

Аверсэв

В. В. Жилко, Л. Г. Маркович

задач по физике

10-11

классы

Сборник



$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed$$
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

В. В. Жилко, Л. Г. Маркович

Сборник

задач по физике

10-11

КЛАССЫ



Пособие для учащихся учреждений
общего среднего образования
с русским языком обучения

Рекомендовано
Научно-методическим учреждением
«Национальный институт образования»
Министерства образования
Республики Беларусь

7-е издание, переработанное

Минск
«Аверсэв»
2019

УДК 53(075.3=161.1)
ББК 22.3я721
Ж72

Рецензент

учитель физики высш. квалификац. категории гос. учреждения образования
«Гимназия № 1 имени академика Е. Ф. Карского г. Гродно» **И. В. Мухин**

Жилко, В. В.

Ж72 Сборник задач по физике. 10–11 классы : пособие для учащихся учреждений общ. сред. образования с рус. яз. обучения / В. В. Жилко, Л. Г. Маркович. — 7-е изд., перераб. — Минск : Аверсэв, 2019. — 319 с. : ил.

ISBN 978-985-19-4094-9.

Пособие составлено в соответствии с учебными программами по физике и содержит задачи различных видов и уровней сложности, а также ответы к количественным задачам.

Адресуется учащимся учреждений общего среднего образования.

УДК 53(075.3=161.1)
ББК 22.3я721

Учебное издание

Жилко Виталий Владимирович
Маркович Леонид Григорьевич

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

10–11 классы

Пособие для учащихся учреждений общего среднего образования
с русским языком обучения

7-е издание, переработанное

Ответственный за выпуск *Д. Л. Дембовский*

Подписано в печать 17.07.2019. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага типографская.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,60. Уч.-изд. л. 13,06. Тираж 2100 экз. Заказ

Общество с дополнительной ответственностью «Аверсэв».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/15 от 02.08.2013. Ул. Н. Олешева, 1, офис 309, 220090, г. Минск.

E-mail: info@aversev.by; www.aversev.by

Контактные телефоны: (017) 268-09-79, 268-08-78.

Для писем: а/я 3, 220090, г. Минск.

УПП «Витебская областная типография».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 2/19 от 26.11.2013. Ул. Щербакова-Набережная, 4, 210015, г. Витебск.

ISBN 978-985-19-4094-9

© Жилко В. В., Маркович Л. Г., 2012
© Жилко В. В., Маркович Л. Г., 2019,
с изменениями
© Оформление. ОДО «Аверсэв», 2019

От авторов

*Я занимался до сих пор решением ряда задач,
ибо при изучении наук примеры полезнее правил.*

И. Ньютон

Уважаемые старшеклассники!

Как известно, всякое знание в конечном итоге необходимо человеку для практического применения. Например, решая задачи или выполняя лабораторные работы по физике, вы не только более глубоко изучаете предмет, но и приобретаете полезные практические навыки.

Сборник составлен в соответствии с учебными программами базового и повышенного уровней для 10–11-х классов и содержит более 1600 задач по всем разделам учебного материала. Для удобства пользования все задачи имеют сквозную нумерацию.

Задания для повышенного уровня отмечены символом *. Теоретический материал для повышенного уровня отмечен вертикальной чертой. Часть задач начального уровня, как правило, предлагается в виде тестов.

На все расчетные задачи даны ответы, к некоторым из них предложены краткие указания по решению. При решении задач используйте справочные материалы (с. 271). Помните, что при записи окончательного ответа следует сохранить количество значащих цифр, соответствующее данным условия задачи.

В сборнике приведены задачи различной степени сложности, что позволяет использовать его не только в школах, но и в гимназиях, лицеях и т. д.

Желаем успехов!

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

1

Основные понятия молекулярно-кинетической теории (МКТ). Основное уравнение МКТ идеального газа

За атомную единицу массы принимается $\frac{1}{12}$ массы изотопа углерода $^{12}_6\text{C}$ (1 а. е. м. = $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг).

Относительной атомной массой M_r вещества (массовым числом) называют отношение массы атома m_0 данного вещества к атомной единице массы:

$$M_r = \frac{m_0}{1 \text{ а. е. м.}},$$

где M_r — величина безразмерная.

Количество вещества ν — число молей — равно отношению числа N молекул в веществе к числу молекул в одном моле этого вещества (постоянной Авогадро N_A):

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M} = \frac{V}{V_M},$$

где N — число частиц (атомов, молекул) вещества, N_A — постоянная Авогадро, m — масса вещества, V — объем газа, $V_M = 22,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$ —

молярный объем газа при нормальных условиях.

Молярной массой M называют массу вещества, взятого в количестве одного моля:

$$M = m_0 N_A,$$

где $m_0 = \frac{m}{N}$ — масса одной молекулы или атома вещества.

Нормальные условия (нормальные давление и температура) соответствуют следующим значениям: $p_0 = 1,00 \text{ атм} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па} = 760 \text{ мм рт. ст.}$ и $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ($T_0 = 273 \text{ К}$).

■ **1.** Давление газа:

а) обратно пропорционально модулю скорости движения молекул;

б) прямо пропорционально среднему значению квадрата модуля скорости движения молекул;

в) не зависит от модуля скорости движения молекул;

г) обратно пропорционально корню квадратному из модуля скорости движения молекул.

■ **2.** Идеальный газ — это:

а) модель газа, в которой молекулы принимаются за материальные точки, а взаимодействием молекул на расстоянии пренебрегают;

б) кислород при температуре $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении, равном атмосферному;

в) газ, молекулы которого имеют форму идеальных шариков;

г) любой газ при нормальных условиях.

■ **3.** Единицей давления в СИ является:

а) ньютон; в) паскаль;

б) ампер; г) вольт.

■ **4.** Определите массы молекул: а) углекислого газа (CO_2); б) кислорода (O_2); в) азотной кислоты (HNO_3).

■ **5.** Определите молярные массы поваренной соли (NaCl), серной кислоты (H_2SO_4), аммиака (NH_3).

■ **6.** Оцените радиус r молекулы воды.

■ **7.** Определите количество N молекул, которое содержится в одном грамме: а) газообразного водорода; б) воды; в) глюкозы ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$).

■ **8.** Определите массу m гелия в объеме, содержащем $N = 1,2 \cdot 10^{25}$ молекул.

■ **9.** Вычислите массу m водорода, находящегося в сосуде, количество вещества которого $\nu = 200$ моль.

■ **10.** Два цилиндрических сосуда высотами $h_1 = 30 \text{ см}$ и $h_2 = 20 \text{ см}$, радиусами $r_1 = 5,0 \text{ мм}$ и $r_2 = 15 \text{ мм}$ соответственно заполнены доверху одинаковыми жидкостями. Определите отношение количеств

$\frac{N_1}{N_2}$ молекул в сосудах.

- 11. Вычислите отношение количества молекул N_1 в водороде массой $m_1 = 12$ г к количеству молекул N_2 в кислороде массой $m_2 = 6,0$ г.
- 12. Определите количество N молекул азота в сосуде объемом $V = 1,0$ см³ при температуре $t = 77$ °С и нормальном давлении.
- 13. Определите среднюю кинетическую энергию $\langle W_k \rangle$ поступательного движения молекул идеального газа при давлении $p = 4,0$ атм, если концентрация молекул газа $n = 4,0 \cdot 10^{25}$ м⁻³.
- 14. Определите концентрацию n молекул азота при давлении $p = 40$ кПа, если средняя квадратичная скорость его молекул $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 1,8 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.
- 15. Определите давление p водорода в сосуде объемом (вместимостью) $V = 10$ л при температуре $T = 300$ К, если в нем содержится $N = 5,0 \cdot 10^{14}$ молекул.
- 16. Вычислите количество N молекул, покинувших баллон объемом $V = 20$ дм³ при температуре $t = 27$ °С, если давление в нем уменьшилось на величину $\Delta p = 3,6$ кПа.
- 17. Вакуумным насосом из сосуда объемом $V = 5,0$ л откачали воздух до давления $p = 1,0 \cdot 10^{-12}$ Па. Определите количество N молекул, оставшихся в сосуде, если температура воздуха в сосуде $t = 20$ °С.
- 18. Определите суммарную кинетическую энергию W_k поступательного движения всех молекул идеального газа, количество вещества которого $\nu = 5,0$ моль, при температуре $t = 47$ °С.
- 19. В сосуде объемом $V = 3,0$ л находится кислород O_2 массой $m = 3,0$ г под давлением $p = 1,0$ атм. Определите: а) количество вещества ν кислорода в сосуде; б) количество N молекул O_2 ; в) температуру T ; г) полную кинетическую энергию W_k всех молекул.
- 20. В комнате объемом $V = 40$ м³ с абсолютно сухим воздухом испарилась одна шарообразная капля воды радиусом $r = 1,5$ мм. Определите концентрацию n молекул воды в комнате.
- 21. В одном баллоне находится водород под давлением $p = 5,0$ атм при температуре $t = 20$ °С, а во втором — кислород при таких же давлении и температуре. Сколько молекул N в каждом сосуде, если их объемы $V_1 = V_2 = V = 40$ л?
- 22. Стенки сосуда, в котором находится газ, имеют температуру T . Температура газа T_1 . В каком случае давление газа на стенки сосуда больше: когда стенки сосуда холоднее газа ($T < T_1$) или когда теплее ($T > T_1$)?

Средняя квадратичная скорость движения молекул

Средняя квадратичная скорость (*тепловая скорость*) поступательного движения молекул:

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}.$$

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов (уравнение Клаузиуса):

$$p = \frac{1}{3} nm_0 \langle v^2 \rangle = \frac{2}{3} n \langle W_{\text{к}} \rangle = nkT,$$

где p — давление газа, $n = \frac{N}{V}$ — концентрация молекул, m_0 — масса

молекулы, $\langle W_{\text{к}} \rangle = \frac{m}{2} \langle v^2 \rangle$ — средняя кинетическая энергия молекулы

(массы молекул одинаковые) одноатомного газа.

Абсолютная температура — это скалярная физическая величина, характеризующая среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул идеального газа:

$$T = \frac{2}{3k} \langle W_{\text{к}} \rangle.$$

Постоянная Больцмана: $k \approx 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$

Соотношение между температурами по шкалам Кельвина и Цельсия имеет вид:

$$T = t + 273.$$

■ **23.** Определите среднюю кинетическую энергию $\langle W_{\text{к}} \rangle$ поступательного движения молекул кислорода O_2 при нормальных условиях.

■ 24. Определите молярную массу M идеального газа, если при температуре T средняя квадратичная скорость его молекул равна $\langle v_{\text{кв}} \rangle$.

■ 25. Космический корабль в межпланетном путешествии движется со скоростью, модуль которой $v = 4,0 \cdot 10^3 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Предположим, что модуль средней квадратичной скорости молекул азота равен модулю скорости движения космического корабля. Найдите температуру T , которой соответствует эта средняя квадратичная скорость движения молекул.

■ 26. Определите объем V , занимаемый идеальным газом массой m при температуре T , если концентрация молекул n , а средняя квадратичная скорость молекул $\langle v_{\text{кв}} \rangle$.

■ 27. Определите среднюю квадратичную скорость $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ молекул газа в баллоне газовой лампы, если его плотность $\rho = 900 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$, а давление в рабочем состоянии составляет $p = 1,10 \cdot 10^5$ Па.

■ 28. Во сколько раз увеличится средняя квадратичная скорость $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ движения молекул газа, если температура возрастет от $t_1 = 0,00$ °С до $t_2 = 200$ °С?

■ 29. Газ находится при температуре $t_1 = 0,0$ °С. Найдите, до какого значения t_2 необходимо повысить его температуру, чтобы средняя квадратичная скорость движения молекул возросла в $n = 3,0$ раза.

■ 30. Определите, на сколько процентов увеличится давление идеального газа в закрытом сосуде при увеличении средней квадратичной скорости его молекул в $n = 1,2$ раза.

■ 31. Определите, во сколько раз необходимо увеличить температуру идеального газа в закрытом сосуде, чтобы средняя квадратичная скорость его молекул возросла в $n = 1,60$ раза.

■ 32. Определите среднюю квадратичную скорость $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ движения молекул азота N_2 , содержащихся в сосуде объемом $V = 4,0$ м³ под давлением $p = 4,2$ атм, если количество вещества азота $\nu = 2600$ моль.

■ 33. Определите массу m идеального газа, содержащегося в сосуде при температуре T и средней квадратичной скорости молекул $\langle v_{\text{кв}} \rangle$, если количество молекул в сосуде N .

■ **34.** Определите, на сколько градусов ΔT_1 от начального значения необходимо нагреть газ, чтобы средняя квадратичная скорость молекул достигла значения $\langle v_{\text{кв3}} \rangle = 600 \frac{\text{М}}{\text{с}}$, если при повышении температуры на $\Delta T = 250 \text{ К}$ от этого же начального значения средняя квадратичная скорость молекул увеличилась от $\langle v_{\text{кв1}} \rangle = 300 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ до $\langle v_{\text{кв2}} \rangle = 400 \frac{\text{М}}{\text{с}}$.

■ **35.** В сосуде объемом $V = 1,0 \text{ л}$ находится идеальный газ при температуре $t = 0,0 \text{ }^\circ\text{С}$ и давлении $p = 1,0 \text{ атм}$. Определите: а) температуру T_1 газа, если средняя квадратичная скорость молекулы газа удвоится; б) давление p_1 газа, если средняя квадратичная скорость молекулы газа удвоится; в) количество N молекул газа.

3

Закон Дальтона

Парциальное давление p_i — давление i -го газа, которое оказывал бы этот газ, если бы он один занимал весь объем сосуда.

Закон Дальтона: давление смеси N химически не взаимодействующих идеальных газов равно сумме их парциальных давлений:

$$p = kTN_0 = kT \left(\frac{N_1}{V} + \frac{N_2}{V} + \dots + \frac{N_i}{V} \right) = p_1 + p_2 + \dots + p_i,$$

где $N_0 = N_1 + N_2 + \dots + N_i$ — число молекул в смеси газов, T — абсолютная температура, k — постоянная Больцмана, V — объем, занимаемый смесью газов.

■ **36.*** Определите давление p смеси водорода массой $m_1 = 50 \text{ г}$ и углекислого газа массой $m_2 = 200 \text{ г}$ в сосуде объемом $V = 5,0 \text{ л}$ при температуре $T = 300 \text{ К}$.

■ 37.* Определите температуру T смеси гелия массой $m_1 = 40$ г и кислорода массой $m_2 = 64$ г в сосуде объемом $V = 0,25$ м³ при нормальном атмосферном давлении.

■ 38.* Определите объем V , занимаемый смесью аргона, количество вещества которого $\nu = 2,0$ моль, и неона, количество вещества которого $\nu = 4,0$ моль, при давлении $p = 2,0$ атм и температуре $T = 320$ К.

■ 39.* Определите молярную массу $M_{\text{см}}$ смеси газов массой $m = 100$ г в сосуде объемом $V = 80$ л при давлении $p = 1,0$ атм и температуре $t = 0,0$ °С.

■ 40.* Определите молярную массу $M_{\text{см}}$ смеси газов, содержащей $k_1 = 80$ % кислорода и $k_2 = 20$ % гелия.

■ 41.* Определите процентное (по массе) содержание кислорода и азота в атмосфере, считая воздух $\left(M_{\text{возд}} = 29 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \right)$ состоящим из смеси этих газов.

