t_1 - t)^2}{2}.$$

Тогда $gt^2/2 - gt_1 t + v_0 t = 0$, откуда $t_1 = 2,72 \text{ с}$.

1.15. $19,6 \text{ м/с}$; 34 м ; $4,9 \text{ м}$ (рис. 6.1).

1.16. На рис. 6.1 изображена траектория полета снаряда. Время подъема снаряда на максимальную высоту H равно $t_1 = v_y/g$, где v_y — вертикальная составляющая начальной скорости. Тогда $t = 2t_1 = 2v_0 \sin \alpha/g = 153 \text{ с}$, $s = v_x t = v_0 \sin 2\alpha/g = 197 \text{ км}$, где v_x — горизонтальная составляющая начальной скорости.

1.17. $63^\circ 30'$ (см. рис. 6.1).

1.18. 45° (см. рис. 6.1 и указание к решению задачи 1.16).

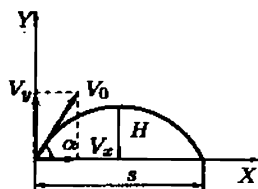


Рис. 6.1

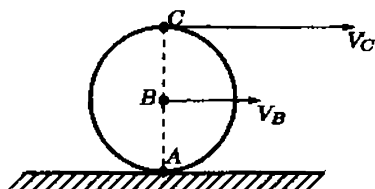


Рис. 6.2

- 1.19. 60 м; 24,4 м (см. рис. 6.1 и указание к решению задачи 1.16)
 1.20. 1,51 м/с².
 1.21. -0,21 рад/с²; 240 об.
 1.22. 3,15 с; 4,74 об.
 1.23. -1,26 рад/с²; 640 об.
 1.24. 95,7 рад/с²
 1.25. 17 рад/с; 5,1 м/с; 12 рад/с²; 3,6 м/с²; 86,7 м/с²; 87 м/с².
 1.26. 92,2 м/с.
 1.27. 0,12 м.
 1.28. 304 рад/с.
 1.29. 9 м/с.
 1.30. 0,06 с; 28,8 м/с.
 1.31. 58,2 рад/с.
 1.32. 30,5 м/с.
 1.33. 0,0937 с; 9,75 м/с.
 1.34. 13,1 рад/с; 36 м/с.
 1.35. 5 об/с.
 1.36. 1,2 м.
 1.37. 1,33 рад/с²; 4 рад/с.
 1.38. 10,7 м/с.

1.39. Согласно рис. 6.2 точка A по отношению к полотну дороги находится в состоянии покоя и является центром вращения. Линейная скорость точки C на ободу колеса вдвое больше линейной скорости точки B на оси колеса, так как точки C и B имеют одинаковые угловые скорости, а $AC = 2AB$. Поэтому $v_C = 2v_B = 14,4$ км/ч.

- 1.40. 12,56 рад/с²; 5 с.
 1.41. 5,8 Н; 0,29 м/с².
 1.42. 36,7 Н.

1.43. По закону изменения количества движения

$$F_{12} = \frac{m(v_1 - v_2)}{\Delta t},$$

где v_1 и v_2 — скорости молота соответственно в начале и в конце удара. Но $v_1 = \sqrt{2gh_1}$, а $v_2 = 0$ — в первом случае, $v_2 = -\sqrt{2gh_2}$ — во втором случае (знак минус обусловлен противоположностью направлений скоростей v_2 и v_1). Тогда $F_1 = 2,8$ МН и $F_2 = 3,8$ МН.

- 1.44. 160 м/с.
 1.45. -0,13 м/с.

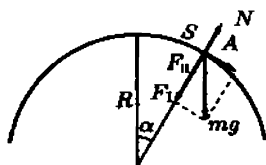


Рис. 6.3

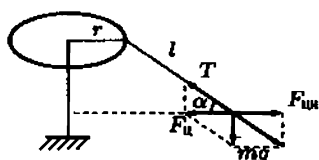


Рис. 6.4

- 1.46. $4,95 \cdot 10^6 \text{ кг}$.
 1.47. $2,65 \cdot 10^5 \text{ Н}$.
 1.48. $1,84 \text{ м/с}^2$; $4,78 \text{ кН}$.
 1.49. $0,6 \text{ с}$; $0,522 \text{ м}$.
 1.50. $1,84 \text{ м/с}^2$; 7020 Н ; 3510 Н .
 1.51. $3,44 \text{ см}$.
 1.52. 146 м .
 1.53. $76,5 \text{ м}$.
 1.54. 4016 Н ; 5602 Н .
 1.55. $\approx 16 \text{ об/сут}$.
 1.56. $17,5 \text{ м}$.

1.57. Отъехав от середины моста на 26 м , автомобиль окажется в точке A , что соответствует повороту радиуса R на угол α (рис. 6.3), где $\alpha = s \cdot 360^\circ / 2\pi R$. Сила давления автомобиля, находящегося в точке A , на мост определяется по формуле: $N = F_1 - mv^2/R$, где $F_1 = mg \cdot \cos \alpha$. Тогда $F = mg \cdot \cos \alpha - mv^2/R = 19,9 \text{ кН}$.

1.58. Согласно рис. 6.4 условие задачи будет выполнено, если центробежная сила инерции $F_{\text{ин}} = mg \cdot \text{ctg} \alpha$ будет равна центростремительной силе $F_{\text{ц}} = m\omega^2(r + l \cos \alpha)$, действующей на лодочку массой m . Здесь $\omega = 2\pi\nu$ — угловая скорость вращения карусели. Тогда $\nu = (g \text{ctg} \alpha / (4\pi^2(r + l \cos \alpha)))^{1/2} = 12,9 \text{ об/мин}$.

- 1.59. $2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$.
 1.60. $366,8 \text{ м/с}^2$.
 1.61. $2,1 \text{ мм}$.
 1.62. $5,2 \text{ МДж}$.
 1.63. $1,96 \text{ МДж}$.
 1.64. $2,94 \text{ МДж}$.
 1.65. $1,35 \text{ кДж}$.
 1.66. $5,39 \text{ кДж}$.
 1.67. $5,55 \cdot 10^8 \text{ Дж}$.
 1.68. 227 Вт .
 1.69. $2,8 \text{ кВт}$.
 1.70. $1,78 \text{ ГДж}$.
 1.71. $1,766 \text{ МДж}$ и $4,122 \text{ МДж}$.
 1.72. $17,4 \text{ кВт}$.
 1.73. $40,3 \text{ кВт}$; $2,89 \cdot 10^8 \text{ Дж}$.
 1.74. $3,2 \text{ кН}$.
 1.75. $0,277 \text{ м/с}$.
 1.76. $12,8 \text{ кВт}$.
 1.77. Нельзя (необходима мощность $36,5 \text{ кВт}$).
 1.78. Согласно условию задачи (рис. 6.5)

$$ma = F_1 + F_{\text{тр}} + Q + mg,$$

где Q — сила нормальной реакции. Сначала спроецируем силы на ось OX :

$$ma = F_1 - F_{\text{тр}} - mg \sin \alpha,$$

а затем на ось OY :

$$0 = F_1 - mg \cos \alpha,$$

где $\alpha = \arcsin(h/l)$. Тогда $F_1 = mg \cos \alpha$; $F_{\text{тр}} = kF_1 = kmg \cos \alpha$ и $F_T = ma + kmg \cos \alpha + mg \sin \alpha$. Поэтому $N = F_T v = mv(a_1 kg \cos \alpha + g \sin \alpha) = 5062 \text{ Вт}$.

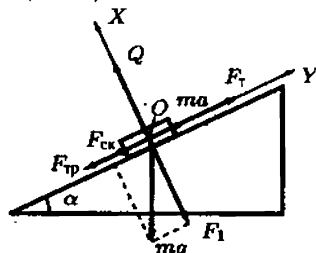


Рис. 6.5

- 1.79. $5,1 \text{ с}$.
 1.80. 80 кДж ; $11,5 \text{ м/с}$.
 1.81. $46,7 \text{ кДж}$.
 1.82. 9706 Н .
 1.83. $1,57 \cdot 10^{10} \text{ Дж}$.
 1.84. 15 Дж .
 1.85. 150 Н .
 1.86. $-3,73 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}$.
 1.87. $-3,1 \cdot 10^{46} \text{ Дж}$.
 1.88. 200 Дж ; 400 Дж .
 1.89. $63,8 \text{ м}$.
 1.90. $2,16 \text{ кДж}$.
 1.91. $0,49 \text{ м/с}^2$.
 1.92. 94 Дж ; 94 Дж .

1.93. Работа по углублению сваи при однократном ударе $A = F \cdot h = mgh = F_{\text{св}} s$. Тогда $F_{\text{св}} = mgh/s = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Н}$. По закону изменения импульса $F \cdot \Delta t = mv$, где $v = \sqrt{2gh}$ — скорость бабы копра в начале удара о сваю. Следовательно, $\Delta t = m\sqrt{2gh}/F = 1,81 \cdot 10^{-2} \text{ с}$.

1.94. $0,5 \text{ рад/с}^2$; 15 рад/с ; $1,5 \text{ м/с}$.1.95. $28,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.1.96. $955 \text{ Н} \cdot \text{м}$.1.97. $9,12 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.1.98. $2,39 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $-0,209 \text{ рад/с}^2$; 236 Дж ; 75 об ; 195 м .1.99. $0,82 \text{ м}$.1.100. $51,2 \text{ кг}$; 40 с .

1.101. $M = J\beta = 2\pi\nu J/t$, где β — угловое ускорение барабана, t — время торможения. Угловой путь барабана за это время $\varphi = \beta t^2/2 = \pi\nu t = 2\pi N$, откуда $t = 2N/\nu$ и $M = \pi\nu^2 J/N = 1045 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

1.102. $0,225 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

1.103. $J = M/\beta$, где $\beta = a/R$ — угловое ускорение вала, $M = F_n \cdot R$ — вращающий момент, F_n — сила натяжения троса. Так как $F_n = P - m_1 a$, то $J = (P - m_1 a)R^2/a = 9,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. С другой стороны, момент инерции вала относительно его геометрической оси $J = mR^2/2$, откуда $m = 2J/R^2 = 76 \text{ кг}$.