■ 42.* Определите плотность $\rho_{\text{см}}$ смеси газов одинаковой массы, если при тех же давлении и температуре плотности газов равны соответственно $\rho_1 = 0,30 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ и $\rho_2 = 0,70 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

■ 43.* Определите концентрацию n_N молекул азота в смеси азота и водорода, если при температуре $t = 77$ °С и давлении $p = 1,5$ атм ее плотность $\rho = 0,40 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

■ 44.* Определите давление p смеси водорода массой $m_1 = 4,0$ г и углекислого газа массой $m_2 = 2,0$ г в баллоне объемом $V = 2,0$ л при температуре $t = 47$ °С.

■ 45.* Определите температуру T смеси кислорода массой $m_1 = 2,0$ г и гелия массой $m_2 = 8,0$ г в колбе объемом $V = 5,0$ л, если давление смеси $p = 4,0$ атм.

■ 46.* Определите плотность $\rho_{\text{см}}$ смеси водорода массой $m_1 = 8,0$ г и кислорода массой $m_2 = 64$ г при температуре $t = 27$ °С и давлении $p = 680$ мм рт. ст.

■ 47.* Определите объем V сосуда, в котором при температуре $t = 30$ °С находится смесь водорода массой $m_1 = 10$ г и кислорода массой $m_2 = 20$ г, если давление на стенки сосуда составляет $p = 7,1 \cdot 10^5$ Па.

■ 48.* В сосуде объемом $V = 20$ л находится азот при температуре $t = 15$ °С под давлением $p_1 = 60$ кПа. Определите массу m кислорода, которую необходимо добавить при той же температуре в сосуд с азотом, чтобы давление на стенки сосуда возросло до $p_2 = 100$ кПа.

■ 49.* Определите концентрацию n_1 молекул водорода в его смеси с азотом, если при температуре $t = 67$ °С и давлении $p = 1,5$ атм плотность смеси $\rho = 0,25 \frac{\text{г}}{\text{дм}^3}$.

■ 50.* Определите давление p азота массой $m = 0,56$ г в баллоне объемом $V = 5,0$ л, нагретом до температуры $T = 1800$ К, при которой $\alpha = 40$ % молекул содержащегося в нем азота диссоциировало на атомы.

ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА. ИЗОПРОЦЕССЫ

4

Уравнение Клапейрона – Менделеева

Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона – Менделеева):

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

При любом изменении состояния данного количества газа произведение давления на объем, деленное на абсолютную температуру, остается постоянным.

Величину $R = kN_A$ называют **универсальной** газовой постоянной:

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}.$$

■ **51.** Определите температуру T углекислого газа массой $m = 50,0$ г, если в сосуде объемом $V = 30,0$ л он находится под давлением $p = 900$ мм рт. ст.

■ **52.** Определите объем V метана (CH_4) массой $m = 150$ г при температуре $t = 80$ °С и давлении $p = 10$ атм.

■ **53.** Определите молярную массу M газа, который находится в сосуде объемом $V = 1,0$ л под давлением $p = 1,0$ атм при температуре $T = 273$ К, если его масса $m = 0,0894$ г.

■ **54.** Определите массу m угарного газа (CO), который занимает объем $V = 300$ л при температуре $t = 57$ °С и давлении $p = 5,0$ атм.

■ **55.** Определите массу Δm вышедшего через щели в комнате объемом $V = 60$ м³ воздуха, находящегося при нормальных условиях, если в ней протопили печь и температура повысилась до $t_1 = 25$ °С.

■ **56.** Определите молекулярную формулу соединения азота ${}^{14}_7\text{N}$ с водородом ${}^1_1\text{H}$, если при температуре $T = 300$ К и давлении $p = 415,5$ кПа плотность соединения $\rho = 2,833 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

■ **57.** Вертикально расположенный цилиндр с газом при температуре $t_1 = 10^\circ\text{C}$ закрыт подвижным поршнем массой $M = 2,5$ кг и площадью $S = 20$ см². Газ нагрели до температуры $t_2 = 60^\circ\text{C}$. Определите массу m груза, который необходимо положить на поршень, чтобы он вернулся в начальное положение. Атмосферное давление нормальное.

■ **58.** В закрытом сосуде находится идеальный газ под давлением $p = 0,40$ МПа. Определите давление p_1 в сосуде после того, как из него выпустили $k = \frac{3}{4}$ массы содержащегося в нем газа. Температура газа не менялась.

■ **59.** В сосуде с газированным напитком углекислый газ оказывает на пробку давление $p = 8,0 \cdot 10^5$ Па при температуре $t = 5,0^\circ\text{C}$. Если изохорно нагреть сосуд до температуры $t_1 = 30^\circ\text{C}$, то пробка вылетит из сосуда. Определите модуль силы трения $F_{\text{тр}}$ между пробкой и горлышком сосуда, если площадь поперечного сечения отверстия горлышка $S = 3,0$ см², а внешнее атмосферное давление $p_0 = 100$ кПа.

■ **60.** Метеорологический шар, наполненный водородом, поднялся на высоту, где температура воздуха $t = 0,0^\circ\text{C}$. Определите плотность ρ водорода внутри шара, если его давление $p = 1,5 \cdot 10^5$ Па.

■ **61.** В баллоне находился гелий массой $m = 0,25$ кг. В результате утечки гелия и уменьшения на $k = 10\%$ температуры давление гелия через некоторое время уменьшилось на $n = 20\%$. Определите количество вещества ν гелия, которое просочилось из баллона.

■ **62.** Определите массу m_2 кислорода, которую можно хранить в баллоне, имеющем пятикратный запас прочности, при температуре $t_2 = 27^\circ\text{C}$, если при испытании такой же баллон с азотом массой $m_1 = 1,60$ г разорвался при температуре $t_1 = 527^\circ\text{C}$. Пятикратный запас прочности означает, что давление в баллоне не должно превышать одной пятой давления, при котором баллон разрушается.

■ **63.** Определите часть n массы газа, выпущенного из баллона, если давление в нем уменьшилось в $k_1 = 2,5$ раза, а абсолютная температура — в $k_2 = 1,5$ раза.

■ **64.** Сосуд разделен закрепленной полупроницаемой легкоподвижной перегородкой, свободно пропускающей молекулы водорода. В одной части объемом V_1 находятся азот и водород, массы которых одинаковы, а другая часть объемом V_2 — пуста. Определите отношение

объемов $\frac{V_2'}{V_1}$ после того, как перегородка была отпущена, если после

установления равновесия давление в первой части сосуда упало в 3 раза, а температура равна начальной.

■ **65.** Легкоподвижный поршень находится в равновесии внутри закрытого с обоих концов горизонтального цилиндра. С одной стороны поршня находится водород массой $m_1 = 4,0$ г, с другой — гелий массой $m_2 = 10$ г. Определите часть $\frac{V_2}{V}$ объема цилиндра, занимаемого

го гелием, если температуры газов одинаковы.

■ **66.*** Определите время τ наполнения аэростата объемом $V = 400$ м³ водородом при температуре $t = 15$ °С и давлении $p = 1,0$ атм, если в аэростат каждую секунду поступало $\Delta m = 5,0$ г водорода.

■ **67.*** В воздушном шаре объемом $V = 1000$ м³ с эластичной оболочкой находится газ при температуре $t = 20$ °С. Определите изменение модуля подъемной силы ΔF воздушного шара при нагревании газа в нем на $\Delta t = 30$ °С, если давление воздуха $p_0 = 100$ кПа и его температура $t_0 = 20$ °С.

■ **68.*** Два одинаковых баллона соединены короткой трубкой, в которой имеется клапан давления, пропускающий газ из одного баллона в другой при разности давлений $\Delta p \geq 800$ мм рт. ст. Один баллон наполнен газом, имеющим при температуре $t_1 = 17,0$ °С давление $p = 760$ мм рт. ст., в другом баллоне — вакуум. Какие давления p_1 и p_2 установятся в баллонах, если их нагреть до температуры $t_2 = 109$ °С?

5

Изотермический процесс

Изотермический процесс (закон Бойля — Мариотта): объем данного количества газа при постоянной температуре T обратно пропорционален его давлению:

$$pV = \text{const} \quad (T = \text{const}, \nu = \text{const}), \quad p_1V_1 = p_2V_2.$$

■ **69.** Изотермический процесс в идеальном газе при постоянном количестве вещества описывается уравнением:

а) $p_1 V_1 = p_2 V_2$; в) $V_1 T_2 = V_2 T_1$;
б) $p_2 V_1 = p_1 V_2$; г) $p_1 T_2 = p_2 T_1$.

■ **70.** График зависимости давления газа от его объема при постоянных температуре и количестве вещества называется:

- а) изохорой; в) изотермой;
б) изобарой; г) адиабатой.

■ **71.** При неизменной температуре и повышении давления объем данного количества вещества:

- а) уменьшается;
б) увеличивается;
в) не изменяется;
г) сначала увеличивается, затем уменьшается.

■ **72.** Сосуд объемом $V_1 = 6,0$ л, заполненный идеальным газом при давлении $p_1 = 1,4 \cdot 10^5$ Па, соединили с пустым сосудом объемом $V_2 = 4,0$ л. Определите установившееся давление p газа после того, как установилась начальная температура.

■ **73.** Определите давление p_1 воздуха в сосуде объемом $V_1 = 20$ л, если при соединении его с сосудом объемом $V_2 = 40$ л, содержащим воздух при давлении $p_2 = 1,5$ атм, после установления начальной температуры установилось давление $p_3 = 3,0$ атм.

■ **74.** Определите глубину h озера, если объем пузырька газа увеличился в $n = 3$ раза при его подъеме со дна озера на поверхность. Температуру воды считайте неизменной. Давление воздуха — нормальное атмосферное.

■ **75.** Стеклоанная трубка длиной $l = 90$ см погружена в ртуть на одну треть. Ее закрывают и вынимают, при этом часть ртути вытекает. Определите высоту h столбика ртути, оставшейся в трубке, если атмосферное давление $p_0 = 1,01 \cdot 10^5$ Па.

■ **76.** Тонкая, запаянная с верхнего конца вертикальная трубка длиной $l = 60$ см опущена в ртуть таким образом, что ее нижний конец находится на глубине $h = 30$ см. Определите высоту h_x столбика ртути в трубке. Атмосферное давление $p_0 = 1,01 \cdot 10^5$ Па.

■ **77.** В вертикальной стеклянной трубке, расположенной открытым концом вверх, находится столбик воздуха высотой $l_1 = 2,0$ см, закрытый столбиком ртути высотой $l = 5,0$ см. Если трубку повернуть открытым концом вниз, то высота воздушного столбика станет

$l_2 = 3,0$ см. Определите атмосферное давление p_0 в месте проведения опыта.

■ **78.** Определите начальное давление p_1 газа, находящегося в сосуде объемом $V_1 = 6,0$ л, если при присоединении к нему пустого сосуда объемом $V_2 = 4,0$ л его давление уменьшилось на $\Delta p = 20$ кПа после установления начальной температуры.

6

Изохорный процесс

Изохорный процесс (закон Шарля): давление данного количества газа при постоянном объеме пропорционально его абсолютной температуре:

$$\frac{p}{T} = \text{const} \quad (V = \text{const}, \quad \nu = \text{const}), \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$$

■ **79.** Изохорный процесс в идеальном газе при постоянном количестве вещества описывается уравнением:

а) $p_1 V_1 = p_2 V_2$; в) $V_1 T_2 = V_2 T_1$;
б) $p_1 T_2 = p_2 T_1$; г) $V_1 T_1 = V_2 T_2$.

■ **80.** График зависимости давления газа от его температуры при постоянных объеме и количестве вещества называется:

а) изохорой; в) изотермой;
б) изобарой; г) адиабатой.

■ **81.** При неизменном объеме и повышении температуры давление данного количества вещества:

а) уменьшается;
б) увеличивается;
в) не изменяется;
г) сначала увеличивается, затем уменьшается.

■ **82.** Определите начальное давление p_1 газа, если при изохорном повышении температуры от $T_1 = 300$ К до $T_2 = 360$ К его давление увеличилось на $\Delta p = 40$ кПа.

■ **83.** Вычислите начальную температуру T_1 газа, если при его изохорном нагревании на $\Delta T = 30$ К давление увеличилось на 6,0 %.

■ 84. В цилиндре под поршнем площадью $S = 1,0 \text{ дм}^2$ находится газ. Для того чтобы поршень остался в исходном положении при увеличении температуры газа в $n = 1,5$ раза, на него необходимо положить груз массой $m = 5,0 \text{ кг}$. Определите начальное давление p_1 газа.

■ 85.* В установленном внутри ракеты контейнере давление было $p_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Определите, во сколько раз увеличилась температура внутри контейнера при взлете ракеты, если установленный в контейнере ртутный барометр стал показывать давление $0,6p_0$. Ракета взлетает вертикально с постоянным ускорением \vec{g} .

7

Изобарный процесс

Изобарный процесс (закон Гей-Люссака): объем данного количества идеального газа при постоянном давлении прямо пропорционален его абсолютной температуре:

$$\frac{V}{T} = \text{const} \quad (p = \text{const}, \nu = \text{const}), \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}.$$

■ 86. Изобарный процесс в идеальном газе при постоянном количестве вещества описывается уравнением:

а) $p_1 V_1 = p_2 V_2$;

в) $V_1 T_2 = V_2 T_1$;

б) $p_1 V_2 = p_2 V_1$;

г) $T_2 V_2 = T_1 V_1$.

■ 87. График зависимости объема газа от его температуры при постоянных давлении и количестве вещества называется:

а) изохорой;

в) изотермой;

б) изобарой;

г) адиабатой.

■ 88. При неизменном давлении и повышении температуры объем данного количества вещества:

а) уменьшается;

б) увеличивается;

в) не изменяется;

г) сначала увеличивается, затем уменьшается.

■ 89. Определите, на сколько градусов ΔT необходимо изобарно нагреть газ, чтобы его объем увеличился в $n = 3$ раза по сравнению с объемом при температуре $T = 300 \text{ К}$.

■ 90. Определите объем V_1 , который займет газ, находящийся в цилиндре с легкоподвижным поршнем, при понижении температуры до $T_1 = 250$ К, если при температуре $T = 350$ К он занимает объем $V = 200$ см³.

■ 91. Определите уменьшение объема (в процентах) идеального газа при его изобарном охлаждении от температуры $T_1 = 300$ К до температуры $T_2 = 250$ К.

■ 92. Определите температуру T_2 , до которой необходимо изобарно нагреть газ, чтобы его плотность уменьшилась в $k = 1,5$ раза по сравнению с плотностью при температуре $t_1 = 27$ °С.

■ 93. Определите увеличение объема (в процентах) воздушного шара, если его внесли с улицы, где температура воздуха была $t_1 = -23$ °С, в комнату, температура воздуха в которой $t_2 = 27$ °С. Натяжением резины пренебречь.

■ 94. Если газ изохорно нагрели от температуры $t_1 = 20$ °С до температуры $t_2 = 80$ °С, то на сколько процентов необходимо после этого изотермически увеличить объем газа, чтобы давление стало равно начальному?

8

Объединенный газовый закон (уравнение Клапейрона)

Уравнение состояния идеального газа в форме Клапейрона:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}, \quad \frac{pV}{T} = \text{const} \quad (v = \text{const}), \quad R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}.$$

■ 95. Определите давление p_2 , при котором идеальный газ займет объем $V_2 = 6,0$ л после нагревания до температуры $t_2 = 27$ °С, если при температуре $t_1 = -23$ °С и давлении $p_1 = 2,0$ атм он занимал объем $V_1 = 1,0$ л.

■ 96. На сколько процентов необходимо увеличить абсолютную температуру идеального газа при увеличении давления газа в $n = 8$ раз и уменьшении его объема в $k = 5$ раз?