1.104. 652 Н .1.105. $6,7 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м}$.1.106. $28,2 \text{ Н}$.1.107. $9,8 \cdot 10^{37} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.1.108. $-1 \text{ Н} \cdot \text{м}$.1.109. $0,92 \text{ об/с}$.1.110. $628 \text{ Дж} \cdot \text{с}$.1.111. $4,45 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.1.112. $7,68 \cdot 10^7 \text{ Дж}$.1.113. $4,5 \text{ кДж} \cdot \text{с}$.1.114. $3,18 \text{ Дж} \cdot \text{с}$.1.115. $8,65 \cdot 10^4 \text{ Дж}$; 69 об .1.116. $2,84 \cdot 10^4 \text{ Дж}$.1.117. $24,42 \text{ Н} \cdot \text{м}$.1.118. 163 .1.119. $12,5 \text{ рад/с}$.1.120. $1,76 \text{ Дж}$.

1.121. $1,97 \text{ м/с}$ (потенциальная энергия цилиндра до скатывания должна быть равна его полной кинетической энергии в конце скатывания).

1.122. $5,1 \text{ м}$.1.123. $2,47 \text{ МДж}$.1.124. 135 Дж ; 101 Дж .1.125. 980 Н/м^3 ; $3,92 \text{ МН/м}^3$.1.126. Уменьшилась на $0,26 \text{ м/с}$.1.127. 480 Па .1.128. 101316 Па .

1.129. Из уравнения неразрывности струи жидкости следует, что $v_2 = D^2/d^2 v_1$, где v_2 — скорость жидкости в суженной части трубы. Тогда по уравнению Бернулли $p_1 - p_2 = \rho/2 \cdot (v_2^2 - v_1^2)$, p_2 — давление в сужении трубы и у основания вертикальной трубки, ρ — плотность жидкости. Так как $p_2 < p_1$, то жидкость будет подниматься по вертикальной трубке до тех пор, пока вес столба жидкости не уравновесится разностью сил давления. Тогда $\rho gh = (p_1 - p_2)S$, где S — площадь поперечного сечения вертикальной трубки. Окончательно получим $h = v_1^2(D^4 - d^4)/(2gd^4) = 33 \text{ мм}$.

1.130. $1,8 \text{ см}$.

1.131. $7,65 \cdot 10^5 \text{ Па}$. При решении пренебречь (как малыми величинами) скоростью жидкости в шланге и избыточным давлением в струе жидкости.

1.132. Применительно к данной задаче уравнение Бернулли примет вид $\rho v_1^2/2 + \rho gh = \rho v_2^2/2$, где ρ — плотность воды, v_2 — скорость вытекания воды из отверстия. Используя это уравнение и уравнение неразрывности струи, получим $v_1 = d^2(2gh/(D^4 - d^4))^{1/2} = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$.

1.133. $6,67 \text{ мН}$.1.135. $1,08 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.1.134. 10^{-6} м .1.136. $3,15 \cdot 10^4 \text{ Па/м}$.

1.137. $63,6 \text{ м}^3$.

1.138. $0,06 \text{ м/с}$.

1.139. $7 \cdot 10^{-2} \sin(5\pi t + \pi/4) \text{ м}$.

1.141. $2 \text{ м}; 4 \text{ с}; \pi/4; 3,14 \text{ м/с}; 4,9 \text{ м/с}^2$

1.140. Резонанс наступит при условии, что промежуток времени между двумя последовательными толчками, испытываемыми тележкой на бородках, будет равен периоду собственных колебаний тележки $T = 2\pi(m/k)^{1/2}$, где m — масса платформы, $k = P_0/a$ — коэффициент упругости рессор. Так как $t = l/v = T$, то $v = l/(2\pi)(P_0/(ma))^{1/2} = 0,475 \text{ м/с}$.

1.144. Периоды колебаний систем соответственно равны $T_1 = 2\pi(m/k)^{1/2}$ и $T_2 = 2\pi((m+\Delta m)/k)^{1/2}$, где k — коэффициент упругости пружины. Сила F , вызывающая дополнительное удлинение пружины, может быть выражена из соотношений: $F = k\Delta l = \Delta mg$, откуда $\Delta l = \Delta mg/k$. Так как $T_2^2 - T_1^2 = 4\pi^2 \Delta m/k$, то $\Delta l = (T_2^2 - T_1^2)g/(4\pi^2) = 27,5 \text{ мм}$.

1.145. $1,57 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$;

1.149. $7,9 \text{ см}$.

$-1,7 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2; 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$;

1.150. $3,2 \sin(2\pi t + \pi/6) \text{ см}$.

$2,46 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$.

1.151. $0,542 \text{ с}$.

1.146. $4,5 \cdot 10^{-2} \text{ Н}; 3,38 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$.

1.152. $2,94 \text{ мкДж}$.

1.147. $0,0392 \text{ м/с}; -0,0153 \text{ м/с}^2$;

$7,03 \cdot 10^{-4} \text{ Н}; 7,05 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$.

1.148. $x = 0,05 \sin(\pi t/2 + \pi/3) \text{ м}$.

1.153. Условие равновесия лактометра: $P = \rho g Sh$, где h и S — длина и площадь поперечного сечения погруженной части лактометра. Если глубина погружения больше, чем h , на величину x , то на лактометр будет действовать выталкивающая (возвращающая) сила $F = \rho g Sx = kx$, где k — коэффициент возвращающей силы. Учитывая, что $T = 2\pi(m/k)^{1/2}$, получим $T = (4/d)(\pi m/(\rho g))^{1/2} = 3,4 \text{ с}$.

1.154. $3,7 \text{ м}; 67^\circ 30'$

1.155. $S = 4,04 \sin(15\pi t + \pi/6) \text{ см}$.

1.156. Эллипс с полуосями 4 м и 6 м ; его уравнение: $x^2/16 + y^2/36 = 1$.

1.157. $3 \cdot 10^{-8} \text{ м}$.

1.158. $0,8 \text{ м}$.

1.159. $27 \text{ м}; 119^\circ; 21,8 \text{ мм}$.

1.160. Длина каждой из волн $\lambda = v/\nu = 330/550 = 0,6 \text{ м}$. Будучи когерентными, эти волны интерферируют в точке C . Разность хода волн $\Delta l = l_2 - l_1 = 3 \text{ м} = k\lambda = k \cdot 0,6 \text{ м}$, откуда $k = 5$, т. е. целому числу длин волн. Следовательно, в точке C будет максимум интерференции и колебание там будет происходить с амплитудой $A = A_1 + A_2 = 12 \text{ см}$.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

2.1. 1 — изобарический, 2 — изотермический, 3 — изохорический (рис. 6.6).

2.2. 1 — изобарический, 2 — изотермический, 3 — изохорический (рис. 6.7).

2.3. 75 К .

2.4. 4 МПа .

2.5. 10^5 Па .

2.6. $0,167 p_1$.

2.7. $0,138 \text{ м}^3$.

2.8. $1,03 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

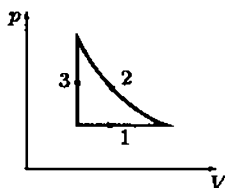


Рис. 6.6

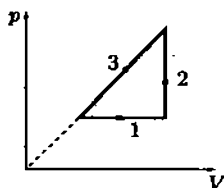


Рис. 6.7

- 2.9. $8,65 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$; $0,48 \text{ моль}$. 2.16. $1,01 \cdot 10^{23} \text{ молекул}$.
 2.10. $1,3 \text{ кг/м}^3$. 2.17. 100 м^3 .
 2.11. $9,65 \cdot 10^5 \text{ Па}$. 2.18. $8,1 \text{ Па}$.
 2.12. $32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. 2.19. $9,96 \cdot 10^{-14} \text{ кг}$.
 2.13. $2,56 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$. 2.20. $2,99 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$; $4,82 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$.
 2.14. $8,12 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$. 2.21. $1,37 \cdot 10^{23} \text{ молекул}$.
 2.15. $1,63 \text{ МПа}$.
 2.22. Объем куба $V = l^3$. Так как $N = n_0 V$ и $n_0 = p/kT$, где n_0 — число молекул в единице объема, p и T — нормальные значения давления и температуры газа, то $l = (nkT/p)^{1/3} = 7,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.
 2.23. $3,32 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$. 2.29. $4,64 \cdot 10^6$.
 $1,54 \cdot 10^{-14} \text{ кг/м}^3$. 2.30. 710 м/с .
 2.24. $1,37 \cdot 10^3 \text{ м/с}$. 2.31. 15 К .
 2.25. 242 К . 2.32. $7,73 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$; $9,32 \text{ МДж}$.
 2.26. $32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ (кислород). 2.33. 2590 Дж .
 2.27. 667 м/с ; 615 м/с . 2.34. $1,09 \cdot 10^6 \text{ Дж}$; $7,27 \cdot 10^4 \text{ Дж}$.
 2.28. 736 м/с . 2.35. $3,16 \text{ кДж}$.
 2.36. Молекула кислорода покинет пределы Луны, если действующая на нее центробежная сила будет равна силе тяготения: $mv^2 = r_L$, где m — масса молекулы, v — ее скорость. Тогда $v = \sqrt{g_L r_L}$. Учитывая, что $mv^2/2 = 3/2 kT$, а $m = M/N_A$, получим $T = g_L r_L M / 3k = 2,16 \cdot 10^3 \text{ К}$.
 2.37. $6,1 \text{ кДж}$. 2.44. $32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$; 5 .
 2.38. $0,0455 \text{ кг}$. 2.45. $149 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $249 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.
 2.39. 5 . 2.46. 10^{-7} м .
 2.40. $6,25 \cdot 10^5 \text{ Дж}$. 2.47. $0,806 \text{ Па}$.
 2.41. $2,08 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{моль}}$; 2.48. $4,87 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$.
 $2,91 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{моль}}$. 2.49. $2,45 \cdot 10^{19} \text{ молекул}$;
 $1,78 \cdot 10^3 \text{ м/с}$; $1,02 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$.
 2.42. $7,42 \cdot 10^2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $1,04 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; 2.50. $1,41 \cdot 10^{-8} \text{ кг/м}^3$.
 $1,4$. 2.51. $6,08 \text{ Па}$.
 2.43. $570 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $755 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. 2.52. $1,77 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$.
 2.53. По уравнению теплопроводности газа

$$\Delta Q = -1/3 \bar{\lambda} \bar{v} \rho c_v \Delta T / \Delta x \Delta S \Delta t,$$