■ **97.** Определите начальное давление p_1 газа, если при уменьшении объема газа в $n = 3$ раза его давление изменилось на величину $\Delta p = 180$ кПа, а абсолютная температура увеличилась на 20 %.

■ **98.** Определите площадь S поперечного сечения трубки, соединяющей два одинаковых сосуда объемами $V = V_1 = V_2 = 0,20$ л, содержащие неон при температуре $T = 320$ К, если столбик ртути, находящийся сначала посередине трубки, сместился на $\Delta l = 5,0$ мм при охлаждении одного сосуда на $\Delta T = 5,0$ К и нагревании второго — на $\Delta T = 5,0$ К.

■ **99.** В горизонтально расположенном и закрытом с обоих концов цилиндре имеется тонкая теплоизолированная легкоподвижная перегородка, которая делит цилиндр на равные части. В обеих частях находится один и тот же газ при нормальных условиях. Определите температуру T_1 , до которой необходимо нагреть газ в одной из частей, чтобы отношение объемов частей стало 4 : 1 при неизменной температуре во второй части.

■ **100.** Определите (в процентах) уменьшение диаметра тонкого резинового шара, заполненного водородом, при погружении его в воду на глубину $h = 50$ м, если температура у поверхности воды $t_1 = 17$ °С, а на глубине $h - t_2 = 10$ °С. Атмосферное давление нормальное.

■ **101.** Определите, во сколько раз изменился объем пузырька воздуха при его подъеме со дна озера глубиной $h = 25$ м к поверхности воды, если температура на дне $t_1 = 8,0$ °С, а на поверхности — $t_2 = 25$ °С. Атмосферное давление нормальное.

■ **102.*** Цилиндрическая пробирка длиной l , содержащая некоторое количество газа при температуре T_1 , полностью погружена в жидкость плотностью ρ так, что дно пробирки касается поверхности жидкости. При этом жидкость заполняет половину пробирки. Затем пробирку поднимают вверх так, что она своим открытым концом едва касается поверхности жидкости. Как надо изменить температуру газа в пробирке, чтобы жидкость снова заполняла половину пробирки? Атмосферное давление p_0 .

■ **103.*** В герметичном вертикальном цилиндрическом сосуде с газом находится в равновесии тяжелый поршень, который может перемещаться без трения. Масса газа и его температура над поршнем и под ним одинаковы. Отношение внутреннего объема верхней части сосуда к внутреннему объему нижней $\eta = 3,0$. Каким станет это соотношение, если температуру газа увеличить в 2 раза?

Графическое представление процессов в идеальном газе

Графики изотермического процесса ($T = \text{const}$) называются **изотермами**, графики изобарного процесса ($p = \text{const}$) называются **изобарами**, графики изохорного процесса ($V = \text{const}$) называются **изохорами**. На рисунке 1 приведены так называемые $p - T$, $V - T$ и $p - V$ -диаграммы изотермических, изохорных и изобарных процессов.

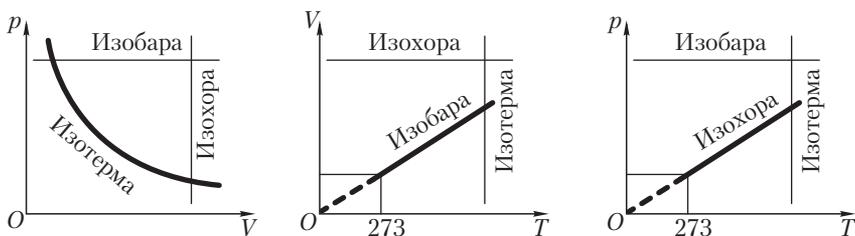


Рис. 1. Диаграммы изопроцессов: $p - V$, $V - T$, $p - T$

- 104. На каком рисунке (рис. 2, 3, 4) изображена изотерма?
- 105. На каком рисунке (рис. 2, 3, 4) изображена изобара?
- 106. На каком рисунке (рис. 2, 3, 4) изображена изохора?

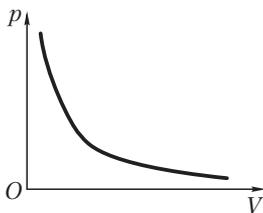


Рис. 2

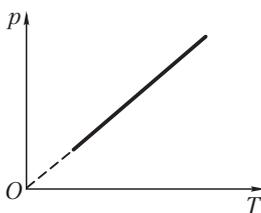


Рис. 3

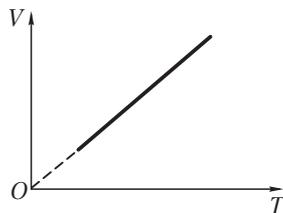


Рис. 4

- 107. Определите, в каком из состояний объем V газа больше и почему, если количество вещества постоянно (рис. 5).
- 108. Определите, в каком из состояний давление p газа больше и почему, если количество вещества постоянно (рис. 6).

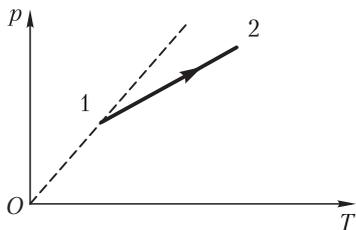


Рис. 5

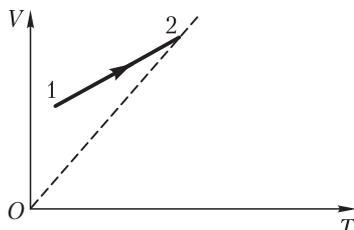


Рис. 6

■ **109.** Покажите точки, соответствующие наибольшему и наименьшему объему газа V в процессе, изображенном на рисунке 7. Количество вещества постоянно.

■ **110.** На рисунке 8 представлена диаграмма $V - T$ зависимости объема данной массы идеального газа от температуры. Как изменялось давление газа при переходе из состояния 1 в состояние 2?

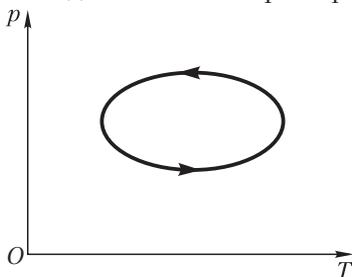


Рис. 7

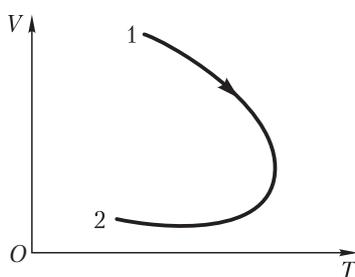


Рис. 8

■ **111.** Определите, уменьшается или увеличивается масса газа в процессе, изображенном на рисунке 9, если газ нагревают при постоянном давлении.

■ **112.** Определите, уменьшается или увеличивается масса газа в процессе, изображенном на рисунке 10, если газ охлаждают при постоянном объеме.

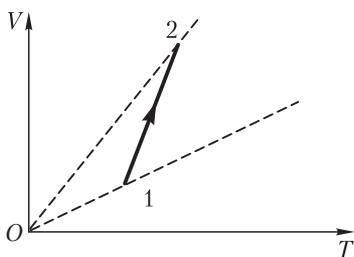


Рис. 9

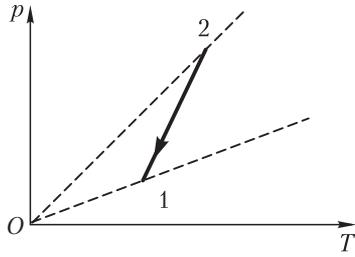


Рис. 10

■ **113.** На рисунке 11 показан процесс в идеальном газе в координатах (V, T) . Постройте качественно графики этого же процесса в координатах (p, T) ; (p, V) .

■ **114.** На рисунке 12 показан процесс в идеальном газе в координатах (p, T) . Постройте качественно графики этого же процесса в координатах (V, T) ; (p, V) .

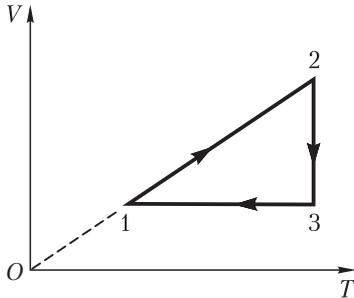


Рис. 11

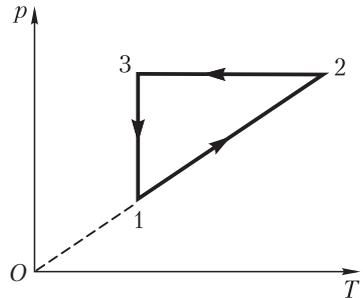


Рис. 12

■ **115.** На рисунке 13 показан процесс в идеальном газе в координатах (p, V) . Постройте качественно графики этого же процесса в координатах (V, T) ; (p, T) .

■ **116.** На рисунке 14 показан процесс в идеальном газе в координатах (V, T) . Постройте качественно графики этого же процесса в координатах (p, T) ; (p, V) .

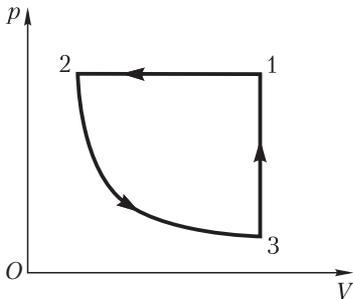


Рис. 13

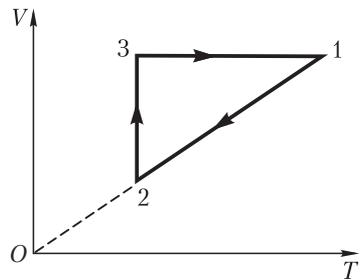


Рис. 14

■ **117.** На рисунке 15 показан процесс в идеальном газе в координатах (p, T) . Постройте качественно графики этого же процесса в координатах (V, T) ; (p, V) .

■ **118.** На рисунке 16 показан процесс в идеальном газе в координатах (p, V) . Постройте качественно графики этого же процесса в координатах (V, T) ; (p, T) .

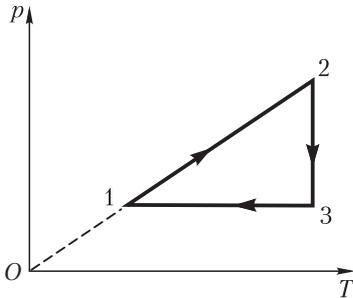


Рис. 15

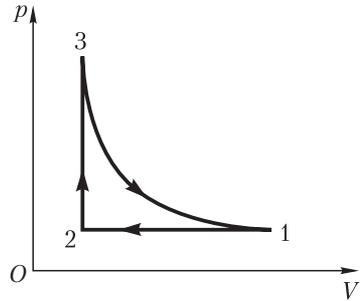
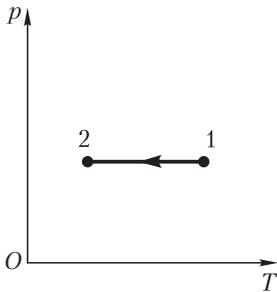
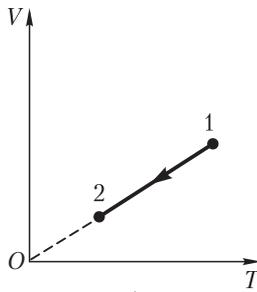


Рис. 16

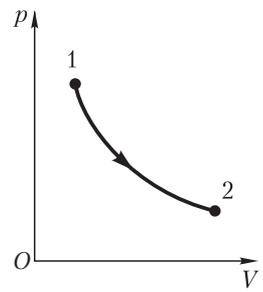
■ **119.** Определите соотношения между объемами, давлениями и температурами одного и того же количества идеального газа в точках 1 и 2 на графиках различных изопроцессов (рис. 17, а – е).



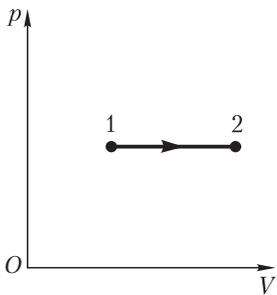
а)



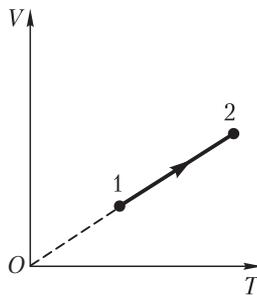
б)



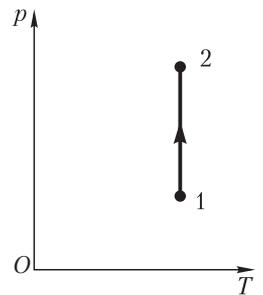
в)



г)



д)



е)

Рис. 17

■ **120.** На рисунке 18 показаны изопроецессы в идеальном газе в координатах (p, V) . Охарактеризуйте указанные процессы.

■ **121.** На рисунке 19 показаны изопроецессы в идеальном газе в координатах (V, T) . Постройте графики этих же процессов в координатах (p, T) ; (p, V) .

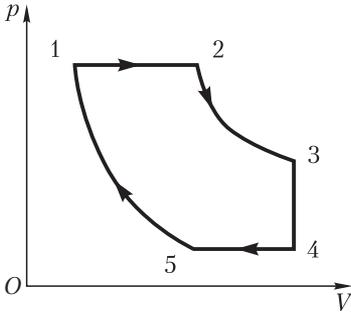


Рис. 18

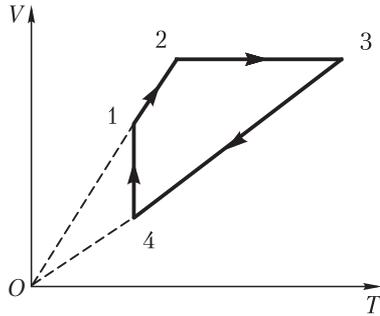


Рис. 19

■ **122.** На рисунке 20 показаны изопроецессы в идеальном газе в координатах (p, V) . Постройте графики этих же процессов в координатах (V, T) ; (p, T) . Точки 2 и 4 лежат на одной изотерме.

■ **123.** На рисунке 21 показаны изопроецессы в идеальном газе в координатах (p, T) . Постройте графики этих же процессов в координатах (V, T) ; (p, V) .

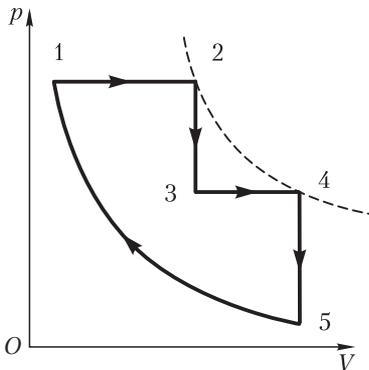


Рис. 20

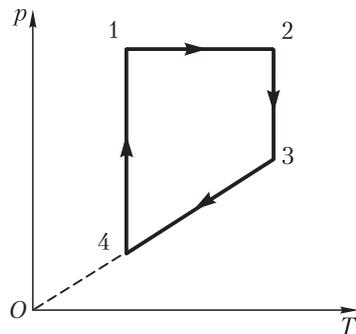


Рис. 21

■ **124.** Идеальный газ сначала изотермически расширяют в $n = 2$ раза, а затем изобарно сжимают в $k = 3$ раза. Постройте графики этого процесса на $p - T$ - и $V - T$ -диаграммах.

■ 125. Давление идеального газа сначала изотермически уменьшают в $n = 4$ раза, а затем изохорно увеличивают в $k = 3$ раза. Постройте графики этого процесса на $p - T$ - и $V - T$ -диаграммах.

10

Поверхностное натяжение жидкостей. Свойства жидкостей

Потенциальную энергию молекул поверхностного слоя называют **поверхностной энергией**.

Величину, характеризующую работой A , которую необходимо совершить для увеличения на единицу площади S свободной поверхности жидкости при постоянной температуре, называют **поверхностным натяжением** σ данной жидкости:

$$\sigma = \frac{A}{\Delta S} = \frac{\Delta U_{\text{пов.}}}{\Delta S}.$$

Поверхностное натяжение σ жидкости численно равно модулю силы поверхностного натяжения, действующей на единицу длины границы раздела жидкости:

$$\sigma = \frac{F_{\text{пов.}}}{l}.$$

Силы поверхностного натяжения направлены по *касательной к поверхности жидкости и перпендикулярны участку контура*, на который они действуют.

Для полностью смачивающей жидкости (рис. 22) плотностью ρ высота подъема h в капилляре радиусом r определяется из условия равновесия столбика жидкости в капилляре (сила поверхностного натяжения $\vec{F}_{\text{пов.}}$ уравновешивает силу тяжести $m\vec{g}$):

$$\sigma 2\pi r = \rho \pi r^2 h g.$$

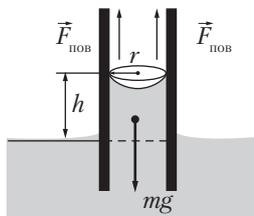


Рис. 22. Силы, действующие на столб жидкости в капилляре

Отсюда

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}.$$

Таким образом, для полностью смачивающей жидкости плотностью ρ высота подъема h в капилляре радиусом r определяется из условия равновесия столбика жидкости в капилляре:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}.$$

■ **126.*** Определите поверхностное натяжение σ глицерина, если на границу его поверхностного слоя длиной $l = 10$ мм действует сила поверхностного натяжения, модуль которой $F = 0,20$ мН.

■ **127.*** Определите массу m водяной капли, вытекающей из вертикальной стеклянной трубки диаметром $d = 0,80$ мм, если температура воды $t = 10$ °С.

■ **128.*** Определите количество N капель бензина, которое получится из объема $V = 2,0$ см³ при температуре $t = 0,0$ °С, если бензин капает из отверстия радиусом $r = 0,60$ мм.

■ **129.*** Определите, будет ли обычная швейная игла длиной $l = 3,5$ см и массой $m = 100$ мг лежать на поверхности воды, если ее положить аккуратно. Температура воды $t = 20$ °С.

■ **130.*** Определите модуль силы F , которую необходимо приложить, чтобы оторвать тонкое медное кольцо радиусом $R = 5,0$ см и массой $m = 4,0$ г, соприкасающееся по окружности с раствором мыла при температуре $t = 20$ °С.

■ **131.*** Определите работу A , которую необходимо совершить для увеличения площади свободной поверхности ртути при температуре $t = 20$ °С на величину $\Delta S = 2,5$ см².

■ **132.*** Определите энергию E , высвобождающуюся при слиянии мелких водяных капель радиусом $r = 2,0$ мкм каждая в одну каплю радиусом $R = 2,0$ мм при температуре $t = 0,0$ °С.

■ **133.*** В городе площадью $S = 200$ км² во время ливня выпало $h = 15$ мм осадков. Определите энергию E , выделившуюся при слиянии капель воды, если капли, достигшие поверхности Земли, имели радиус $R = 2,0$ мм, а образовались они из мелких капель радиусом $r = 1,0$ мкм при температуре $t = 10$ °С.

■ **134.*** В опытах М. В. Ломоносова вода в капиллярной трубке при температуре $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$ поднималась на $n = 26$ линий (1 линия $\approx 2,54$ мм). Определите внутренний диаметр d трубки, которой пользовался М. В. Ломоносов.

■ **135.*** В двух капиллярных трубках разного диаметра, опущенных в воду при температуре $t = 0,0\text{ }^\circ\text{C}$, установилась разность уровней воды $\Delta h_1 = 2,6$ см. При опускании этих же трубок в спирт разность уровней оказалась $\Delta h_2 = 1,0$ см. Определите поверхностное натяжение σ спирта.

■ **136.*** Запаянная сверху капиллярная трубка имеет радиус канала $r = 0,040$ см. Открытым концом трубки касаются поверхности воды при температуре $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$. Определите, какой должна быть длина l трубки, чтобы при этих условиях вода в ней поднялась на высоту $h = 6,0$ мм. Атмосферное давление $p = 1,0$ атм.

■ **137.*** Определите массу m воды, поднявшейся по капиллярной трубке диаметром $d = 0,45$ мм.

■ **138.*** Определите поверхностное натяжение σ спирта, если в капиллярной трубке диаметром $d = 0,15$ мм он поднимается на высоту $h = 7,6$ см при температуре $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$.

■ **139.*** Определите диаметры d капиллярных трубок, если вода в них поднимается на высоту: а) 2,5 см; б) 50 мм; в) 80 мм.

■ **140.*** Определите высоту h поднятия (опускания) в капиллярной трубке диаметром $d = 0,20$ мм при температуре $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$: а) керосина; б) воды; в) ртути.

■ **141.*** Определите радиус r капилляров дерева (ксилемы), необходимый для того, чтобы вода поднималась на высоту $h = 50$ м по стволу дерева только за счет капиллярности.

■ **142.*** Определите высоту h поднятия воды между двумя плоскими стеклянными пластинками, опущенными в нее вертикально с зазором между ними $d = 0,15$ мм.

■ **143.*** Определите количество теплоты Q , выделяемое при поднятии воды по капиллярной трубке радиусом $r = 0,15$ мм, опущенной в воду. Как изменится это количество теплоты, если радиус уменьшится в 2 раза?

■ **144.*** Определите высоту h подъема эфира в капиллярной трубке диаметром $d = 0,63$ мм, если краевой угол на границе соприкосновения стекла, воздуха и эфира равен $\theta = 45^\circ$.

■ 145.* Капиллярная трубка радиусом r и высотой h соединена с широкой трубкой (рис. 23), которая постепенно заполняется каплями воды, падающими через равные промежутки времени. Рассчитайте наибольшую высоту H уровня воды в широкой трубке и наибольшее значение разности ΔH уровней воды в трубках, если поверхностное натяжение воды σ . Нарисуйте график изменения разности уровней воды в обеих трубках с течением времени.

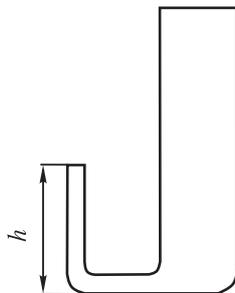


Рис. 23

11

Испарения и конденсация. Насыщенный пар. Влажность воздуха

Для количественной характеристики содержания водяного пара в воздухе используется *абсолютная* и *относительная* влажность.

Абсолютной влажностью ρ называют массу водяного пара, содержащегося в объеме $V = 1 \text{ м}^3$ влажного воздуха (плотность водяных паров):

$$\rho = \frac{pM}{RT},$$

где p — парциальное давление водяного пара, M — молярная масса, R — молярная газовая постоянная, T — абсолютная температура.

Единица абсолютной влажности в СИ — *килограмм на метр кубический* $\left(1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$, хотя чаще используют грамм на сантиметр кубический $\left(1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$.

Относительной влажностью φ называется отношение абсолютной влажности ρ к той массе водяного пара ρ_0 , которое необходимо для насыщения воздуха объемом $V = 1 \text{ м}^3$ при данной температуре:

$$\varphi = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right) \cdot 100 \text{ \%}.$$

Относительную влажность φ можно также определить как отношение давления водяного пара p к давлению насыщенного пара p_0 при данной температуре:

$$\varphi = \left(\frac{p}{p_0} \right) \cdot 100 \%$$

Наиболее точным способом определения относительной влажности является измерение *точки росы* (100 % влажность).

Температура, при которой находящийся в воздухе водяной пар становится насыщенным, называется **точкой росы**.

■ **146.** Определите, выпадет ли ночью при температуре $t_2 = 10^\circ\text{C}$ роса, если вечером при температуре $t_1 = 12^\circ\text{C}$ относительная влажность воздуха $\varphi = 70\%$.

■ **147.** Определите массу m водяного пара в воздухе в комнате объемом $V = 80\text{ м}^3$ при температуре $t = 25^\circ\text{C}$ и относительной влажности $\varphi = 50\%$.

■ **148.** При температуре $t_1 = 15^\circ\text{C}$ относительная влажность воздуха $\varphi = 60\%$. При понижении температуры воздуха до $t_2 = 4,0^\circ\text{C}$ выпала роса. Определите массу m водяного пара, сконденсировавшегося в воздухе объемом $V = 1,0\text{ м}^3$.

■ **149.** Определите плотность $\rho_{\text{н}}$ насыщенных паров воды в помещении объемом $V = 60\text{ м}^3$, если для повышения относительной влажности на величину $\Delta\varphi = 10\%$ при неизменной температуре необходимо испарить воду массой $m = 150\text{ г}$.

■ **150.** Определите массу m воды, которую необходимо испарить в теплице объемом $V = 40\text{ м}^3$ для поддержания в ней относительной влажности не ниже $\varphi_2 = 80\%$ при температуре $t_2 = 30^\circ\text{C}$, если при температуре $t_1 = 14^\circ\text{C}$ относительная влажность была $\varphi_1 = 90\%$.

■ **151.** В комнате объемом $V = 50\text{ м}^3$ относительная влажность воздуха $\varphi_1 = 30\%$. При испарении дополнительно воды массой $m = 80\text{ г}$ влажность воздуха станет $\varphi_2 = 50\%$. Определите установившуюся плотность ρ паров воды в воздухе, если температура воздуха не изменяется.

■ **152.** Определите относительную влажность φ смеси двух порций воздуха объемами $V_1 = 2,0\text{ м}^3$ и $V_2 = 3,0\text{ м}^3$ с относительной влажностью $\varphi_1 = 30\%$ и $\varphi_2 = 40\%$ соответственно, если смесь заняла объем $V = 5,0\text{ м}^3$ при неизменной температуре.

■ **153.** Кондиционер пропускает через комнату каждую секунду воздух объемом $V = 3,0 \text{ м}^3$. Воздух при температуре $t_1 = 40 \text{ °C}$ и влажности $\phi_1 = 80 \%$ берется с улицы. В кондиционере он охлаждается до температуры $t_2 = 5,0 \text{ °C}$, а в комнате нагревается до температуры $t_3 = 25 \text{ °C}$. Какая масса m воды конденсируется каждую секунду в кондиционере при таком режиме его работы? Определите установившуюся в помещении относительную влажность ϕ воздуха.

■ **154.** Цилиндр с подвижным поршнем объемом $V = 30 \text{ л}$ заполнен при температуре $t_1 = 30 \text{ °C}$ воздухом с относительной влажностью $\phi = 40 \%$. Определите необходимое изменение ΔV объема, занимаемого воздухом, чтобы при понижении температуры до $t_2 = 10 \text{ °C}$ пар не конденсировался.

■ **155.** Определите отношение плотности сухого ρ_c и влажного ρ_v воздуха при температуре $t = 15 \text{ °C}$ и нормальном атмосферном давлении, если относительная влажность $\phi = 80 \%$.

■ **156.** Найдите отношение плотностей насыщенного водяного пара ρ и воды ρ_v при температуре $t = 100 \text{ °C}$, если давление насыщенного водяного пара при этой температуре $p_{\text{н}} = 101 \text{ кПа}$, а плотность воды — $\rho_v = 958 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

■ **157.** В сосуде, разделенном перегородкой на две части в отношении $1 : 3$, находится воздух с относительной влажностью $\phi_1 = 40 \%$ и $\phi_2 = 80 \%$ соответственно. Определите относительную влажность воздуха ϕ в сосуде, если убрать перегородку, не изменяя температуру.

■ **158.*** В сосуд без воздуха объемом $V = 5,0 \text{ дм}^3$ наливают воду массой $m_v = 1,0 \text{ г}$. Определите давление p_1 паров в сосуде при температуре $t_1 = 20 \text{ °C}$. Каким станет это давление, если: а) увеличить температуру до $t_2 = 95 \text{ °C}$; б) соединить сосуд с другим сосудом того же объема при той же температуре?

■ **159.*** Под стеклянный колпак поместили два сосуда с водой. Уровни воды в сосудах разные. Объясните, как будут изменяться уровни со временем.

Строение и свойства твердых тел

- **160.** Шар, выточенный из монокристалла, при нагревании может изменить не только свой объем, но и форму. Почему?
- **161.** Какая разница в строении крупинки сахарного песка и куска сахара-рафинада?
- **162.** Какой факт служит доказательством различия скоростей роста кристалла по различным направлениям?
- **163.** Почему в мороз снег скрипит под ногами?
- **164.** Почему холодный воск резать труднее, чем нагретый?
- **165.** Почему в таблицах температуры плавления и удельной теплоты плавления не приводятся данные для стекла?
- **166.** Для чего рама велосипеда делается трубчатой?
- **167.** Что произойдет с бутылкой, если ее наполнить водой и поставить на мороз?
- **168.** Зубные врачи не рекомендуют есть очень горячую (или очень холодную) пищу. Почему?
- **169.** Нарушится ли равновесие чувствительных весов, если одно плечо коромысла нагреть?

ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

13

Количество теплоты. Агрегатные превращения веществ

Количество теплоты Q , необходимое для изменения температуры системы от t_1 до t_2 , пропорционально массе системы m и изменению температуры $\Delta t = t_2 - t_1$. Таким образом, справедливо равенство

$$Q = cm\Delta t = cm(t_2 - t_1),$$

где c — **удельная теплоемкость вещества**.

Если $t_2 > t_1$, то $Q > 0$, что соответствует процессу нагревания, если $t_2 < t_1$, то $Q < 0$, — идет процесс охлаждения.

Количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар или выделяемое при конденсации, называется *теплотой парообразования*:

$$Q = Lm,$$

где $L = \frac{Q}{m}$ — **удельная теплота парообразования**.

Количество теплоты, необходимое для плавления тела или выделяемое при кристаллизации, называется *теплотой плавления*:

$$Q = m\lambda,$$

где $\lambda = \frac{Q}{m}$ — **удельная теплота плавления**.

Количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива массой m , называется *теплотой сгорания* топлива:

$$Q = gm,$$

где $q = \frac{Q}{m}$ — **удельная теплота сгорания (теплотворная способность, калорийность) топлива**.

Уравнение теплового баланса:

в замкнутой системе тел алгебраическая сумма количеств теплоты, отданных и полученных всеми телами, участвующими в теплообмене, равна нулю:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = 0.$$

В зависимости от условий задачи каждое слагаемое уравнения может быть как положительным, так и отрицательным. Общее правило знаков следующее:

количество теплоты, полученное телом, считают положительным ($Q_i > 0$), а отданное — отрицательным ($Q_i < 0$).

■ **170.** Тепловым равновесием называется такое состояние термодинамической системы, при котором:

а) все макроскопические параметры сколь угодно долго остаются неизменными;

б) одна из ее частей за равные промежутки времени отдает другой равное количество теплоты;

в) элементы системы, имеющие одинаковую массу, обладают одинаковой температурой;

г) элементы системы, имеющие одинаковый объем, обладают одинаковой температурой.

■ **171.** В температурной шкале Цельсия за 0°C принята температура:

а) замерзания азота;

б) тающего льда;

в) воздуха на Северном полюсе в полдень;

г) воздуха на Южном полюсе в полночь.

■ **172.** Теплообменом называется процесс:

а) изменения температуры тел в результате трения;

б) передачи энергии от одного тела к другому без совершения работы;

в) замещения холодного воздуха в помещении теплым;

г) нагревания тела.

■ **173.** Воду массой $m = 1,0$ кг нагрели от температуры $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до температуры $t_2 = 80^\circ\text{C}$. Определите количество теплоты Q , полученное водой.