где $\bar{\lambda}$ и $\bar{v}$ — средняя длина свободного пробега и средняя скорость молекулы воздуха, ρ — плотность воздуха, c_v — его удельная теплоемкость при постоянном объеме, $\Delta T / \Delta x$ — градиент температуры. Известно, что

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi r^2 n_0} = \frac{kT}{4\sqrt{2}\pi r^2 p}, \quad \bar{v} = \sqrt{8RT/(\pi M)},$$

$$c_V = \frac{i}{2} \frac{R}{M} \quad \text{и} \quad p = \frac{pM}{RT}.$$

По определению градиента

$$\frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{t_2 - t_1}{d} = -\frac{10 - 5}{0,3} = -50 \text{ К},$$

По условию задачи $t = (t_2 + t_1)/2 = 270,5 \text{ К}$. Произведя вычисления, получим $\Delta Q = 9,4 \text{ кДж}$.

$$2.54. 8,45 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К}}.$$

$$2.55. 7,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$2.56. 1,34 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

$$2.57. 2,85 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кДж}}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К}}.$$

$$2.58. 5,98 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}^2}$$

$$2.59. 5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}^2}.$$

$$2.60. 8,95 \cdot 10^{-8} \text{ кДж}.$$

$$2.61. 3600 \text{ с}.$$

$$2.62. 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$2.63. 4,8 \cdot 10^7 \text{ Па}.$$

$$2.64. 671 \text{ К}.$$

$$2.65. 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

$$2.66. 2,77 \text{ Н}.$$

$$2.67. 0,1014 \text{ м}^3.$$

$$2.68. 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

$$2.69. 661 \text{ К}.$$

$$2.70. 925 \frac{\text{Дж}}{\text{кДж} \cdot \text{К}}; 862 \frac{\text{Дж}}{\text{кДж} \cdot \text{К}}; 1785 \frac{\text{Дж}}{\text{кДж} \cdot \text{К}}.$$

$$2.71. 3.$$

2.72. Применяя закон сохранения и превращения энергии, получим $n = \sigma \Delta t / 0,6 \pi \rho g h = 95$.

$$2.73. 2,24 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

$$2.74. 10^{-6} \text{ м}.$$

2.75. Согласно закону Вант-Гоффа (с учетом степени диссоциации) $p = 1,75 \pi RT / (VM)$, где M — молярная масса растворенного вещества, R — универсальная газовая постоянная, T — температура по термодинамической шкале. Вычисляя, получим $m = 0,002 \text{ кг}$.

$$2.76. 1,52 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

$$2.77. 650 \text{ моль/м}^3$$

$$2.78. 286 \text{ К}.$$

$$2.79. 5,67 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К}}.$$

$$2.83. \text{Коэффициент температуропроводности } k = \chi / c\rho = 1,03 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$2.84. 126.$$

$$2.85. 6,07 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}.$$

$$2.86. 10^{-3} \text{ м}.$$

$$2.87. 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

$$2.88. 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ кДж}.$$

$$2.80. 7,05 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

$$2.81. 6,6 \text{ м}^2.$$

$$2.82. 157 \text{ Дж}.$$

$$2.89. 0,4 \text{ м}.$$

$$2.90. 10^{-4} \text{ м}.$$

$$2.91. 1,96 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

$$2.92. 4,16 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

$$2.93. 15.$$

2.94. Давление воздуха внутри пузырька складывается из атмосферного и гидростатического давлений и давления, обусловленного кривизной поверхности пузырька; $p = p_1 + \rho g h + 2\alpha/r = 1,06 \text{ Па}$, где α — коэффициент поверхностного натяжения воды.

$$2.95. 1,52 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

$$2.96. \text{Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2; \text{м}^3/\text{моль}.$$

$$2.97. 280 \text{ К}; 284 \text{ К}.$$

$$2.98. 154 \text{ К}.$$

$$2.99. 3,4 \cdot 10^2 \text{ кДж/м}^3.$$

$$2.100. 0,56 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2; 3,06 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль};$$

$$2.101. 1,34 \cdot 10^5 \text{ Па}; 6,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

$$2.102. 5,75 \text{ ГДж}.$$

$$2.103. 3,036 \cdot 10^7 \text{ Дж}.$$

$$2.104. 6,28 \cdot 10^{-2} \text{ кДж}.$$

$$2.105. 4,66 \cdot 10^3 \text{ с}.$$

$$2.106. 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ кДж}.$$

$$2.107. 3,69^\circ \text{С}.$$

$$2.108. 2,6 \text{ кДж}.$$

$$2.109. 1217 \text{ К}.$$

2.110. За время τ холодильная установка отдает в окружающее пространство энергию W , отнятую у воды при ее замораживании, а также энергию,

потребляемую ею от осветительной сети. Согласно условию, эта энергия равна $N_1\tau = N_1 + W = N\tau + mc(t_1 - t_2) + m\lambda$, где c — удельная теплота плавления льда. Тогда $N = N_1 - m\tau^{-1}(c(t_2 - t_1) + \lambda) = 297 \text{ Вт}$.

$$2.111. 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$2.112. 0,5\%.$$

$$2.113. 0,99 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

$$2.114. 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$2.115. 1,23 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Указание. Задачу решать по закону Рауля.

$$2.116. 6,97 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

$$2.117. 9,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль.}$$

$$2.118. 1090 \text{ Дж.}$$

$$2.119. 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг; } 166 \text{ Дж.}$$

$$2.120. 3; 1,44 \cdot 10^7 \text{ Дж; } 9,6 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

$$2.121. 975 \text{ Дж.}$$

$$2.122. 8,57 \text{ кДж.}$$

$$2.123. 10,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

$$2.124. 1,24.$$

$$2.125. 411 \text{ Дж; } 411 \text{ Дж; } 0.$$

$$2.126. 2,54 \text{ МПа.}$$

$$2.127. 318 \text{ К.}$$

$$2.128. 6.$$

$$2.129. 100.$$

$$2.130. 1,29 \cdot 10^4 \text{ Дж.}$$

$$2.131. 1,38 \text{ кДж.}$$

$$2.132. 16,8 \text{ Дж.}$$

2.133. Согласно первому началу термодинамики

$$\Delta Q = A + \Delta W; \quad \Delta W = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T;$$

$$\Delta Q = c_p \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R \Delta T; \quad A = \Delta Q - \Delta W,$$

где ΔT — изменение температуры, i — число степеней свободы, c_p — молярная теплоемкость при постоянном давлении, m — масса газа, M — молярная масса. Вычисления дадут: $2,08 \cdot 10^6 \text{ Дж; } 2,91 \cdot 10^6 \text{ Дж; } 8,3 \cdot 10^5 \text{ Дж.}$

$$2.134. 15,2\%.$$

$$2.135. 391 \text{ К.}$$

$$2.136. 196 \text{ Дж.}$$

$$2.137. 1,25.$$

$$2.138. 50\%; 1,4 \cdot 10^5 \text{ Дж; } 7 \cdot 10^4 \text{ Дж.}$$

$$2.139. 20\%; 480 \text{ К.}$$

$$2.140. 7000 \text{ Дж.}$$

$$2.141. 1230 \text{ Дж/К.}$$

$$2.142. 7,05 \text{ кДж/К.}$$

2.143. По определению изменение энтропии

$$\Delta S = \int_A^B \frac{dQ}{T}.$$

В данной задаче

$$dQ = C_V \frac{m}{M} dT.$$

Тогда

$$\begin{aligned} \Delta S &= \int_{T_1}^{T_2} C_V \frac{m}{M} \frac{dT}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{i}{2} R \frac{m}{M} \frac{dT}{T} = \\ &= \frac{i}{2} R \frac{m}{M} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = \frac{i}{2} R \frac{m}{M} \ln \frac{T_2}{T_1} = 1330 \text{ Дж/К.} \end{aligned}$$

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

3.1. $2,2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

3.2. $1,03 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$.

3.3. 5.

3.4. $1,86 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$.

3.5. $2,07 \text{ МВ/м}$.

3.6. $6,2 \cdot 10^{-30} \text{ Кл}\cdot\text{м}$.

3.7. $1,26 \cdot 10^5 \text{ В/м}$.

3.8. $1,57 \cdot 10^5 \text{ В/м}$; $1,8 \cdot 10^4 \text{ В}$.

3.9. 0,03 м.

3.10. 0,172 м за зарядом $-2q$.

3.11. $7,2 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$.

3.12. $2,88 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

3.13. На шарик действуют две силы: его вес P и сила электрического поля F (рис. 6.8). Результирующая этих сил направлена вдоль нити и уравнивает силу натяжения нити. Так как $F = \sigma q / (2\epsilon\epsilon_0)$, и вместе с тем $F = P \tan \alpha$, то $\sigma = 2\epsilon\epsilon_0 mg \tan \alpha / q = 7,4 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}^2$

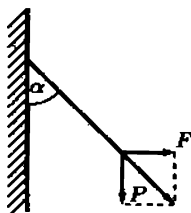


Рис. 6.8

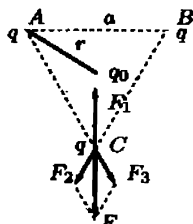


Рис. 6.9

3.14. На каждый из зарядов q действуют со стороны остальных зарядов 3 силы: F_1 , F_2 и F_3 (рис. 6.9). Так как $\triangle ABC$ равносторонний; то силы F_2 и F_3 равны между собой и образуют результирующую F , направленную противоположно F_1 . Из условия равновесия системы следует, что $F = F_1$, но $F_1 = qq / (4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2)$ и $F_2 = F_3 = qq / (4\pi\epsilon\epsilon_0 a^2)$, где r — радиус описанной окружности. Тогда, учитывая, что $a = r\sqrt{3}$ и $F = 2F_2 \cos 30^\circ$, получим после простых преобразований, $q_0 = 2q \cos 30^\circ / 3 = 1,98 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$.

3.15. $\approx 6 \cdot 10^5 \text{ Кл}$; $8,05 \cdot 10^8 \text{ В}$.

3.18. $1,77 \text{ нКл}$.

3.16. $8,5 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$.

3.19. $2,12 \cdot 10^2 \text{ В}$.