■ **174.** Определите количество теплоты Q , необходимое для плавления льда массой $m = 3,0$ кг при температуре $t = 0,0^\circ\text{C}$.

■ **175.** Чугунная сковорода массой $m = 1,0$ кг разогрета до температуры $t_2 = 250$ °С. Определите увеличение температуры Δt воздуха в кухне, когда сковорода остыла до комнатной температуры $t_1 = 20$ °С. Размеры кухни $3,0 \times 4,0 \times 3,0$ м. Считайте, что кухня теплоизолирована.

Удельная теплоемкость воздуха $c_{\text{в}} = 1,29 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, чугуна — $c_{\text{ч}} = 540 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, плотность воздуха $\rho_{\text{в}} = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

■ **176.** Кусок свинца массой $m = 1,5$ кг расплавился наполовину при сообщении ему количества теплоты $Q = 68$ кДж. Определите начальную температуру t_0 свинца.

■ **177.** На рисунке 24 изображены графики изменения температуры двух тел массами по $m = 2,0$ кг каждое в зависимости от подводимого количества теплоты. Определите их удельные теплоемкости c_1 и c_2 .

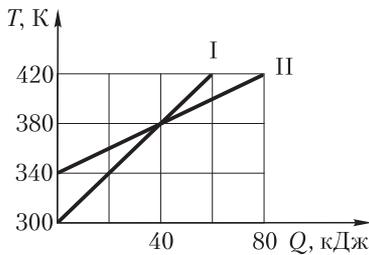


Рис. 24

■ **178.** В ванне объемом $V = 200$ л смешали холодную воду при температуре $t_1 = 10$ °С с горячей при температуре $t_2 = 60$ °С. Определите объемы V_1 холодной и V_2 горячей воды, которые необходимо взять, чтобы установилась температура $t = 40$ °С. Теплоемкостью ванны пренебречь. Ванна полностью заполнена водой.

■ **179.** В воду массой $m_1 = 2,0$ кг при температуре $t_1 = 17$ °С опустили медную гирию массой $m_2 = 0,30$ кг при температуре $t_2 = 200$ °С. Определите установившуюся температуру t . Теплоемкостью сосуда и испарением воды пренебречь.

■ **180.** Когда на поверхность льда при температуре $t_1 = 0,0$ °С поставили железную гирию массой $m = 100$ г, то гирия охладилась до $t_1 = 0,0$ °С и при этом расплавился лед массой $m_1 = 30$ г. Найдите начальную температуру t_0 гири.

■ **181.** Определите количество теплоты Q , выделившееся после абсолютно неупругого столкновения двух шайб массами $m_1 = 50$ г и $m_2 = 40$ г, двигавшихся до столкновения навстречу друг другу поступательно со скоростями, модули которых $v_1 = 4,0 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ и $v_2 = 8,0 \frac{\text{М}}{\text{с}}$.

■ **182.** Определите количество теплоты Q , выделившееся после абсолютно неупругого столкновения двух шайб массами $m_1 = 80$ г и $m_2 = 20$ г, двигавшихся до столкновения поступательно по взаимно перпендикулярным направлениям со скоростями, модули которых $v_1 = 3,0 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ и $v_2 = 8,0 \frac{\text{М}}{\text{с}}$.

■ **183.** Свинцовая пуля массой m , летящая со скоростью, модуль которой $v_1 = 500 \frac{\text{М}}{\text{с}}$, попадает в стальную плиту и отлетает от нее со скоростью, модуль которой $v_2 = 400 \frac{\text{М}}{\text{с}}$. Определите, какая часть пули $\left(\frac{m_x}{m}\right)$ расплавилась, если температура пули перед ударом $t = 87^\circ\text{C}$ и во внутреннюю энергию пули перешло $\eta = 80\%$ энергии, выделившейся при ударе пули о плиту.

■ **184.** Объясните, почему сырая вода закипает быстрее, чем кипяченая. Закипит ли сырая вода в кастрюле, плавающей в кипящей кипяченой воде?

■ **185.** Для охлаждения воды массой $m = 600$ г, имеющей температуру $t_1 = 25^\circ\text{C}$, в нее бросают взятые из холодильника брусочки льда объемом $V = 6,4 \text{ см}^3$, температура которых $t_2 = -5,0^\circ\text{C}$. Сколько брусочков n льда необходимо бросить для охлаждения воды до температуры $t = 5,0^\circ\text{C}$ $\left(c_{\text{л}} = 2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}\right)$?

■ **186.** В сосуд, содержащий воду массой $m_1 = 1,5$ кг при температуре $t_1 = 15^\circ\text{C}$, впускают водяной пар массой $m_2 = 200$ г при температуре $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Определите температуру t после установления теплового равновесия.

■ **187.** Смесь, состоящую из льда массой $m_1 = 5,0$ кг и воды массой $m_2 = 15$ кг при общей температуре $t = 0,0^\circ\text{C}$, нагревают до

температуры $t_1 = 80^\circ\text{C}$ пропусканием водяного пара при температуре $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Определите необходимую для этого массу m пара.

■ **188.** При проведении эксперимента было установлено, что температура ледяной воды массой m в легком сосуде, подвешенном по середине комнаты, поднялась на $\Delta t = 4,0^\circ\text{C}$ за промежуток времени $\tau_1 = 30$ мин. Когда же в сосуде находилось такое же количество льда, то на его таяние потребовался промежуток времени $\tau_2 = 10$ ч. Определите на основании этого эксперимента удельную теплоту плавления λ льда. Удельную теплоемкость воды считать известной.

■ **189.** В сосуде нагревают воду объемом $V = 1,0$ л и лед массой $m = 50$ г. Начальная температура $t = 0,0^\circ\text{C}$. Определите промежуток времени τ , который потребуется для закипания воды, если мощность нагревателя $P = 500$ Вт, а его КПД $\eta = 60\%$.

■ **190.** В воду массой $m_1 = 4,0$ кг при температуре $t = 80^\circ\text{C}$ добавили воду массой $m_2 = 2,0$ кг. Определите начальную температуру t_0 добавленной воды, если начальная температура снизилась на $k = 10\%$.

■ **191.** В холодную воду массой $m_1 = 3,0$ кг при температуре $t_0 = 30^\circ\text{C}$ добавили горячую воду массой $m_2 = 2,0$ кг при температуре $t = 70^\circ\text{C}$. На сколько процентов повысится начальная температура холодной воды?

■ **192.** Смешали горячую воду при температуре $t_1 = 60^\circ\text{C}$ и холодную воду при температуре $t_2 = 10^\circ\text{C}$. Определите необходимое отношение масс $\frac{m_1}{m_2}$ воды, при котором температура смеси стала равной $t = 25^\circ\text{C}$.

■ **193.** Определите температуру воды, если при ее смешивании с горячей водой при температуре $t_1 = 90^\circ\text{C}$ температура смеси стала равной $t = 40^\circ\text{C}$, а отношение масс горячей и холодной воды $\frac{m_1}{m_2} = 0,2$.

■ **194.** В теплоизолированный алюминиевый сосуд при температуре $t_1 = 300^\circ\text{C}$ положили лед массой $m_1 = 500$ г при температуре $t_2 = -5,0^\circ\text{C}$. Определите массу M сосуда, если в нем оказался лед массой $m_3 = 400$ г, смешанный с водой.

■ **195.** В воду массой $m_1 = 5,0$ кг при температуре $t = 80^\circ\text{C}$ добавили холодную воду массой $m_2 = 2,0$ кг. Найдите начальную температуру t_0

холодной воды, если начальная температура горячей воды снизилась на $k = 5,0\%$.

■ **196.** В холодную воду массой $m_1 = 4,0$ кг при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$ добавили горячую воду массой $m_2 = 2,0$ кг. При этом начальная температура горячей воды снизилась на $k = 50\%$. Найдите начальную температуру t_0 горячей воды.

■ **197.** В сосуд с водой бросают кусочки тающего льда при температуре $t_0 = 0,0^\circ\text{C}$ при непрерывном перемешивании. Вначале кусочки льда тают, но в некоторый момент времени лед перестает таять. На сколько процентов при этом увеличилась начальная масса воды, если начальная температура $t = 25^\circ\text{C}$? Теплоемкостью сосуда и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

■ **198.** В сосуд с водой при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$ опущена трубка, через которую пропускают пар при температуре $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Вначале масса воды увеличивалась, но в некоторый момент времени масса воды перестает увеличиваться, хотя пар по-прежнему пропускают. Найдите начальную массу M воды, если к моменту прекращения конденсации пара начальная масса воды увеличилась на $m = 30$ г. Потерями теплоты пренебречь.

■ **199.** В каком отношении следует смешать две массы воды, взятые при температурах $t_1 = 55^\circ\text{C}$ и $t_2 = 0^\circ\text{C}$, чтобы температура смеси стала равной $t = 21^\circ\text{C}$?

■ **200.** Для нагревания на спиртовке воды массой $m_1 = 300$ г в железном сосуде теплоемкостью $C = 42 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}$ от температуры $t_1 = 18^\circ\text{C}$ до температуры кипения был израсходован спирт массой $m_2 = 7,0$ г. Определите КПД η спиртовки.

■ **201.** Найдите массу m природного газа, который необходимо сжечь, чтобы превратить в пар лед массой $m_1 = 4,0$ кг при начальной температуре $t_1 = -20^\circ\text{C}$, используя нагреватель с КПД $\eta = 60\%$.

■ **202.** Определите массу m льда, взятого при температуре $t = -10^\circ\text{C}$, которую можно растопить за промежуток времени $\tau = 10$ мин на установке, работающей от сети напряжением $U = 220$ В при силе тока $I = 3,0$ А, если КПД установки $\eta = 80\%$.

■ **203.** В алюминиевую кастрюлю массой $m_1 = 800$ г, в которую налита вода массой $m_2 = 2,0$ кг, опущен электронагреватель сопротивлением $R = 50$ Ом, по которому проходит ток силой $I = 4,5$ А. На сколько градусов Δt нагреется вода в кастрюле за промежуток времени $\tau = 10$ мин, если потери тепла составляют 15% ?

■ **204.** Найдите температуру t смеси, если смешать три порции некоторой жидкости массами m , $2m$ и $3m$ и температурами $t_1 = 10^\circ\text{C}$, $t_2 = 40^\circ\text{C}$ и $t_3 = 80^\circ\text{C}$ соответственно.

■ **205.** Найдите температуру t смеси, если смешать три различные жидкости одинаковыми массами с удельными теплоемкостями C , $1,1C$ и $1,2C$ и температурами $t_1 = 20^\circ\text{C}$, $t_2 = 40^\circ\text{C}$ и $t_3 = 100^\circ\text{C}$ соответственно.

14

Работа в термодинамике

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

где A — работа газа, A' — работа внешних сил, V_1 (V_2) — начальный (конечный) объем газа, ΔV — изменение объема, p — давление газа в данном процессе.

При постоянном давлении p с учетом уравнения Клапейрона — Менделеева находим $p\Delta V = \frac{m}{M}R\Delta T$, тогда выражение для работы:

$$A = \frac{m}{M}R\Delta T,$$

где m — масса газа, M — молярная масса, R — молярная газовая постоянная, ΔT — изменение температуры в данном процессе.

■ **206.** Определите работу A , совершенную газом, если при постоянном давлении $p = 12$ кПа объем газа увеличился от $V_1 = 2,0$ дм³ до $V_2 = 10$ дм³.

■ **207.** Определите изменение ΔV занимаемого газом объема, если при изобарном расширении при давлении $p = 10$ кПа газ совершил работу $A = 50$ кДж.

■ **208.** Определите начальный объем V_0 газа, если при его изобарном сжатии при давлении $p = 120$ кПа совершена работа $A = 36$ кДж и температура газа уменьшилась в $n = 2,0$ раза.

■ **209.** Определите работу A , совершенную газом, количество вещества которого $\nu = 5,0$ моль, при изобарном повышении температуры на $\Delta T = 20$ К.

■ **210.** Определите изменение температуры ΔT при изобарном нагревании углекислого газа массой $m = 1,00$ кг, если им была совершена работа $A = 50,0$ кДж.

■ **211.** Определите отношение работ $\frac{A_1}{A_2}$, совершенных кислородом массой $m_1 = 2,0$ кг и азотом массой $m_2 = 1,5$ кг при их изобарном нагревании до одной и той же температуры. Начальные температуры газов одинаковые.

■ **212.** Вычислите начальную температуру T_0 идеального газа, количество вещества которого $\nu = 4,0$ моль, если сначала при изохорном охлаждении давление газа уменьшилось в $n = 2,5$ раза, а затем он был изобарно нагрет до начальной температуры и при этом совершил работу $A = 10$ кДж.

■ **213.** Вычислите работу A , совершаемую идеальным одноатомным газом, количество вещества которого $\nu = 5,0$ моль, при его изобарном расширении, если концентрация молекул газа в конечном состоянии втрое меньше, чем в начальном при температуре $t = 17$ °С.

■ **214.** Температура воздуха в комнате объемом $V_1 = 70$ м³ была $T_1 = 280$ К. После того как протопили печь, температура поднялась до $T_2 = 296$ К. Найдите работу A , совершенную воздухом при его расширении, если давление p постоянно и равно 100 кПа.

■ **215.** В вертикально расположенном цилиндре, площадь основания которого $S = 1,00$ дм², под поршнем массой $m = 10,0$ кг, скользящим без трения, находится воздух. При изобарном нагревании воздуха поршень поднялся на высоту $h = 20,0$ см. Найдите работу A , которую совершил воздух под поршнем, если наружное давление $p = 100$ кПа.

■ **216.** Какую работу A совершил идеальный газ, количество вещества которого $\nu = 1,0$ моль, при нагревании на $\Delta T = 100$ К, если объем газа изменялся при этом по закону $V = \alpha T$, где α – постоянный коэффициент?

■ **217.** Идеальный газ массой m , находящийся при температуре T , охлаждается изохорно так, что давление уменьшается в n раз. Затем газ расширяется при постоянном давлении. В конечном состоянии

его температура равна начальной. Определите графически совершенную газом работу A . Молярная масса газа M .

■ **218.** В цилиндре, закрытом тяжелым легкоподвижным поршнем, находится азот массой $m = 10$ г. Определите работу A , совершаемую газом при его нагревании от температуры $t_1 = 20$ °С до температуры $t_2 = 600$ °С.

■ **219.** Наполненный воздухом шар диаметром $d_1 = 40,0$ см находится под водой на глубине $h_1 = 20,0$ м. Затем шар погружается еще глубже, и его диаметр становится $d_2 = 39,6$ см. Определите совершенную воздухом работу A . Положительная или отрицательная эта величина? Температура газа не меняется.

■ **220.*** Определите работу A , совершенную идеальным одноатомным газом в количестве $\nu = 6,0$ моль при расширении, если при этом его температура увеличивается на $\Delta T = 40$ К, а давление изменяется по закону $p = \alpha V$, где α — некоторая константа.

■ **221.*** Температура некоторой массы m идеального газа молярной массой M меняется по закону $T = \alpha V^2$, где α — некоторая константа. Найдите работу A , совершенную газом при увеличении объема от V_1 до V_2 .

■ **222.*** При изобарном и изотермическом процессах из одного и того же состояния объем газа увеличился в 2 раза. В каком из этих процессов газ совершил бóльшую работу? Ответ обоснуйте.

15

Внутренняя энергия. Первый закон термодинамики

Для идеального одноатомного газа, молекулы которого не взаимодействуют, внутренняя энергия определяется только температурой $U = U(T)$:

$$U = N \langle W_k \rangle = N \frac{3}{2} kT = \nu N_A \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT,$$

где $\langle W_k \rangle$ — средняя кинетическая энергия одной молекулы, N_A — постоянная Авогадро, R — универсальная молярная постоянная,

k — постоянная Больцмана, N — число молекул газа, m — масса газа, M — молярная масса газа, ν — количество вещества.