3.17. $3,64 \cdot 10^{-11} \text{ Кл}$.

3.20. По условию равновесия капли $P = F$, где P — вес капли, F — сила действия электрического поля конденсатора на каплю (рис. 6.10).

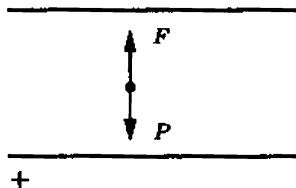


Рис. 6.10

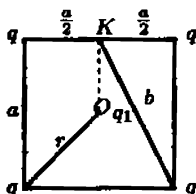


Рис. 6.11

Так как $F = \sigma q / \epsilon \epsilon_0$ и $P = \rho V g$, где ρ — плотность масла, то $\rho V g = \sigma q / \epsilon \epsilon_0$, откуда $V = \sigma q \epsilon \epsilon_0 \rho g = 3,07 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3$

$$3.21. 2,12 \cdot 10^{-8} \text{ Кл.}$$

$$3.22. 3 \cdot 10^5 \text{ В/м; } 6 \cdot 10^3 \text{ В.}$$

$$3.23. 100 \text{ раз.}$$

$$3.24. 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ Дж.}$$

3.25. Работа перемещения заряда q_1 из центра квадрата O в середину стороны (точка K) равна $A = q_1(\varphi_0 - \varphi_K)$, где φ_0 и φ_K — потенциалы электрического поля в точках O и K (рис. 6.11). Очевидно, что

$$\varphi_0 = 4 \frac{q}{(4\pi\epsilon\epsilon_0 r)} \quad \text{и} \quad \varphi_K = 2 \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0(a/2)} + 2 \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 b},$$

где $r = \sqrt{2}a/2$ — расстояние от центра квадрата до его вершины, $b = \sqrt{5}a/2$ — расстояние от K до дальней вершины квадрата, a — сторона квадрата. Тогда

$$A = \frac{q_1 q}{(\pi\epsilon\epsilon_0 a \sqrt{10})} (2\sqrt{5} - \sqrt{10} - \sqrt{2}) = -2,83 \cdot 10^{-7} \text{ Дж.}$$

Знак минус показывает, что эта работа совершается внешними силами против силы электрического поля.

$$3.26. 7,75 \cdot 10^{-7} \text{ Дж.}$$

$$3.27. 1,05 \cdot 10^{12} \text{ м/с}^2; 3 \text{ В; } 1,02 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

$$3.28. 5,93 \cdot 10^5 \text{ м/с; } 1,33 \cdot 10^6 \text{ м/с; } 1,87 \cdot 10^6 \text{ м/с; } 13,3 \cdot 10^6 \text{ м/с; } 1,87 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

$$3.29. 7,82 \text{ В.}$$

$$3.36. 60\,000 \text{ В; } 30\,000 \text{ В; } 20\,000 \text{ В.}$$

$$3.30. 144 \text{ В.}$$

$$3.37. 3,12 \cdot 10^{-7} \text{ Ф.}$$

$$3.31. 2,21 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/м}^2.$$

$$3.38. 1,77 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

$$3.32. 7,11 \cdot 10^{-4} \text{ Ф; } 2,13 \text{ Кл.}$$

$$3.39. 500 \text{ В.}$$

$$3.33. 3,54 \cdot 10^{-8} \text{ Ф.}$$

$$3.40. 2500 \text{ В.}$$

$$3.34. 6 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$$

$$3.41. \text{ Система пробита не будет.}$$

$$3.35. 0,1 \text{ мкФ.}$$

3.42. 1) Начальный заряд шара $Aq_A = \varphi_A C_A = \varphi_A 4\pi\epsilon\epsilon_0 r = 3 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$, где C_A — емкость шара A . 2) После соединения шаров заряд q_A распределяется между ними поровну, так как емкости шаров одинаковы. Следовательно, $q'_A = q'_B = q_A/2 = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ и $\varphi'_A = \varphi'_B = q'_A/C_A = 1350 \text{ В}$, где q'_A , q'_B , φ'_A , φ'_B — соответственно заряды и потенциалы шаров A и B после соединения. 3) Энергия шаров после соединения W' равна сумме энергий W'_A и W'_B каждого шара в отдельности: $W' = W'_A + W'_B = 2W'_A$ (так как $q'_A = q'_B$ и $\varphi'_A = \varphi'_B$). Тогда $W' = 2(q'_A)^2/(2C_A) = 2,025 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$. 4) Работа разряда равна разности энергий шаров до и после соединения. Так как до соединения электрической энергией обладал только шар A , то

$$A = \frac{q_A^2}{2C_A} - \frac{(q'_A)^2}{C_A} = \frac{1}{C_A} \left(\frac{1}{2} q_A^2 - (q'_A)^2 \right) = 2,025 \cdot 10^{-5} \text{ Дж.}$$

$$3.43. \approx -6 \cdot 10^{-5} \text{ Дж.}$$

$$3.44. 7,26 \cdot 10^{-4} \text{ Н; } 9,6 \cdot 10^2 \text{ В; } 7,26 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/м}^3$$

$$3.45. 1)$$

$$\Delta C = C_2 - C_1 = \frac{\epsilon_0 S}{d} (\epsilon_2 - \epsilon_1) = 2,892 \cdot 10^{-11} \text{ Ф,}$$

где C_1 и C_2 — емкости конденсатора до и после заполнения его эбонитом, ϵ_1 и ϵ_2 — диэлектрические проницаемости воздуха и эбонита. 2)

$$\Delta E = \frac{\sigma}{\epsilon_2 \epsilon_0} - \frac{\sigma}{\epsilon_1 \epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - \frac{1}{\epsilon_1} \right),$$

где σ — поверхностная плотность заряда пластины конденсатора. Так как заряд q конденсатора остается постоянным, то $\sigma = \text{const}$. Учитывая, что $\sigma S = C_1 U_1$, получим

$$\Delta E = \frac{C_1 U}{\epsilon_0 S} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - \frac{1}{\epsilon_1} \right) = -1,23 \cdot 10^5 \text{ В/м}.$$

Знак минус указывает на то, что напряженность поля уменьшается при заполнении конденсатора эбонитом. 3) $\Delta W = W_2 - W_1$, где W_1 и W_2 — энергии конденсатора до и после заполнения его эбонитом. Так как

$$W_1 = \frac{C_1 U^2}{2} = \frac{\epsilon_1 \epsilon_2 S U^2}{2d} \quad \text{и} \quad W_2 = \frac{q^2}{2C_2} = \frac{\epsilon_1^2 \epsilon_0 S U^2}{2d \epsilon_2},$$

то

$$\Delta W = \frac{\epsilon_1 \epsilon_0 S U^2}{2d} \left(\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} - 1 \right) = -2,185 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}.$$

Знак минус показывает, что после заполнения конденсатора диэлектриком его энергия уменьшается.

3.46. 0,03 Дж; 7,2 мДж;

2,28 · 10⁻² Дж.

3.47. 2,37 · 10⁶ раз.

3.48. 5,33 мкФ.

3.49. 0,5 Н.

3.50. 313 Ом.

3.51. 43,8° С.

3.52. 1,45 В.

3.53. 57,3 Ом.

3.54. 200 Ом.

3.55. 3,2 В; 1,6 А; 0,4 А.

3.56. 120 В; 30 В.

3.57. 1,08 В; 0,6 Ом.

3.58. 139,4 В.

3.59. 6,9 мА/м².

3.60. 9 Ом; 0,11 В; 0,99 В; 90%.

3.61. Полезная мощность — мощность, выделяющаяся на внешнем сопротивлении $N = \mathcal{E}I - I^2 r$, где I — сила тока. Полезная мощность достигает максимума при силе тока I_m , которая определяется из соотношения: $dN/dI = \mathcal{E} - 2Ir = 0$. Тогда $I - m = \mathcal{E}/2r$. Так как по закону Ома $I = \mathcal{E}/(R + r)$, то $R + r = 2r$ и $R = r = 1 \text{ Ом}$, т. е. полезная мощность достигает максимального значения, когда внешнее сопротивление цепи равно внутреннему сопротивлению элемента. Следовательно, $N_m = I^2 R = \mathcal{E}^2 R/4r^2 = \mathcal{E}^2/4r = 25 \text{ Вт}$.

3.62. 90%.

3.63. 0,514 м.

3.64. 5 с.

3.65. 6,1 А; 119,56 В.

3.66. 3 мм 21 с.

3.67. 0,0322 Ом.

3.68. 46 Ом.

3.69. 1,25 А; 1,5 А; 0,25 А.

3.70. 1 Ом.

3.71. 12 В.

3.72. 4 В; 2 В; 4 В; 4 В.

3.73. 0,3 А; 0,8 А; 0,5 А; 7,5 Ом.

3.74. 1000 Ом.

3.75. 5 Ом; 58,5 Ом; 0,565 А.

3.76. 2000 Ом.

3.77. 25,8 А.

3.78. Напряжение на лампах $U_1 = 4U_0$. Тогда падение напряжения в проводах и на реостате составит $U - U_1$. Следовательно, $R = (U - U_1)/I = \rho l/s = 2,2 \text{ Ом}$, где ρ — удельное сопротивление алюминия.

3.79. 0,7 Дж.

3.80. 55 Вт; 10 Вт.

3.81. 35 мм².

3.82. Условие выполняется при $R = r$.

3.83. а) во втором; б) в первом.

3.84. 0,5 з.

3.85. 3,98 В.

3.86. 5 м.

3.87. 4,8 нА/м²

3.88. 1,6 мкА.

3.89. 4,27 А/м.

3.90. 1,24 А/м.

3.91. 0,25 А/м.

3.92. 24,2 А/м; 3,2 А/м; 131,9 А/м.

3.93. 14,01 А/м; 22,4 А/м; 122,9 А/м.

3.94. 0,188 м.

3.95. 0,312 А/м.

3.96. Напряженности магнитного поля от вертикального и горизонтального участков провода равны по величине и одинаково направлены (перпендикулярно плоскости, как показано на рис. 6.12). Поэтому искомая напряженность $H = H_1 + H_2$. Для вертикального участка провода $H_1 = I(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)/(4\pi a)$, где $\alpha_1 = 0$, $\alpha_2 = 135^\circ$, $a = r/\sqrt{2}$. Для горизонтального участка провода $H_2 = I(\cos \alpha'_1 - \cos \alpha'_2)/(4\pi a)$, где $\alpha'_1 = 45^\circ$, $\alpha'_2 = 180^\circ$. Тогда $H = 114,8$ А/м.