С учетом уравнения состояния идеального газа в форме Клапейрона — Менделеева выражение для внутренней энергии идеального одноатомного газа принимает вид:

$$U = \frac{3}{2} pV.$$

Первый закон термодинамики: количество теплоты, сообщенное системе, расходуется на увеличение ее внутренней энергии и на работу, совершаемую системой:

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

Изотермический процесс ($T = \text{const}$):

$$Q = A.$$

При изотермическом процессе все сообщенное газу количество теплоты расходуется на совершение работы.

Изохорный процесс ($V = \text{const}$):

$$Q = \Delta U.$$

При изохорном процессе все сообщенное количество теплоты расходуется на изменение внутренней энергии.

Изобарный процесс ($p = \text{const}$):

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

При изобарном процессе количество теплоты, сообщенное системе, расходуется на изменение внутренней энергии и на совершение работы.

Термодинамический процесс, происходящий без обмена теплотой между системой и окружающей средой ($Q = 0$), называется **адиабатным процессом**:

$$A = -\Delta U.$$

■ **223.** Согласно первому закону термодинамики:

а) любая тепловая машина, работающая с нагревателем при температуре T_1 и холодильником при температуре T_2 , не может иметь КПД, превышающий КПД идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно;

б) внутренняя энергия идеального одноатомного газа прямо пропорциональна его абсолютной температуре;

в) количество теплоты, сообщенное системе извне, расходуется на увеличение ее внутренней энергии и на работу, совершаемую системой против внешних сил;

г) термодинамический процесс, происходящий без обмена теплотой между системой и окружающей средой ($Q = 0$), называется адиабатным процессом.

■ **224.** Определите внутреннюю энергию U одноатомного идеального газа, количество вещества которого $\nu = 10$ моль, при температуре $t = 27^\circ\text{C}$.

■ **225.** Сравните внутренние энергии свинца массой $m = 600$ г в твердом и жидком состояниях при температуре плавления.

■ **226.** Найдите изменение внутренней энергии ΔU гелия массой $m = 200$ г при увеличении температуры на $\Delta t = 20^\circ\text{C}$.

■ **227.** Определите работу A , совершенную газом, если на его нагревание было затрачено $Q = 1,5$ кДж теплоты и его внутренняя энергия увеличилась на $\Delta U = 500$ Дж.

■ **228.** Определите внутреннюю энергию U одноатомного идеального газа в конечном состоянии, если он изотермически расширился из начального состояния с давлением $p = 100$ МПа и объемом $V_1 = 2,0$ л до объема $V_2 = 10$ л.

■ **229.** Определите давление p газа, если при изобарном нагревании ему было сообщено $Q = 24$ Дж теплоты и внутренняя энергия газа возросла на $\Delta U = 10$ Дж, а объем увеличился на $\Delta V = 4,0$ дм³.

■ **230.** Определите изменение внутренней энергии ΔU идеального газа, количество вещества которого $\nu = 2,5$ моль, при его изобарном нагревании от температуры $T_1 = 300$ К до температуры $T_2 = 320$ К, если газу сообщено $Q = 600$ Дж теплоты.

■ **231.** Определите изменение внутренней энергии ΔU криптона при изохорном сжатии, если его начальная температура уменьшилась в $n = 2$ раза, начальное давление $p = 1,2$ атм, объем $V = 20$ л.

■ **232.** Определите, как уменьшилась внутренняя энергия ΔU одноатомного идеального газа, если его объем уменьшился в $k = 4$ раза, а давление возросло в $n = 6$ раз.

■ **233.** Гелий массой $m = 50$ г изобарно нагревают на $\Delta T = 50$ К. Определите работу A , совершаемую газом, и количество теплоты Q , которое ему сообщили при этом.

■ **234.** Определите начальную внутреннюю энергию U_1 идеального газа, если при изобарном нагревании при давлении $p = 200$ кПа ему

было сообщено $Q = 900$ Дж теплоты. При этом объем газа увеличился от $V_1 = 2,0$ л до $V_2 = 4,0$ л и его внутренняя энергия достигла значения $U_2 = 600$ Дж.

■ **235.** Определите объем V , занимаемый одноатомным идеальным газом при температуре $T_1 = 290$ К и давлении $p = 50$ кПа, если для его изохорного нагревания до температуры $T_2 = 350$ К требуется $Q = 5,4$ кДж теплоты.

■ **236.** Определите молярную массу M идеального газа массой $m = 2,0$ кг, если для его изобарного нагревания на $\Delta T = 10$ К понадобилось теплоты на $\Delta Q = 41,55$ кДж больше, чем для изохорного.

■ **237.** Идеальный газ перешел из состояния 1 ($p_1 = 50$ кПа, $V_1 = 5,0$ м³) в состояние 2 ($p_2 = 25$ кПа, $V_2 = 2,0$ м³) в первый раз сначала по изохоре, затем по изобаре, а во второй — сначала по изобаре, затем по изохоре. Определите разность выделившихся при этом количеств теплоты ΔQ .

■ **238.** Одноатомный идеальный газ, количество вещества которого $\nu = 1,0$ моль, сначала нагревают, а затем охлаждают так, что он совершает циклический процесс, состоящий из изотермы 1—2, изохоры 2—3 и изобары 3—1. Определите количество теплоты Q , отданное газом в процессе охлаждения. Давление и объем газа в состоянии 1 равны p_1 и V_1 , давление газа в состоянии 2 — p_2 .

■ **239.** Шар диаметром $d_1 = 50,0$ см, наполненный воздухом, находится под водой на глубине $h = 10,0$ м. При дальнейшем погружении шара его диаметр становится равным $d_2 = 49,5$ см. Найдите количество теплоты Q , сообщенное шару, если его внутренняя энергия при этом увеличилась на $\Delta U = 20,0$ Дж. Атмосферное давление нормальное ($p_0 = 1,00 \cdot 10^5$ Па).

■ **240.** Определите модуль минимальной скорости v , с которой должна лететь свинцовая дробинка, чтобы при ударе о препятствие она расплавилась. Считайте, что $k = 80,0$ % кинетической энергии превратилось во внутреннюю энергию дробинки, а температура дробинки до удара была $t = 127$ °С.

■ **241.** Определите внутреннюю энергию U смеси гелия массой $m_1 = 10$ г и неона массой $m_2 = 20$ г при температуре $T = 320$ К.

■ **242.** Определите изменение внутренней энергии ΔU смеси аргона массой $m_1 = 10$ г и неона массой $m_2 = 20$ г при нагревании на $\Delta T = 40$ К.

■ 243.* Определите удельную теплоемкость $c_{\text{см}}$ смеси неона массой $m_1 = 8,0$ г и криптона массой $m_2 = 42$ г, считая газы идеальными, если они находятся в сосуде постоянного объема.

■ 244.* Температура одноатомного идеального газа массой m и молярной массой M повышается на величину ΔT один раз при постоянном давлении p , а другой раз — при постоянном объеме V . Определите, на сколько отличаются друг от друга количества теплоты Q_p и Q_V , сообщенные газу, и удельные теплоемкости газа при постоянном давлении c_p и постоянном объеме c_V .

16

Циклические процессы. Тепловые двигатели

Тепловым двигателем называется устройство, превращающее внутреннюю энергию топлива в механическую энергию.

Циклическим или **круговым процессом** называется такая последовательность термодинамических процессов, в результате которой система возвращается в начальное состояние.

Коэффициент полезного действия (КПД) η теплового двигателя определяют как отношение совершенной работы A к количеству тепла Q_1 , полученному от нагревателя:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (0 < \eta < 1).$$

Наиболее эффективный (обладающий максимальным КПД) цикл теплового двигателя (цикл Карно) состоит из двух изотерм

и двух адиабат: $\eta_k = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$.

■ 245. Определите КПД η теплового двигателя, если он совершает работу $A = 400$ Дж, получая при этом от нагревателя теплоту $Q_1 = 500$ Дж.

■ 246. Определите работу A , совершенную газом в замкнутом цикле, если он получил от нагревателя теплоту $Q_1 = 540$ Дж, а КПД цикла $\eta = 20\%$.

■ **247.** Вычислите работу A , совершаемую тепловым двигателем за один цикл, если холодильнику передается теплота $Q = 200$ Дж, а КПД машины $\eta = 40\%$.

■ **248.*** Во сколько раз абсолютная температура нагревателя больше абсолютной температуры холодильника идеального теплового двигателя, работающего по циклу Карно, если его КПД $\eta = 75\%$?

■ **249.*** Определите, во сколько раз увеличится КПД идеального теплового двигателя, работающего по циклу Карно, абсолютная температура нагревателя которого $T_1 = 500$ К, холодильника — $T_2 = 300$ К, если абсолютную температуру нагревателя увеличить на $\Delta T_1 = 50$ К, а холодильника — уменьшить на $\Delta T_2 = 100$ К.

■ **250.*** Определите количество теплоты Q_2 , которое отдается за один цикл холодильнику, если идеальный тепловой двигатель, работающий по циклу Карно, совершает за один цикл работу $A = 200$ Дж. Температура нагревателя $T_1 = 400$ К, а холодильника — $T_2 = 300$ К.

■ **251.*** В идеальном тепловом двигателе, работающем по циклу Карно, газ отдает холодильнику теплоту $Q_2 = 14$ кДж. Определите температуру T_1 нагревателя, если при температуре холодильника $T_2 = 280$ К совершаемая за цикл работа составляет $A = 6,0$ кДж.

■ **252.** Определите КПД η паровой турбины, если для получения пара с необходимой температурой сжигают дизельное топливо массой $m = 0,30$ кг. Пар при этом совершает работу $A = 3,6$ МДж.

■ **253.** Определите КПД η двигателя автомобиля мощностью $P = 25$ кВт, если при скорости, модуль которой $v = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, двигатель

потребляет бензин объемом $V = 10$ л на пути $l = 100$ км.

■ **254.** Определите работу A , совершаемую идеальным одноатомным газом в цикле 1–2–3–1 (рис. 25), где $p_0 = 1,2 \cdot 10^5$ Па, $V_0 = 1,5$ м³.

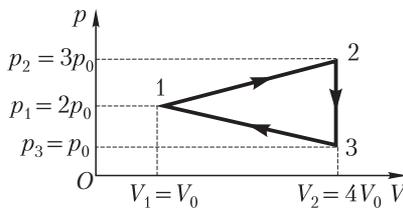


Рис. 25

■ **255.** Определите работу A , совершаемую идеальным одноатомным газом за один цикл $1-2-3-4-1$, состоящий из двух изохор $1-2$ и $3-4$ и двух изобар $2-3$ и $4-1$ (рис. 26), если максимальные значения объема и давления в цикле в $n = 4,0$ раза больше их минимальных значений $p_{\min} = 100$ кПа и $V_{\min} = 2,0$ м³.

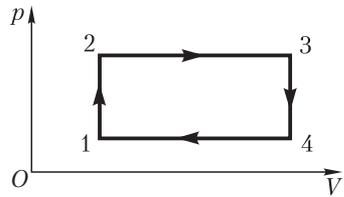


Рис. 26

■ **256.*** В котле паровой турбины на производство энергии $E = 3,6$ МДж расходуется дизельное топливо массой $m = 0,35$ кг. Температура пара, который поступает в турбину, $T_1 = 520$ К, температура холодильника $T_2 = 300$ К. Определите, во сколько раз КПД турбины η_1 меньше КПД идеальной тепловой машины η_2 . Машина работает при тех же температурах.

■ **257.*** Азот, количество вещества которого $\nu = 1$ моль, является рабочим телом в замкнутом цикле $1-2-3-4-1$ (рис. 27). Известны $p_1 = 2,0$ атм, $V_1 = 10$ л, $T_1 = 244$ К, $p_2 = 4,0$ атм, $V_2 = 20$ л и удельные теплоемкости азота при постоянном объеме

$$c_V = 750 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_p = 1,05 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Определите, на каких участках цикла теплота поступает в систему и в каких количествах.

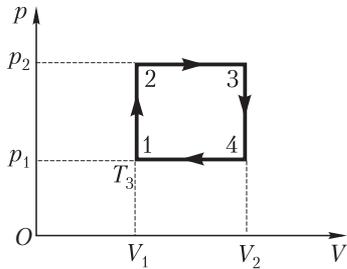


Рис. 27

■ **258.*** Определите КПД η цикла, проводимого с одноатомным идеальным газом, который состоит из двух изобар при давлениях p и αp ($\alpha > 0$) и двух изохор при объемах V и βV ($\beta > 0$) (рис. 28). Найдите, при каких значениях α и β достигается максимальное значение КПД η_{\max} цикла, и вычислите величину η_{\max} .

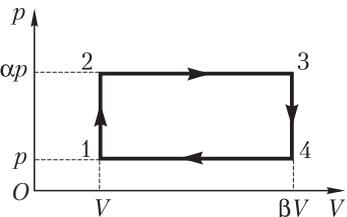


Рис. 28

■ **259.*** В цилиндре двигателя при работе по циклу Карно образуются газы, температура которых $t_1 = 727$ °С. Температура отработанного газа $t_2 = 100$ °С. Двигатель расходует в час топливо массой

$m = 36$ кг, удельная теплота сгорания которого $q = 43 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$. Определите максимальную полезную мощность P_{max} , развиваемую этим двигателем.

■ **260.*** Определите КПД η цикла 1–2–3–1 (рис. 29), совершаемого идеальным одноатомным газом, если $p_2 = 3p_1$, $V_2 = 2V_1$.

■ **261.*** Определите КПД η цикла 1–2–3–4–1 (рис. 30), совершаемого идеальным одноатомным газом.

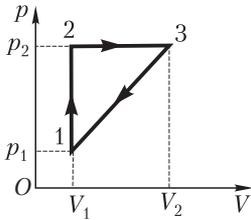


Рис. 29

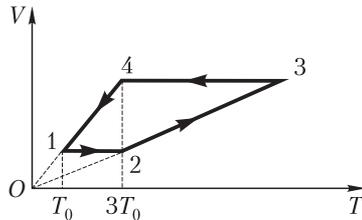


Рис. 30

■ **262.*** Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого $\nu = 1$ моль, переводится из начального состояния 1 в конечное состояние 4 в ходе процесса 1–2–3–4 (рис. 31). Определите количество теплоты Q , полученное газом, если разность начальной и конечной температур $\Delta T = 100$ К.

■ **263.*** Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого $\nu = 1$ моль, совершает замкнутый цикл 1–2–3–1, состоящий из процесса с линейной зависимостью давления от объема, изобары и изохоры (рис. 32). Определите количество теплоты Q подведенное к газу на участке цикла, где его температура растет. Температура газа в состояниях 1 и 2 $T = 300$ К. Отношение объемов на изобаре

$$\frac{V_2}{V_3} = \frac{3}{2}.$$

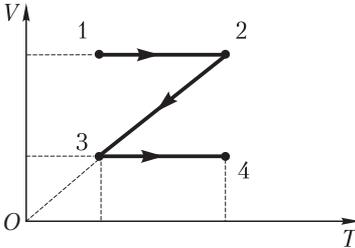


Рис. 31

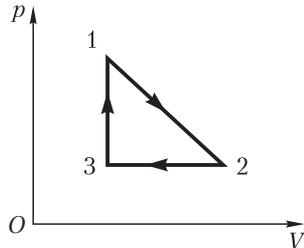


Рис. 32

■ **264.*** На рисунке 33 показаны V – T -диаграммы двух циклических процессов. В каком процессе газ совершает большую работу: $1-2-3-1$ или $1-3-4-1$?