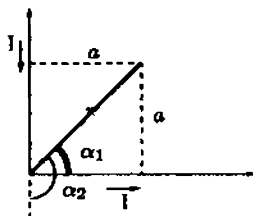


Рис. 6.12

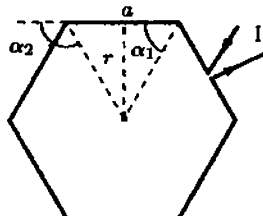


Рис. 6.13

3.97. $H = 6H_1 = \frac{6 \cdot I(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)}{4\pi r}$, где H_1 — напряженность магнитного поля одной стороны a рамки (рис. 6.13), I — сила тока в рамке, $r = \sqrt{3}a/2$ — расстояние от стороны рамки до ее центра, $\alpha_1 = 60^\circ$, $\alpha_2 = 120^\circ$. Тогда $H = 6\sqrt{3}U/\pi l R = 5,5$ А/м.

3.98. 6666,7 А/м.

3.99. 0,2 м.

3.100. 1,88 м.

3.101. Удельное сопротивление материала провода $\rho = R\pi d^2/4L$, где L — длина провода, R — сопротивление и n — число витков соленоида. Учитывая, что $R = U/I$, $H = In/l$ и $L = n\pi D$, получим после несложных преобразований $\rho = IUd^2/4DHl = 10^{-6}$ Ом·м, что соответствует никрому.

3.102. 16 А.

3.105. 1,017.

3.103. 184.

3.106. 15 А.

3.104. 200 А·в.

3.107. На проводник действуют две одинаковые силы P_n натяжения нитей, сила тяжести (вес) P и сила Ампера $F = \mu_0 H/l$. Если $P + F \geq P_n$, то нити разорвутся. Тогда $P_n \geq 1/2 \cdot (P + F) = 1/2 \cdot (P + \mu_0 H/l)$, откуда $I \geq (2P_n - P)/(\mu_0 n l) = 34,7$ А.

3.108. 0,36 Н.

3.113. 3 см.

3.109. $52^\circ 30'$

3.114. 9,8 А.

3.110. 1,71 мТ.

3.115. $2,42 \cdot 10^{-4}$ м.

3.111. 100 А.

3.116. 0,112 м; $1,19 \cdot 10^{-8}$ с.

3.112. 333,3 А.

3.117. $1,64 \cdot 10^{-2}$ Т.

3.118. 0,227 м.

3.119. 2 мА/м.

3.120. $7 \cdot 10^6$ ш/с.

3.121. 3,96 ГКа/кз.

3.122. $6,3 \cdot 10^{-4}$ В.

3.123. 8 ш/с.

3.124. Полная мощность N , затрачиваемая источником тока при перемещении проводника, складывается из мощностей N_1 и N_2 , расходуемых соответственно на перемещение проводника и его нагревание. Так как $N_1 = IBlv = I\mathcal{E}$ и $N_2 = I^2 R$, где $I = (U - \mathcal{E})/R = (U - Blv)/R$ — величина тока в проводнике, $\mathcal{E}$ — электродвижущая сила индукции, возникающая при перемещении проводника в магнитном поле, то $N = (U^2 - BlvU)/R = 11,25$ Вт.

3.125. 1,26 В.

3.126. $2 \cdot 10^{-2}$ Т.

3.127. 226 В.

3.128. 5 об/с.

3.129. $1,07 \cdot 10^{-2}$ А.

3.130. 0,1 Т.

3.131. Работа, совершаемая при повороте витка вокруг его диаметра, $A = I\Delta\Phi$, где $\Delta\Phi$ — изменение магнитного потока через ограниченную витком площадь S (при повороте витка). Так как после поворота витка магнитный поток, связанный с витком, становится равным нулю, то $\Delta\Phi = BS = B\pi R^2$ и $A = IB\pi R^2 = 6,28$ мДж.

3.132. 3,14 мГ.

3.133. 0,05 Г.

3.134. 2 мГ

3.135. Электродвижущая сила взаимной индукции во второй катушке определяется по формуле: $\mathcal{E}_2 = -M\Delta I_1/\Delta t$, где ΔI_1 — изменение силы тока в первичной катушке за время Δt , M — коэффициент взаимной индукции катушек. Так как ток выключается, то $\Delta I_1 = I_1 = 0,4$ А. По закону Ома $R_2 = \mathcal{E}_2/I_2 \approx M\Delta I_1/(I_2\Delta t)$. Но $M = \sqrt{L_1 L_2}$, поэтому $R_2 = I_1\sqrt{L_1 L_2}/(I_2\Delta t) = 653$ Ом.

3.136. 0,1 А.

3.137. Плотность энергии магнитного поля $\omega = \mu_0 H^2/2$, где $H = In_0$ — напряженность магнитного поля внутри соленоида. Тогда $\mu = 2\omega/\mu_0 I^2 n_0^2 = 400$.

3.138. 0,15 Дж.

3.139. 2000.

3.140. $2 \cdot 10^{-4}$ Г; 890.3.141. $2 \cdot 10^{-4}$ Вб.

3.142. 9,9 А.

3.143. 3 А.

3.144. 338,4 В.

3.145. $\approx 3,2$ кВт

3.146. 139,2 А.

3.147. $32^\circ 48'$

3.148. 93%.

3.149. $44^\circ 50'$

3.150. 783 Ом.

3.151. 124 В.

3.152. 6,37 мкФ.

3.153. 62° .

3.154. 0,1 Г

3.155. 9,65 Ом.

3.156. $5 \cdot 10^{-7}$ Ф; 2 Г3.157. $6,28 \cdot 10^{-4}$ с.3.158. $5,63 \cdot 10^{-7}$ Ф.3.159. Парафином ($\epsilon = 2$).

3.160. 159 Гц

3.161. 942 м.

ОПТИКА

4.1. 0,9 м.

4.2. Если угол падения луча на зеркало до поворота равен φ , то и угол отражения равен φ (рис. 6.14). Угол между падающим и отраженным лучами 2φ . После поворота зеркала угол падения стал равным $\varphi + \alpha$, а угол между падающим и отраженным лучами $2(\varphi + \alpha)$. Так как падающий луч остался неподвижным, то отраженный луч повернулся на угол $\beta = (2\varphi + \alpha) - 2\varphi = 2\alpha = 54^\circ$.

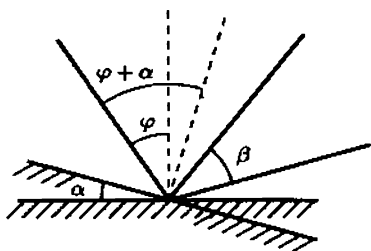


Рис. 6.14

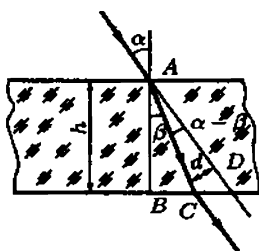


Рис. 6.15

4.3. 1,41; $2,13 \cdot 10^8$ м/с.

4.4. Из рис. 6.15 видно, что, если предположить, что пластинка находится в воздухе, показатель преломления которого равен 1, то из закона преломления света $\sin \beta = \sin \alpha / n = 0,33$, откуда $\beta = 19^\circ 30'$. Из треугольников ABC и ADC очевидно, что $h / \cos \beta = d / \sin(\alpha - \beta)$, т. е. $h = d \cos \beta / \sin(\alpha - \beta) = 0,01$ м.

4.5. $41^\circ 48'$ 4.6. $48^\circ 6'$

4.7. 10%.

4.8. $2 \cdot 10^8$ м/с.4.9. $2,04 \cdot 10^8$ м/с.4.10. $4 \cdot 10^{-7}$ м.

4.11. 1,71.

4.12. 2,11 дп.

4.13. 0,6 м.

4.14. 5

4.15. ≈ 1670 .

4.16. 2,5 дп.

4.17. 0,16 см.

4.18. 0,5 м.

4.19. 144 кд.

4.20. 2 раза.

4.21. 200 кд.

4.22. 1 Вт/кд.

4.23. $4,3 \cdot 10^5$ кДж.

4.24. По закону освещенности $E_1 = I_1/x^2$ и $E_2 = I_2/(x-l)^2$, где E_1 и E_2 — освещенности, создаваемые первой и второй лампами, x — искомое расстояние. Так как $E_1 = 2E_2$, то $I_1/x^2 = 2I_2/(x-l)^2$, откуда $x_1 = 9$ м и $x_2 = 1$ м.

4.25. 5%.

4.26. 2,32 м.

4.27. 16,5 ак.

4.28. 82,4 ак; 66,5 ак.

4.29. 10^{-3} м $^{-1}$.

4.30. 0,75.

4.31. 72° .4.32. $\pm 1,2$ мм; $\pm 2,4$ мм.

4.33. 0,3 мм.

4.34. 5 мм.

4.35. 625 нм; 500 нм; 417 нм.

4.36. Оптическая разность хода лучей 1 и 2 равна $\Delta l = 2AD$ $n = (BC + \lambda/2)$ (рис. 6.16); добавочная разность хода $\lambda/2$ возникает в связи с отражением луча 2 от оптически более плотной среды. Наименьшей толщине h

пленки соответствует интерференционный максимум при $\Delta l = 0$. Учитывая, что $AD = h / \cos \beta$, $BC = AC \cdot \sin \alpha = 2h \operatorname{tg} \beta \sin \alpha$ и $\sin \alpha / \sin \beta = n$, получим $h = \lambda / 4n \cos \beta$. Из закона преломления света $\beta = 30^\circ$, тогда $h = 0,12 \text{ мкм}$.

4.37. $0,26 \text{ мкм}$ (решается подобно предыдущей задаче, но для интерференционного минимума надо принять $\Delta l = \lambda/2$).

4.38. 94 нм .

4.39. $36'$

4.40. 3 мкм .

4.41. $0,47 \text{ мкм}$; $0,25 \text{ мкм}$; 2 мкм^{-1} ; 4 мкм^{-1} .

4.42. $\geq 7,5 \cdot 10^{-3}$.

4.43. $1^\circ 40'$; $3^\circ 24'$

4.44. 17 спектров (1 центральный и по 8 в обе стороны от него).

4.45. $6'$

4.46. 400 см^{-1}

4.47. $0,49 \text{ мкм}$.

4.48. 41°

4.49. $d \sin \varphi = k\lambda = k_x \lambda_x$, где k_x и λ_x — порядок спектра и длина волны иско-
мых линий. Тогда $\lambda/\lambda_x = k_x/k$. Согласно
условию, $0,48/0,76 < \lambda/\lambda_x < 0,48/0,4$,
откуда $0,63 < k_x/x < 1,2$ или $1,9 < k_x < 3,6$. Но k_x не может равняться 3,
так как линии, принадлежащие одному спек-
тру, не могут накладываться друг на друга.
Следовательно, $k_x = 2$ и $\lambda_x = \lambda \cdot k/k_x =$
 $= 0,48 \cdot 3/2 = 0,72 \text{ мкм}$.

4.50. $0,3 \text{ нм}$.

4.51. $0,73 \text{ нм}$; $0,80 \text{ нм}$; $6,6 \cdot 10^{-22} \text{ нм}$ (следовательно, волновые свойства
движущихся макроскопических тел практически незаметны).

4.52. Скорость нейтрона $u = (3kT/m_n)^{1/2}$, где k — постоян-
ная Больцмана, m_n — масса нейтрона, T — температура по термо-
динамической шкале. Так как по условию $h/m_e v = h/m_n u$, то v
 $= (m_n/m_e) \cdot (3kT/m_n)^{1/2} = 4,78 \cdot 10^6 \text{ м/с}$, где m_e и v — масса и скорость
электрона.

4.53. $1,83 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

4.54. 37° ; 37° .

4.55. $1,25 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

4.56. В 2 раза.

4.57. Если J_* — интенсивность естественного света, J_0 — интенсивность
света, прошедшего через поляризатор, и J — интенсивность света, прошедшего
через анализатор, то, по условию, $J = J_*/4$. Но $J_0 = J_*/2$. Тогда, применяя
закон Малюса, получим $J_*/4 = (J_*/2) \cos^2 \alpha$, откуда $\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{2}}$ и $\alpha = 45^\circ$

4.58. В 10 раз.

4.59. $62^\circ 30'$

4.60. $0,35 \text{ мкм}$; $0,40 \text{ мкм}$.

4.61. 200 кг/м^3 .

4.62. $1,16 \cdot 10^{-2} \text{ рад} \cdot \text{м}^2/\text{кг}$.

4.63. $5,5 \text{ мм}$.

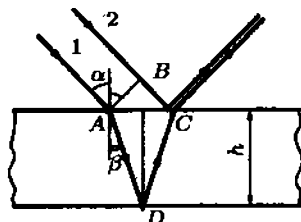


Рис. 6.16

4.64. $3,4 \text{ мкм}$.

4.65. Второй; в 1,33 раза.

4.66. 404 Вт/м^2

4.67. 0,16.

4.68. 2040 Дж .

4.69. 647 К .

4.70. Мощность, излучаемая через отверстие в полости $N_1 = 0,9N$. Но $N_1 = \sigma T^4 S = \sigma T^4 \pi r^2$, где S — площадь отверстия. Тогда $T = (0,9N/(\sigma \pi r^2))^{1/4} = 2120 \text{ K}$.

4.71. $4,5 \cdot 10^{26} \text{ Дж}$.

4.72. $9,3 \text{ мкм}$.

4.73. 6160 K ; 8300 K ; 8300 K ; 10000 K .

4.74. $4,2 \text{ мкм}$.

4.75. $9,4$.

4.76. 356 Вт/м^2 ; $10,3 \text{ мкм}$.

4.77. Энергия, излучаемая Солнцем в единичном телесном угле в одну секунду, равна $4\pi^2 \sigma T^4 / 4\pi = \sigma T^4 r^2$. Площадь S на расстоянии R от Солнца соответствует телесному углу (с вершиной в центре Солнца) $\Omega = S/R^2$. Следовательно, $\omega_0 = \sigma T^4 r^2 S / SR^2 = \sigma T^4 r^2 / R^2 = 1,4 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$.

4.78. $3,31 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$, $3,7 \cdot 10^{-36} \text{ кг}$, $1,1 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; $1,98 \cdot 10^{-15} \text{ Дж}$, $2,2 \cdot 10^{-32} \text{ кг}$, $6,6 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; $1,98 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$, $2,2 \cdot 10^{-30} \text{ кг}$, $6,6 \cdot 10^{-22} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

4.79. $3,31 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

4.80. $1,18 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$; $7,82 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

4.81. $0,52 \text{ мкм}$.

4.82. Интенсивность облучения есть энергия, переносимая (n фотонами) в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению переноса. Поэтому $J = \epsilon n = (hc/\lambda) \cdot n$, где ϵ и c — энергия и скорость фотона. Тогда $n = J\lambda/hc = 7,7 \cdot 10^{18} \frac{1}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$.

4.83. $4,53 \cdot 10^{17} \text{ Гц}$.

4.84. $2,9 \cdot 10^{-17} \text{ Вт}$.

4.85. $4 \cdot 10^5$ фотонов.

4.86. $7 \cdot 10^{-7} \text{ Па}$; $3,5 \cdot 10^{-7} \text{ Па}$.

4.87. Световое давление на зачерненный кружок равно $p = W/Stc$, где S — площадь кружка, c — скорость света. Крутящий момент силы светового давления $M = pSr = m\alpha$. Тогда $\alpha = Wr/mtc = 4^\circ 48'$.

4.88. $5,04 \text{ мкПа}$.

4.89. $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$.

4.90. 120° или 240° .

4.91. По условию $\epsilon_0 = 2\epsilon$. Тогда $hc/\lambda_0 = 2hc/\lambda$ и $\lambda_0 = \lambda/2$, где λ и λ_0 — длины волн рассеянного и падающего фотонов, c — скорость фотона. Так как $\lambda - \lambda_0 = 0,00242(1 - \cos \theta)$, то $\lambda = 0,00484 \text{ нм}$. Тогда $\epsilon = hc/\lambda = 4,11 \times 10^{-14} \text{ Дж}$ и $p = \epsilon/c = 1,4 \cdot 10^{-22} \text{ Н} \cdot \text{с}$.

4.92. $9,9 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}$, $0,20 \text{ нм}$; $8,9 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}$, $0,22 \text{ нм}$.

4.93. $2,4 \text{ эВ}$.

4.94. Не будет, так как энергия фотона ($6,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$) меньше работы выхода электрона из серебра.

4.95. 230 нм ; 662 нм .

4.96. $7,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$; $9,2 \cdot 10^5 \text{ м/с}$; $3,9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

4.97. 41 Нм .

4.98. Импульс фотона $m_\phi c = h/\lambda$ (m_ϕ — масса фотона). Из уравнения Эйнштейна следует, что $v = ((2hc - 2A\lambda)/(m\lambda))^{1/2}$, где m — масса фотозлектрона. Тогда

$$p = m_\phi c - (-mv) = \frac{h}{\lambda} + \sqrt{\frac{2m(hc - A\lambda)}{\lambda}} = 1,16 \cdot 10^{-25} \text{ Н} \cdot \text{с}.$$

4.99. 204 нм .

4.100. Кинетическая энергия электрона $\frac{mv^2}{2} = mas = m \frac{Ee}{m} s = Ees$, где v , a , m , и e — соответственно начальная скорость, ускорение, масса и заряд электрона. По уравнению Эйнштейна $\frac{mv^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - A$. Тогда $s = \frac{hc - \lambda A}{Ee\lambda} = 3,74 \text{ см}$.

ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА

5.1. $627,4 \text{ нм}$.

5.2. $3,61 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$.

5.3. $6 \cdot 10^{12}$.

5.4. $2,11 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$.

5.5. $4,78 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

5.6. Учитывая первый постулат Бора и принимая во внимание, что кулоновская сила взаимодействия электрона с ядром атома водорода является центростремительной, можно написать следующую систему уравнений: $mvr = n\hbar/2\pi$ и $mv^2/r = e^2/4\pi\epsilon_0 r^2$, где m , e и v — масса, заряд и скорость электрона, n и r — номер и радиус орбиты, $\hbar$ — постоянная Планка, ϵ_0 — электрическая постоянная. Решая совместно эти уравнения, получим $v = e^2/2n\hbar$. Тогда $\omega = v/r = e^2/2n\hbar\epsilon_0 r$, где радиус орбиты $r = n^2\epsilon_0\hbar^2/\pi m e^2$. После простых преобразований получим $\omega = \pi e^3 m / 2n^3 \hbar^3 \epsilon_0^2 = 5,14 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$. Период обращения электрона по второй орбите $T = 2\pi/\omega = 1,22 \cdot 10^{-15} \text{ с}$.

5.7. $5,42 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$; $-10,84 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ и $-5,42 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

5.8. $16,26 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

5.9. $2,47 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$; $16,35 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

5.10. $3,36 \cdot 10^{-36} \text{ кг}$ и $1,01 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}$.

5.11. 486 нм .

5.12. $-19,37 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

5.13. $4,23$.

5.14. $1,65 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$.

5.15. $7,5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$; $4 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$.

5.16. $1,65 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$.

5.17. 162 нм .

5.18. $3,29 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$; $21,8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 13,55 \text{ эВ}$.

5.19. $30,4 \text{ нм}$; линия не попадает в видимую часть спектра, а находится в далекой ультрафиолетовой области.

• 5.20. Соответствует переходу в атоме водорода со второй орбиты на первую.

5.21. $9,42 \cdot 10^{-35} \text{ кг}$; $28,26 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}$.

5.22. $8,22 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$; $5,45 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

5.23. $13,16 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$; $8,72 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$.

5.24. $3,1 \cdot 10^{-17} \text{ Дж}$.

5.25. $0,04 \text{ нм}$.

5.26. $13,6 \text{ кВ}$.

5.27. На $0,5U$

5.28. $1,17 \text{ МВ}$.

5.29. $0,5 \text{ нм}$; $4,03 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}$.

5.30. $0,0674 \text{ нм}$; $2,95 \cdot 10^{-15} \text{ Дж}$.