■ **265.*** Цикл состоит из двух изохор и двух изобар (рис. 34). Температуры идеального газа в точках 1 и 3 соответственно T_1 и T_3 . Определите работу A , совершенную газом ($\nu = 1$ моль) за цикл, если известно, что точки 2 и 4 лежат на одной изотерме.

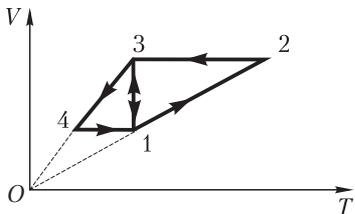


Рис. 33

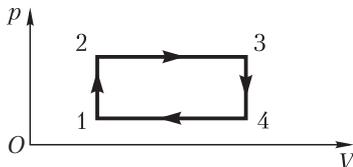


Рис. 34

■ **266.*** На p – V -диаграмме (рис. 35) изображен замкнутый цикл, проведенный с идеальным газом, количество вещества которого $\nu = 1$ моль. Участки $1-2$ и $3-4$ графика – прямые, проходящие через начало координат, а участки $2-3$ и $1-4$ – изотермы. Нарисуйте график этого процесса на V – T -диаграмме. Найдите объем V_3 , если известны объемы V_1 и $V_2 = V_4 = V$.

■ **267.*** Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого $\nu = 1$ моль, переводится из начального состояния 1 в конечное состояние 4 в процессе $1-2-3-4-1$ (рис. 36). Определите количество теплоты Q , полученное газом, если разность начальной и конечной температур составляет $\Delta T = 200$ К.

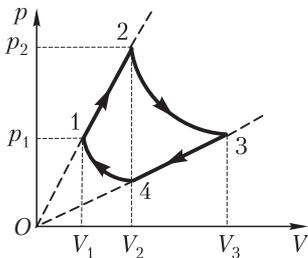


Рис. 35

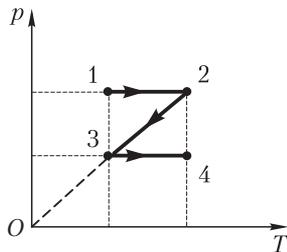


Рис. 36

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Единицы измерения основных величин, встречающихся в электростатике

Наименование величины	Обозначение	Название единицы	Выражение через основные единицы СИ
Электрический заряд	q	Кулон (Кл)	$A \cdot c$
Электрический потенциал, разность потенциалов, напряжение	φ $\varphi_1 - \varphi_2$ U	Вольт (В)	$m^2 \cdot kg \cdot c^{-3} \cdot A^{-1}$
Напряженность электрического поля	E	Вольт на метр $\left(\frac{B}{M}\right)$	$m \cdot kg \cdot c^{-3} \cdot A^{-1}$
Емкость	C	Фарад (Ф)	$A^2 \cdot c^4 \cdot m^{-2} \cdot kg^{-1}$

17

Электрический заряд. Закон сохранения заряда. Закон Кулона

Закон сохранения электрического заряда: в любой замкнутой (электрически изолированной) системе алгебраическая сумма электрических зарядов остается постоянной при любых взаимодействиях внутри нее:

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const.}$$

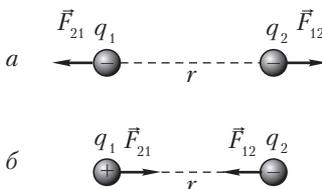


Рис. 37. \vec{F}_{12} — сила, действующая на заряд 2 со стороны заряда 1;
 \vec{F}_{21} — сила, действующая на заряд 1 со стороны заряда 2

Модуль силы F взаимодействия двух неподвижных точечных электрических зарядов q_1, q_2 в диэлектрике с диэлектрической проницаемостью ϵ прямо пропорционален произведению их модулей, обратно пропорционален квадрату расстояния r между ними:

$$F_{\epsilon} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{\epsilon r^2} = k \frac{|q_1||q_2|}{\epsilon r^2},$$

где $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ — коэффициент пропорциональности,

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ — электрическая постоянная.

Силы Кулона направлены по прямой линии, соединяющей заряды. Заряд q_1 действует на заряд q_2 с силой \vec{F}_{12} , а заряд q_2 действует на заряд q_1 с силой \vec{F}_{21} (рис. 37).

■ **268.** Разноименные точечные заряды:

- а) не взаимодействуют;
- б) притягиваются;
- в) отталкиваются;
- г) взаимодействуют только в вакууме.

■ **269.** Электрические заряды в вакууме:

- а) взаимодействуют;
- б) не взаимодействуют;
- в) взаимодействуют, если они одного знака;
- г) взаимодействуют, если они разных знаков.

■ **270.** Закон Кулона для модуля F силы взаимодействия двух точечных положительных зарядов q_1 и q_2 , находящихся в вакууме на расстоянии r друг от друга, записывается в виде:

а) $F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2}$; в) $F = k|q_1||q_2|r^2$;

б) $F = \frac{k|q_1||q_2|}{r}$; г) $F = \frac{k(|q_1|+|q_2|)}{r^2}$.

■ **271.** Модуль силы взаимодействия электрических зарядов имеет наибольшее значение в:

- а) воде;
- б) вакууме;
- в) парафине;
- г) воздухе.

- **272.** Какое число N электронов соответствует заряду $q = -200$ мкКл?
- **273.** Три одинаковых маленьких шарика имеют заряды $q_1 = +5$ нКл, $q_2 = -9$ нКл и $q_3 = +13$ нКл соответственно. Определите заряды шариков после их соприкосновения.
- **274.** Чему равен суммарный заряд q всех электронов в воде массой $m = 1,0$ г?
- **275.** Определите модуль силы взаимодействия F двух одинаковых точечных зарядов в вакууме $q_1 = q_2 = 1,0$ нКл каждый, если расстояние между ними $r = 1,0$ мкм.
- **276.** Определите модуль силы взаимодействия F двух находящихся в вакууме точечных зарядов $q_1 = 6,0$ мкКл и $q_2 = -12$ мкКл, если расстояние между ними $r = 10$ мм.
- **277.** На каком расстоянии r друг от друга точечные заряды $q_1 = 1,0$ мкКл и $q_2 = -5,0$ мкКл взаимодействуют в вакууме с силой, модуль которой $F = 9,0$ мН?
- **278.** Определите величину q одинаковых точечных зарядов, взаимодействующих в вакууме с силой, модуль которой $F = 0,1$ Н. Расстояние между зарядами $r = 5$ м.
- **279.** Можно ли, имея в распоряжении одно заряженное тело, получить с его помощью заряд, во много раз превышающий данный по абсолютному значению?
- **280.** Во сколько раз модуль силы кулоновского отталкивания двух электронов больше модуля силы их гравитационного притяжения?
- **281.** Во сколько раз уменьшится модуль силы взаимодействия двух точечных заряженных тел, если расстояние между ними увеличить в $p = 16$ раз?
- **282.** Как нужно изменить расстояние r между двумя точечными зарядами, чтобы модуль силы взаимодействия F между ними остался неизменным при увеличении каждого заряда в $n = 3$ раза?
- **283.** Два точечных заряда $q_1 = 10$ мКл и $q_2 = 15$ мКл закреплены на расстоянии $r = 2,0$ мм друг от друга. На каком расстоянии r_1 от большего заряда надо поместить точечный заряд q , чтобы он находился в состоянии равновесия?
- **284.** Два точечных заряда $q_1 = 2,00$ мКл и $q_2 = -3,00$ мКл закреплены на расстоянии $r = 1,00$ мм друг от друга. На каком

расстоянии r_1 от отрицательного заряда надо поместить точечный заряд q , чтобы он находился в состоянии равновесия?

■ **285.** Два точечных заряда, находясь в воздухе на расстоянии $r_1 = 10$ см, взаимодействуют с силой, модуль которой $F_1 = 150$ мкН, а в непроводящей жидкости, находясь на расстоянии $r_2 = 20$ см, — с силой, модуль которой $F_2 = 5,0$ мкН. Определите диэлектрическую проницаемость ϵ жидкости.

■ **286.** Два свободных точечных заряда $q_1 = q$ и $q_2 = 4q$, находящиеся на расстоянии l друг от друга, остаются неподвижными из-за наличия третьего заряда q_3 . Определите величину и положение этого заряда.

■ **287.** Сила тяготения между двумя наэлектризованными шариками массой $m = 2$ г каждый уравновешена силой их электростатического отталкивания. Определите заряды шариков, если $q_1 = q_2 = q$.

■ **288.** На двух одинаковых каплях масла радиусом $r = r_1 = r_2 = 0,40$ мм находятся одинаковые одноименные заряды. Определите величину зарядов q , если сила кулоновского отталкивания уравновешивает силу гравитационного притяжения капель. Расстояние между каплями значительно больше их линейных размеров.

■ **289.** Тонкая шелковая нить выдерживает максимальную силу натяжения, модуль которой $F_{\text{н}} = 20$ мН. На нити подвешен шарик массой $m = 0,40$ мг и зарядом $q_1 = 12$ нКл. Снизу по линии подвеса к нему подносят шарик, заряд которого $q_2 = -15$ нКл. Определите, при каком расстоянии r между центрами шариков нить разорвется.

■ **290.** На отрезке длиной $l = 1,0$ см через каждый миллиметр расположены точечные заряды $q = 3,0$ нКл каждый. Найдите модуль силы F , действующей на четвертый по счету заряд.

■ **291.** Две спички длиной $l = 4,0$ см каждая расположены параллельно друг другу на расстоянии $d = 3,0$ см. На концах каждой спички находятся заряды $q = 3,0$ нКл (рис. 38). Определите модуль силы F взаимодействия между спичками, считая заряды точечными.

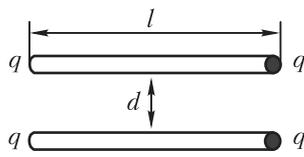


Рис. 38

■ **292.** Два небольших одинаковых шарика массой $m = 100$ г каждый подвешены на нитях длиной $l = 20$ см каждая. Точки подвеса нитей находятся на расстоянии $a = 2,0$ м друг от друга. Определите угол

отклонения α нити от вертикали, если шарикам сообщить заряды $q_1 = q_2 = q = 30$ мкКл.

■ **293.*** Два точечных заряда q_1 и q_2 находятся на фиксированном расстоянии l друг от друга, причем $q_1 + q_2 = q$. Чему должны быть равны заряды, чтобы модуль действующей между ними силы F был: а) максимален; б) минимален?

■ **294.** Два маленьких одинаковых заряженных шарика притягиваются друг к другу с силой Кулона, модуль которой равен F . После того как шарики были приведены в соприкосновение и раздвинуты на расстояние, которое в n раз больше начального, модуль силы взаимодействия между ними уменьшился в p раз. Определите заряд q_1 первого шарика до соприкосновения, если второй шарик имел заряд q .

■ **295.*** В вершинах расположенного горизонтального квадрата со стороной $a = 10$ см закреплены точечные заряды $q_0 = 5,0$ мкКл каждый. На расстоянии $d = 20$ см над центром квадрата находится шарик массой $m = 0,15$ кг и зарядом $q = -2,0$ мкКл, подвешенный на пружине жесткостью $k = 200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Определите деформацию Δl пружины.

■ **296.*** В вершинах куба с ребром a находятся одинаковые заряды q . Определите модуль силы F , действующей на каждый заряд со стороны остальных.

■ **297.** Одинаковые заряженные шарики подвешены на нитях одинаковой длины, закрепленных в одной точке. Опуская шарики в жидкий диэлектрик, заметили, что угол отклонения нитей от вертикали в воздухе и жидкости остается неизменным. Определите диэлектрическую проницаемость ϵ диэлектрика, если его плотность ρ_2 , а плотность вещества шариков ρ_1 .

■ **298.*** В горизонтальной плоскости на некотором расстоянии a друг от друга закреплены два маленьких шарика массой m каждый, имеющие заряды q и $-q$. Третий шарик такой же массы, имеющий заряд q_0 , подвешен на нити. Точку подвеса сначала подбирают так, что третий шарик в состоянии равновесия оказывается точно над первым шариком на расстоянии a от него, а затем — над вторым, на том же расстоянии. Определите углы отклонения нити α_1 и α_2 от вертикали в обоих случаях.

■ **299.** Два одинаковых заряженных шарика массами m , подвешенные в одной точке на нитях длиной l , разошлись так, что угол между нитями стал прямым (рис. 39). Определите заряд q каждого шарика.

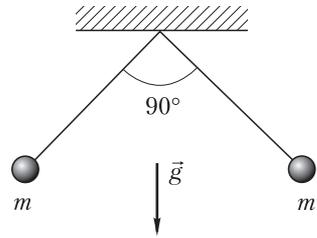


Рис. 39

■ **300.*** Металлическое кольцо разорвалось кулоновскими силами, когда заряд кольца был равен q_0 . Какой заряд q разорвет новое кольцо, изготовленное из материала, жесткость которого в $n = 5$ раз больше, чем первого кольца?

■ **301.*** Кольцо из проволоки разрывается, если ему сообщить заряд q_0 . Определите, какой заряд q следует сообщить новому кольцу, чтобы оно разорвалось, если его диаметр и диаметр проволоки увеличили в $n = 3$ раза.

■ **302.*** Четыре одинаковые частицы массой m и зарядом $-q$ каждая вращаются по круговой орбите, располагаясь в углах квадрата со стороной l (рис. 40). В центре квадрата находится точечный заряд q . Определите угловую скорость ω вращения частиц по орбите.

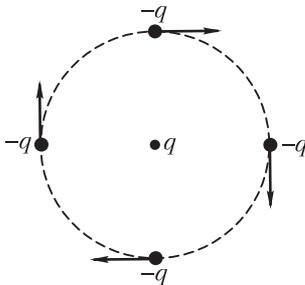


Рис. 40

■ **303.*** Два точечных заряда, соединенные резиновыми шнурами с неподвижными стенками (рис. 41), находятся на расстоянии $2a$ друг от друга. Расстояние между стенками $2l$, длина каждого недеформированного шнура l . Определите жесткость k каждого шнура.

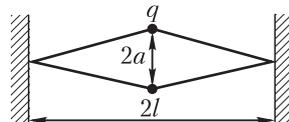


Рис. 41

■ **304.*** Какой минимальный точечный заряд q_{\min} нужно закрепить в нижней точке сферической полости радиусом R (рис. 42), чтобы небольшой шарик массой m и зарядом q находился в верхней точке полости в состоянии устойчивого равновесия?

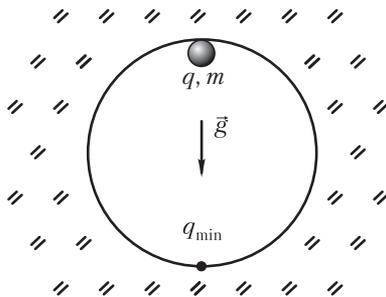


Рис. 42

18

Напряженность электростатического поля. Принцип суперпозиции

Поле, создаваемое неподвижными электрическими зарядами, называется **электростатическим**.

Напряженность электростатического поля \vec{E} равна отношению силы, действующей со стороны поля на положительный точечный электрический заряд, находящийся в данной точке поля, к величине этого заряда:

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

$$E = k \frac{q}{\epsilon r^2}$$

Силовая линия (линия напряженности) — воображаемая направленная линия в пространстве, касательная к которой в каждой

точке направлена вдоль вектора напряженности поля \vec{E} в этой точке (рис. 43).