5.31. Ниобий ($z = 41$).

5.32. $7,56 \cdot 10^{-15} \text{ Дж}$.

5.33. 19 и 20, 19; на первой, второй, третьей и четвертой орбитах соответственно 2, 8, 8, и 1 электронов.

5.34. На 54.

5.35. $1,45 \cdot 10^{18}$.

5.36. $3,52 \cdot 10^{-15} \text{ кг}$.

- 5.37. $1,63 \cdot 10^7 \text{ м/с}$.
 5.38. $5,6 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$; 20,6 сут; 288 Ки.
 5.39. 7,71 Ки.
 5.40. $3 \cdot 10^{-7} \text{ Ки}$.
 5.41. $1,63 \cdot 10^{-8} \text{ Ки}$.
 5.42. $4,06 \cdot 10^{-17} \text{ кг}$.
 5.43. 92 расп./с.
 5.44. 0,113 Ки.
 5.45. В 29,1 раза.
 5.46. 8 сут.
 5.47. $2,74 \cdot 10^{-17} \text{ кг}$.
 5.48. Для построения графика воспользоваться законом радиоактивного распада.
 5.49. 5,32 В.
 5.50. 315 кВт.
 5.51. $3,98 \cdot 10^{-30} \text{ кг}$; 2,23 МэВ.
 5.52. $1,38 \cdot 10^{-29} \text{ кг}$; 7,73 МэВ.
 5.53. $2,28 \cdot 10^{-28} \text{ кг}$; 127,63 МэВ; 7,97 МэВ.
 5.54. 0,367 а. е. м.; 342 МэВ; 8,55 МэВ.
 5.55. 1,7 а. е. м.; 1584,6 МэВ; 7,92 МэВ.
 5.56. $2,7 \cdot 10^{15} \frac{\text{Дж}}{\text{кг-атом}}$.
 5.57. $5,65 \cdot 10^{-29} \text{ кг}$.
 5.58. Выделяется; 17,3 МэВ.
 5.59. Выделяется; 4,02 МэВ.
 5.60. Поглощается; 1,2 МэВ.
 5.61. Выделяется; 4,36 МэВ.
 5.62. $8,16 \cdot 10^{13} \text{ Дж} = 2,3 \cdot 10^7 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

ТАБЛИЦЫ

Таблица 7.1.

Соотношения между единицами измерения СИ
и некоторыми единицами других систем, а также
внесистемными единицами

Физическая величина	Соотношения
Длина	$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$
Масса	$1 \text{ а. е. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Время	$1 \text{ год} = 3,16 \cdot 10^7 \text{ с}$
Объем	$1 \text{ сутки} = 86\,400 \text{ с}$
Скорость	$1 \text{ км/с} = 0,278 \text{ м/с}$
Угол поворота	$1 \text{ об} = 6,28 \text{ рад}$
Сила	$1 \text{ дин} = 10^{-5} \text{ Н}$ $1 \text{ кг} = 9,81 \text{ Н}$
Давление	$1 \text{ дин/см}^2 = 0,1 \text{ Па}$ $1 \text{ кг/м}^2 = 9,81 \text{ Па}$ $1 \text{ ат} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}$ $1 \text{ атм} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $1 \text{ мм рт. ст.} = 133,3 \text{ Па}$
Работа, энергия	$1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж}$ $1 \text{ кг} \cdot \text{м} = 9,81 \text{ Дж}$ $1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ Дж}$ $1 \text{ эВ} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ $1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж}$
Мощность	$1 \text{ эрг/с} = 10^{-7} \text{ Вт}$ $1 \text{ кг} \cdot \text{м/с} = 9,81 \text{ Вт}$
Заряд	$1 \text{ СГСЭ} q = 3,33 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$
Разность потенциалов, падение напряжения, э. д. с.	$1 \text{ СГСЭ} U = 300 \text{ В}$
Электрическая емкость	$1 \text{ см} = 1,11 \cdot 10^{-12} \text{ ф}$
Напряженность магнитного поля	$1 \text{ Э} = 79,6 \text{ А/м}$

Некоторые физические постоянные

Таблица 7.2.

Название	Символ	Числовое значение в системе СИ
Ускорение силы тяжести (нормальное)	g	$9,80665 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
Гравитационная постоянная	γ	$6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$
Скорость света в вакууме	c	$2,99793 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
Постоянная Авогадро	N	$6,02252 \cdot 10^{23} \text{моль}^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	R	$8,31510 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$
Постоянная Больцмана	k	$1,38054 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$
Постоянная Фарадея	F	$0,965 \cdot 10^5 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$
Постоянная Планка	h	$6,626 \cdot 10^{-34} \frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}$
Постоянная Стефана—Больцмана	σ	$5,6697 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$
Постоянная Вина	b	$2,8979 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м} \cdot \text{К}}$
Постоянная Ридберга	R	$2,07 \text{с}^{-1}$
Заряд электрона	e	$1,6021 \cdot 10^{-19} \text{Кл}$
Масса покоя электрона	m_e	$9,1091 \cdot 10^{-31} \text{кг}$
Масса покоя протона	m_p	$1,67261 \cdot 10^{-27} \text{кг}$
Масса покоя нейтрона	m_n	$1,67491 \cdot 10^{-27} \text{кг}$
Масса покоя α -частицы	m_α	$6,6425 \cdot 10^{-27} \text{кг}$
Атомная единица массы	1 а. е. м.	$1,66053 \cdot 10^{-27} \text{кг}$

Удельная теплоемкость

Таблица 7.3.

Вещество	$c \cdot 10^{-3}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	Вещество	$c \cdot 10^{-3}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Вода	4,19	Лед	2,1
Воздух	1	Медь	0,395
Железо	0,5	Свинец	0,125
Латунь	0,38		

Коэффициент теплопроводности

Таблица 7.4.

Вещество	$\chi, \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К}}$	Вещество	$\chi, \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К}}$
Вода	0,59	Дерево	0,20
Воздух	0,023	Стекло	2,90

Молярная масса

Таблица 7.5.

Газ	M	Газ	M
Азот	28	Гелий	4
Водород	2	Кислород	32
Воздух	29	Углекислый газ	44

Таблица 7.6.

Плотность некоторых веществ
(при нормальных условиях)

Вещество	$\rho, 10^3, \text{кг/м}^3$
Воздух	0,00129
Вода (при 4°С)	1
Глицерин	1,26
Масло	0,90
Масло касторовое	0,95
Медь	8,90
Молоко цельное	1,028
Обрат	1,03
Пробка	0,20
Ртуть	13,60
Сливки	9,93

Таблица 7.7.

Коэффициент линейного расширения

Металл	$\alpha \cdot 10^5, \text{K}^{-1}$	Металл	$\alpha \cdot 10^5, \text{K}^{-1}$
Латунь	1,9	Сталь	1,2
Медь	1,6	Цинк	2,9

Таблица 7.8.

Коэффициент вязкости (внутреннего трения)

Жидкость	$t, ^\circ\text{C}$	$\eta, \text{Па} \cdot \text{с}$
Глицерин	0	12,10
Глицерин	20	1,48
Глицерин	30	0,60
Масло касторовое	10	2,44
Масло минеральное	38	0,016

Таблица 7.9.

Коэффициент поверхностного натяжения

Жидкость	$\alpha \cdot 10^2, \text{Н/м}$	Жидкость	$\alpha \cdot 10^2, \text{Н/м}$
Вода	7,2	Ртуть	50
Керосин	3,0	Спирт	2,2

Таблица 7.10.

Критические температура и давление

Вещество	T, K	$p \cdot 10^{-6}, \text{Па}$
Аммиак	405	11,3
Вода	647	22
Кислород	154	5,07
Углекислый газ	304	7,40

Таблица 7.11.

Вещество	Удельная теплота плавления $\tau \cdot 10^{-5}$, Дж/кг	Температура плавления t , °C	Удельная теплота парообра- зования $\lambda \cdot 10^{-5}$, Дж/кг
Вода	3,35	—	22,5
Скипидар	—	—	2,93
Эфир	—	—	3,68
Алюминий	—	659	—
Медь	1,76	1100	—
Железо	—	1530	—
Олово	0,58	—	—
Свинец	0,25	327	—

Таблица 7.12.

Массовое число A
(атомная масса, округленная до целого числа)
и порядковый номер Z некоторых элементов
периодической системы Д. И. Менделеева

Элемент	Химический символ	A	Z	Элемент	Химический символ	A	Z
Азот	N	14	7	Кальций	Ca	40	20
Алюминий	Al	27	13	Кислород	O	16	8
Водород	H	1	1	Натрий	Na	23	11
Гелий	He	4	2	Ртуть	Hg	201	80
Железо	Fe	56	26	Уран	U	238	92
Калий	K	39	20	Фосфор	P	31	15

Таблица 7.13.

Уяругость насыщающих паров воды при
различной температуре

t , °C	Δp , Па	t , °C	Δp , Па
-5	401	16	1813
0	611	18	2066
1	659	20	2333
2	705	25	3173
3	759	30	4239
4	813	40	7371
5	872	50	12330
6	935	60	19861
7	1028	70	31192
8	1073	80	47322
9	1148	90	70016
10	1228	100	101308
12	1400	150	486240
14	1600	200	1550000

Период полураспада некоторых радиоактивных изотопов

Таблица 7.14.

Изотоп	$T_{\frac{1}{2}}$	Изотоп	$T_{\frac{1}{2}}$
Иод $^{131}_{53}\text{I}$	8,0 суток	Полоний $^{210}_{84}\text{Po}$	138,0 суток
Кобальт $^{60}_{27}\text{Co}$	5,3 года	Фосфор $^{32}_{15}\text{P}$	14,3 суток
Натрий $^{24}_{11}\text{Na}$	14,8 ч		

Относительная диэлектрическая проницаемость

Таблица 7.15.

Вещество	ϵ	Вещество	ϵ
Вода	81	Слюда	7
Керосин	2	Стекло	6
Масло трансформаторное	2,4	Эбонит	2,6
Парафин	2		

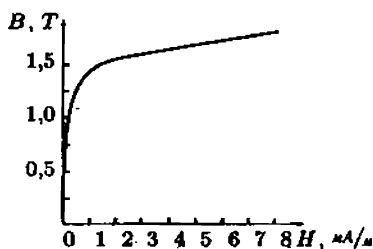


Рис. 7.1.

График зависимости индукции B от напряженности магнитного поля H для некоторого сорта железа

Масса некоторых частиц, а также атомов некоторых изотопов

Таблица 7.16.

Частица или изотоп	m , а. е. м.	Частица или изотоп	m , а. е. м.
Электрон e	0,00055	Литий ^7_3Li	7,01601
Протон p	1,00728	Бериллий ^9_4Be	9,01219
Нейтрон n	1,00867	Бор $^{10}_5\text{B}$	10,01294
Водород ^1_1H	1,00783	Углерод $^{12}_6\text{C}$	12,00000
Дейтерий ^2_1H	2,01410	Азот $^{14}_7\text{N}$	14,00307
Тритий ^3_1H	3,01605	Кислород $^{16}_8\text{O}$	15,99491
Гелий ^3_2He	3,01603	Кислород $^{17}_8\text{O}$	16,99913
Гелий ^4_2He	4,00260	Кальций $^{40}_{20}\text{Ca}$	39,96263
Литий ^6_3Li	6,01513	Ртуть $^{200}_{80}\text{Hg}$	199,96401

**Обозначение единиц
некоторых физических величин**

Наименование	Обозначение	
	русское	международное
Ампер	<i>A</i>	A
Ампер на метр	<i>A/м</i>	A/m
Ампер-час	<i>A·ч</i>	A·h
Ангстрем	<i>Å</i>	Å
Астрономическая единица	<i>а. е.</i>	UA
Атомная единица массы	<i>а. е. м.</i>	U
Бар	<i>бар</i>	bar
Бэр	<i>бэр</i>	rem
Вар	<i>вар</i>	var
Ватт	<i>Вт</i>	W
Ватт на квадратный метр	<i>Вт/м²</i>	W/m ²
Ватт на килограмм	<i>Вт/кг</i>	W/kg
Ватт на метр-кельвин	$\frac{Вт}{м \cdot K}$	W/(m·K)
Ватт-час	<i>Вт·ч</i>	W·h
Вебер	<i>Вб</i>	Wb
Вольт	<i>В</i>	V
Вольт-ампер	<i>В·А</i>	V·A
Вольт на метр	<i>В/м</i>	V/m
Гаусс	<i>Гс</i>	Gs
Гектар	<i>га</i>	ha
Генри	<i>Гн</i>	H
Генри на метр	<i>Гн/м</i>	H/m
Герц	<i>Гц</i>	Hz
Год	<i>год</i>	a
Градус	°	°
Градус Цельсия	°C	°C
Грамм	<i>г</i>	g
Грамм на кубический сантиметр	<i>г/см³</i>	g/cm ³
Джоуль	<i>Дж</i>	J
Джоуль на квадратный метр	<i>Дж/м²</i>	J/m ²
Джоуль на кельвин	<i>Дж/К</i>	J/K
Джоуль на килограмм	<i>Дж/кг</i>	
Джоуль на килограмм-кельвин	$\frac{Дж}{кг \cdot K}$	J/(kg·K)
Дина	<i>Дин</i>	dyn
Дина на квадратный сантиметр	<i>дин/см²</i>	dyn/cm ²
Икс-единица	<i>икс-ед.</i>	X
Кандела	<i>кд</i>	cd
Кандела на квадратный метр	<i>кд/м²</i>	cd/m ²
Карат	<i>кар</i>	ct
Квадратный метр	<i>м²</i>	m ²
Кельвин	<i>К</i>	K
Киловатт-час	<i>кВт·ч</i>	kW·h
Килограмм	<i>кг</i>	kg
Килограмм-метр в секунду	<i>кг·м/с</i>	kg·m/s
Килограмм на кубический метр	<i>кг/м³</i>	kg/m ³
Километр в час	<i>км/ч</i>	km/h

Таблица 7.17.

**Обозначение единиц
некоторых физических величин (продолжение)**

Наименование	Обозначение	
	русское	международное
Кубический метр	м^3	m^3
Кубический сантиметр	см^3	cm^3
Кулон	Кл	C
Кюри	Ки	Ci
Литр	л	l
Люкс	лк	lx
Люмен	лм	lm
Максвелл	Мкс	Mx
Метр	м	m
Метр в секунду	м/с	m/s
Миллиметр	мм	mm
Миллиметр ртутного столба	мм рт. ст.	mmHg
Минута	мин	min
Минута	мин	$\dots$
Моль	моль	mol
Килограмм-метр в квадрате в секунду	$\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$
Ньютон	Н	N
Ньютон-метр	$\text{Н} \cdot \text{м}$	$\text{N} \cdot \text{m}$
Ньютон на метр	Н/м	N/m
Оборот в минуту	мин^{-1}	
Оборот в секунду	с^{-1}	
Ом	Ом	Ω
Ом-квадратный миллиметр на метр	$\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Ом-метр	$\text{Ом} \cdot \text{м}$	$\Omega \cdot \text{m}$
Парсек	пк	pc
Паскаль	Па	Pa
Рад	рад	rad
Радян	рад	rad
Радян в секунду	рад/с	rad/s
Рентген	Р	R
Сантиметр	см	cm
Сантиметр в секунду	см/с	cm/s
Сантиметр на секунду в квадрате	см/с^2	cm/s^2
Световой год	св. год	ly
Симетс	См	S
Сименс на метр	См/м	S/m
Стерadian	ср	sr
Сутки	сут	d
Тесла	Т	T
Тонна	т	t
Фарада	ф	F
Фарада на метр	ф/м	F/m
Час	ч	h
Электронвольт	эВ	eV
Эрг	эрг	erg
Эрг в секунду	эрг/с	erg/s
Эрстед	Э	Oe

Постоянные Ван-дер-Ваальса

Таблица 7.18.

Вещество	$a, \text{Н} \cdot \text{м}^4 / \text{моль}^2$	$b \cdot 10^5, \text{м}^3 / \text{моль}$
Азот	0,136	3,85
Водяной пар	0,550	3,00
Кислород	0,136	3,16
Углекислый газ	0,364	4,26

Удельное сопротивление металлов

Таблица 7.19.

Металл	$\rho \cdot 10^8, \text{Ом} \cdot \text{м}$	Металл	$\rho \cdot 10^8, \text{Ом} \cdot \text{м}$
Алюминий	2,53	Медь	1,7
Железо	9,80	Нихром	110
		Серебро	1,6

Абсолютный показатель преломления

Таблица 7.20.

Вещество	n	Вещество	n
Алмаз	2,42	Скипидар	1,48
Вода	1,33	Стекло	1,5

Работа выхода электронов из металла

Таблица 7.21.

Металл	$A, 10^{-19}, \text{Дж}$	$A, \text{эВ}$
Никель	7,7	4,84
Платина	8,5	5,30
Серебро	7,6	4,47
Цезий	3,1	1,90
Цинк	6,4	4,00

Электрохимические эквиваленты

Таблица 7.22.

Вещество	$k, \text{мг/Кл}$	Вещество	$k, \text{мг/Кл}$
Алюминий	0,093	Никель	0,304
Медь	0,329	Серебро	1,118

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. Физические основы механики	4
1.1 Основные формулы	4
1.2 Кинематика	11
1.3 Динамика	15
1.4 Работа и энергия	17
1.5 Вращательное движение твердого тела	20
1.6 Движение жидкости и газа	24
1.7 Колебания и волны	25
II. Молекулярная физика и термодинамика	29
2.1 Основные формулы	29
2.2 Газы	34
2.3 Жидкости и твердые тела	40
2.4 Изменение агрегатного состояния вещества	43
2.5 Основы термодинамики	45
III. Электричество и магнетизм	48
3.1 Основные формулы	48
3.2 Электростатика	57
3.3 Постоянный ток	62
3.4 Электромагнетизм	67
3.5 Электромагнитная индукция	71
3.6 Переменный ток	73
IV. Оптика	76
4.1 Основные формулы	76
4.2 Геометрическая оптика. Фотометрия	81
4.3 Волновые свойства света и микрочастиц	84
4.4 Квантовые свойства света	88
V. Физика атома и атомного ядра	93
5.1 Основные формулы	93
5.2 Строение атома	95
5.3 Атомное ядро и внутриядерные процессы	98
VI. Ответы и решения	101
1 Физические основы механики	101
2 Молекулярная физика и термодинамика	105
3 Электричество и магнетизм	109
4 Оптика	114
5 Физика атома и атомного ядра	117
VII. Таблицы	119

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Под редакцией Р. И. Гребовского

**Издание второе,
стереотипное**

**Генеральный директор А. Л. Кноп
Директор издательства О. В. Смирнова
Художественный редактор С. Л. Шапиро
Редактор А. С. Федоров
Корректор А. К. Райхлин
Верстальщик А. С. Сизов
Выпускающие А. В. Яковлев, Н. К. Белякова**

ЛР № 065466 от 21.10.97

**Гигиенический сертификат 78.01.07.953.П.001665.03.02
от 18.03.2002 г., выдан ЦГСЭН в СПб**

Издательство «ЛАНЬ»

lan@lpbl.spb.ru

www.lanpbl.spb.ru

192029, Санкт-Петербург, Общественный пер., 5.

Издательство: тел./факс: (812)336-25-10, 336-25-09;

pbl@lpbl.spb.ru

print@lpbl.spb.ru

Торговый отдел: 193029, Санкт-Петербург, ул. Крупской, 13,

тел./факс: (812)567-54-93,

тел.: (812)567-85-78, (812)567-14-45, 567-85-82, 567-85-91;

trade@lanpbl.spb.ru

Филиал в Москве:

109263, Москва, 7-я ул. Текстильщиков, 5,

тел.: (095)742-48-93;

lanmak@asvt.ru

Филиал в Краснодаре:

350072, Краснодар, ул. Жлобы, 1/1, тел.: (8612)74-10-35.

Сдано в набор 23.10.01. Подписано в печать 02.07.04.

Бумага типографская. Гарнитура Литературная. Формат 84×108 1/32.

Печать высокая. Уск. п. л. 6,72. Тираж 3000 экз.

Заказ № 2425

Отпечатано с готовых диапозитивов

в ОАО «Владимирская книжная типография».

600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7.

**Качество печати соответствует качеству
предоставленных диапозитивов**