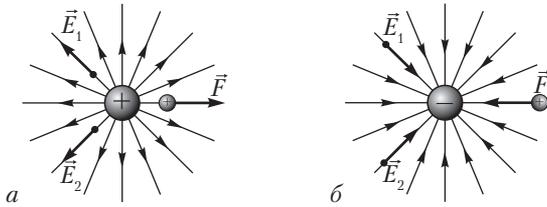


Рис. 43. Силовые линии электростатического поля равномерно заряженных шариков: а – положительного, б – отрицательного. Сила Кулона, действующая на точечный положительный заряд

Принцип суперпозиции полей: напряженность \vec{E} электрического поля системы точечных зарядов q_1, q_2, \dots, q_n в некоторой точке пространства равна векторной сумме напряженностей полей, создаваемых каждым из этих зарядов по отдельности в той же точке, причем поле каждого не зависит от полей других:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n.$$

■ **305.** Напряженность электростатического поля определяется по формуле:

а) $\vec{E} = q\vec{F}$; в) $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q^2}$;

б) $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$; г) $E = \frac{q}{F}$.

■ **306.** Согласно принципу суперпозиции электростатических полей:

а) напряженность электростатического поля в данной точке равна алгебраической сумме напряженностей, создаваемых каждым зарядом в этой точке;

б) напряженность электростатического поля в данной точке равна векторной сумме напряженностей, создаваемых каждым зарядом в этой точке;

в) напряженность электростатического поля в данной точке равна средней напряженности, создаваемой всеми зарядами в этой точке;

г) напряженность электростатического поля в данной точке $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$, где \vec{F} — результирующая сила, действующая на отрицатель-

ный точечный заряд.

■ **307.** Силовыми линиями электростатического поля называются:

а) направленные линии, по которым под действием силы Кулона перемещаются положительные заряды;

б) направленные непрерывные линии, касательные к которым в каждой точке задают направление вектора напряженности электростатического поля;

в) направленные непрерывные линии, начинающиеся на отрицательном заряде и заканчивающиеся на положительном;

г) направленные прямые линии, начинающиеся на отрицательном заряде и заканчивающиеся на бесконечности.

■ **308.** Куда будет направлено ускорение отрицательно заряженной частицы, помещенной в однородное электростатическое поле напряженностью \vec{E} ?

■ **309.** Определите модуль силы Кулона F , действующей на точечный заряд $q = 4,0$ нКл, помещенный в однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого $E = 100 \frac{\text{В}}{\text{м}}$.

■ **310.** На каком расстоянии r от точечного заряда $q = 1,0$ мкКл, находящегося в вакууме, модуль напряженности электростатического поля $E = 10 \frac{\text{В}}{\text{м}}$?

■ **311.** Определите величину точечного заряда q , если в однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого $E = 100 \frac{\text{В}}{\text{м}}$, на него действует сила, модуль которой $F = 2,5$ Н.

■ **312.** Определите результирующую напряженность \vec{E} электростатического поля в области действия двух однородных электростатических полей ($\vec{E}_1 \perp \vec{E}_2$), модули напряженностей которых $E_1 = 1,2 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ и $E_2 = 1,6 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$.

■ **313.** Заряженный шарик на длинной нити, внесенный в положении равновесия в однородное электростатическое поле, отклоняется

от вертикали на угол $\alpha_1 = 20^\circ$. Определите, каким будет угол отклонения α_2 шарика от вертикали, если модуль напряженности E электрического поля увеличить в $n = 3$ раза.

■ **314.** Найдите отношение зарядов $n = \frac{q_1}{q_2}$, если известно, что напряженность электростатического поля $\vec{E} = \vec{0}$ в точке, находящейся на расстоянии $l = \frac{1}{3}r$ от заряда q_1 , где r — расстояние между зарядами.

■ **315.** При каком угле α между векторами напряженностей электростатических полей \vec{E}_1 и \vec{E}_2 ($|\vec{E}_1| = |\vec{E}_2| = E$) модуль напряженности результирующего поля E' будет составлять $\eta = 20\%$ от модуля напряженности E каждого из исходных полей?

■ **316.** Неподвижный точечный заряд $q = 50$ нКл находится в однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого $E = 200 \frac{\text{В}}{\text{м}}$. Определите точки, в которых напряженность результирующего поля $\vec{E} = \vec{0}$.

■ **317.** Определите модуль напряженности E электростатического поля в точке посередине между точечными зарядами $q_1 = 10$ нКл и $q_2 = -20$ нКл, находящимися на расстоянии $r = 40$ см друг от друга. Можно ли указать точку между зарядами, в которой $\vec{E} = \vec{0}$?

■ **318.** Два точечных заряда $q_1 = 2,0 \cdot 10^{-8}$ Кл и $q_2 = -3,0 \cdot 10^{-8}$ Кл расположены на расстоянии $r = 1,0$ см друг от друга. Определите модуль напряженности E электростатического поля в точке A , находящейся на перпендикуляре, проведенном к середине соединяющего заряды отрезка на расстоянии $d = 3,0$ см от заряда q_1 .

■ **319.** В центре изолированной металлической сферы находится точечный заряд. Отклонится ли подвешенное на шелковой нити заряженное тело, помещенное вблизи внешней поверхности сферы, если: а) сфера не заземлена; б) сфера заземлена?

■ **320.** Определите напряженность \vec{E} электростатического поля в точке, равноудаленной от точечных зарядов $q_1 = 2,0$ нКл, $q_2 = 0,20 \cdot 10^{-8}$ Кл, $q_3 = -0,040 \cdot 10^{-8}$ Кл, расположенных в вершинах

правильного треугольника со стороной $a = 10$ см, и находящейся с ними в одной плоскости (рис. 44).

■ **321.*** В вершинах квадрата со стороной $a = 1,0$ см находятся одинаковые точечные заряды $q = 10$ мкКл каждый. Найдите модули напряженностей E_1 электростатического поля в центре квадрата и E_2 — в точке, равноудаленной от всех вершин на расстояние $d = 1,0$ см.

■ **322.*** Стальной шарик массой m висит над горизонтальной проводящей незаряженной плоскостью на жесткой невесомой пружине. Расстояние от шарика до плоскости l . После того как шарiku сообщили заряд q , пружина оказалась растянутой на Δx . Определите жесткость k пружины.

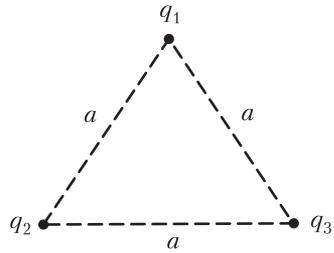


Рис. 44

19

Потенциал электростатического поля. Разность потенциалов (напряжение)

Скалярная физическая величина φ , равная отношению потенциальной энергии W_n , которой обладает точечный заряд q в данной точке поля, к величине этого заряда, называется **потенциалом электростатического поля**:

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

Разность потенциалов (напряжение) между двумя точками поля численно равна работе, которая совершается полем при перемещении единичного положительного электрического заряда между этими точками:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = -\Delta\varphi = U = \frac{A}{q}.$$

Потенциал поля, создаваемого точечным зарядом q в точке, находящейся в вакууме на расстоянии r от заряда, определяется по формуле:

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

Принцип суперпозиции потенциалов: потенциал φ электрического поля системы точечных зарядов q_1, q_2, \dots, q_n в некоторой точке пространства равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых каждым из этих зарядов по отдельности в этой же точке, причем потенциал каждого не зависит от потенциала других:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n = \text{const}.$$

Знак потенциала φ_i совпадает со знаком заряда q_i , который при $q_i > 0$ — положителен, а при $q_i < 0$ — отрицателен.

■ **323.** Потенциалом электростатического поля называют скалярную физическую величину, равную отношению:

- а) энергии поля к величине заряда, создающего это поле;
- б) энергии заряда в поле к величине этого заряда;
- в) напряженности поля к величине заряда;
- г) величины заряда к энергии поля в данной точке.

■ **324.** Определите потенциал φ электростатического поля точечного заряда $q = 2$ нКл в вакууме на расстоянии $r = 6$ мм от него.

■ **325.** Определите заряд q точечного тела в вакууме, если на расстоянии $r = 6$ мм от него потенциал электростатического поля этого заряда $\varphi = 3$ В.

■ **326.** Найдите потенциал φ заряженного шара радиусом $R = 15$ см в вакууме, если его заряд $q = -18$ мкКл.

■ **327.** Найдите радиус R шара зарядом $q = 4,5$ нКл, если потенциал на его поверхности $\varphi = 20$ В.

■ **328.** Проводящая сфера радиусом $R = 40$ см заряжена до потенциала $\varphi = 600$ В. На каком расстоянии l от центра сферы потенциал $\varphi_1 = 20$ В?

■ **329.** Определите потенциал φ электростатического поля посередине отрезка, соединяющего два точечных заряда $q_1 = 34$ нКл и $q_2 = 86$ нКл, если расстояние между ними $l = 12$ см.

- **330.** Определите заряд q металлического шара радиусом $R = 50$ см, если потенциал электростатического поля в его центре $\varphi = 12$ мВ.
- **331.** Определите потенциал φ на расстоянии $l = 16$ см от центра металлического шара зарядом $q_1 = 4,0$ нКл.
- **332.** Где расположена точка с нулевым потенциалом для системы точечных зарядов $q_1 = 54$ мКл и $q_2 = -68$ мКл, находящихся на расстоянии $r = 0,80$ м друг от друга?
- **333.** Найдите заряд q одного маленького шарика, если четыре таких шарика, размещенные на одной прямой на расстоянии $l = 2,0$ см друг от друга, создают в точке, находящейся посередине между ними, потенциал $\varphi = 2,0$ В.
- **334.** Пять одинаковых точечных зарядов $q = 25$ нКл находятся на одной прямой на одинаковом расстоянии $l = 1,0$ мм друг от друга. Найдите потенциал φ электростатического поля в точке, расположенной на этой же прямой на расстоянии $d = 8,0$ мм от крайнего заряда.
- **335.** Две удаленные друг от друга металлические сферы радиусами $R_1 = 20$ см и $R_2 = 50$ см имеют заряды $q_1 = 40$ мКл и $q_2 = 50$ мКл соответственно. Найдите заряды сфер q'_1 и q'_2 после их соединения тонким проводником.
- **336.** Имеются две металлические сферы радиусами $R_1 = 20$ см и $R_2 = 50$ см и зарядами $q_1 = 40$ мКл и $q_2 = 50$ мКл соответственно. Сферы соединяют проводником. Какой заряд q пройдет по проводнику?
- **337.** Потенциал электростатического поля в центре заряженного металлического шара $\varphi_1 = 200$ В, а в точке A , находящейся на расстоянии $a = 50$ см от центра шара, $\varphi_2 = 100$ В. Вычислите заряд q и радиус R шара.
- **338.** В центре металлической сферы радиусом R и зарядом q_1 находится маленький шарик зарядом q_2 . Определите индуцированный заряд q на внутренней поверхности сферы и потенциал φ электростатического поля на расстоянии $r = 5R$ от центра сферы.
- **339.** В центре металлической сферы радиусом R и зарядом q_1 находится маленький шарик зарядом q_2 . Определите потенциал φ электростатического поля на поверхности сферы.
- **340.** Внутри металлической сферы радиусом R и зарядом q_1 находится маленький шарик зарядом q_2 . Определите потенциал φ электростатического поля на расстоянии $r = 4R$ от центра сферы.

■ **341.** В центре металлической сферы радиусом R и зарядом q_1 находится маленький шарик зарядом q_2 . Определите разность потенциалов ($\varphi_1 - \varphi_2$) между диаметрально противоположными точками на поверхности сферы.

■ **342.** На окружности радиусом $R = 0,50$ м на равных расстояниях друг от друга в вакууме расположены шесть одинаковых зарядов $q = 50$ мкКл каждый. Определите потенциал φ_1 электростатического поля в центре окружности. Каким будет потенциал φ_2 поля в центре окружности, если знаки нечетных по счету зарядов поменять на противоположные?

■ **343.*** Металлический шар радиусом R окружен тонкой concentрической проводящей сферой радиусом $3R$. Заряды шара q_1 и сферы q_2 таковы, что потенциал шара равен нулю, а потенциал сферы φ . Определите заряды q_1 и q_2 сферы.

■ **344.*** Металлический шар радиусом $R_1 = 25$ см и зарядом $q = 45$ мКл помещают внутрь изолированной незаряженной металлической сферы радиусом $R_2 = 45$ см. Как изменится потенциал φ сферы, если ее соединить проводником с поверхностью шара?

■ **345.** На расстоянии a от центра изолированного незаряженного проводящего шара радиусом R ($R < a$) расположен точечный заряд q . Определите потенциал φ произвольной точки на поверхности шара.

■ **346.*** Металлический шар радиусом $R_1 = 5,0$ см и зарядом $q = 70$ нКл помещают внутрь незаряженной металлической сферы радиусом $R_2 = 25$ см. Как изменится φ сферы, если ее: а) внутреннюю поверхность соединить проводником с поверхностью шара; б) внешнюю поверхность заземлить?

■ **347.*** При размещении большей диагонали каркасного ромба параллельно силовым линиям однородного электростатического поля разность потенциалов между ее концами будет $\Delta\varphi_1 = 8,0$ В. При аналогичном размещении малой диагонали — $\Delta\varphi_2 = 6,0$ В. Определите разность потенциалов $\Delta\varphi_3$ между концами стороны ромба при ее ориентации вдоль силовых линий поля.

Связь между напряжением и модулем напряженности однородного электростатического поля

$$E = \frac{U}{d_1 - d_2} = -\frac{\Delta\varphi}{d_1 - d_2} = \frac{\Delta\varphi}{d_1 - d_2} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta d}$$

■ **348.** Соотношение между напряжением и модулем напряженности в однородном электростатическом поле выражается формулой:

а) $U = Ed^2$;

в) $U = Ed$;

б) $U = \frac{E}{d}$;

г) $U = \frac{E^2}{2}$.

■ **349.** Рассчитайте расстояние d , при котором произойдет электрический пробой между двумя параллельными металлическими пластинами, находящимися в воздухе, если напряжение между ними $U = 12$ кВ. Модуль напряженности электростатического поля, необходимого для пробоя воздуха, $E_{\text{пр}} = 3,0 \cdot 10^6 \frac{\text{В}}{\text{м}}$. Может ли произойти

пробой между контактами бытовых электрических выключателей?

■ **350.** Определите максимальное напряжение U_{max} между точками, расположенными на расстоянии $l = 40$ см в однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого $E = 100 \frac{\text{В}}{\text{м}}$.

■ **351.** При перемещении точечного заряда q на расстояние $\Delta r = 30$ см под углом $\alpha = 45^\circ$ к силовым линиям однородного электростатического поля, модуль напряженности которого $E = 30 \frac{\text{В}}{\text{м}}$,

силами поля была совершена работа $A = 15$ мДж. Найдите заряд q .

■ **352.** Потенциал электростатического поля точечного заряда q на расстоянии $r = 50$ см от него $\varphi = 100$ В. Определите модуль силы F , действующей на заряд $q_0 = 5,0$ нКл, помещенный в данную точку.

■ **353.** Определите максимальный заряд q_{max} и минимальный радиус R_{min} сферического разрядника электростатического генератора,

который можно зарядить до потенциала $\phi = 20$ кВ. При пробое воздуха модуль напряженности электростатического поля $E_{\text{пр}} = 3,0 \cdot 10^6 \frac{\text{В}}{\text{м}}$.

■ **354.** Определите работу A , совершенную силами однородного электростатического поля при перемещении точечного заряда $q = 240$ мКл вдоль диагонали куба со стороной $a = 20$ см. Силовые линии поля, модуль напряженности которого $E = 12 \frac{\text{В}}{\text{м}}$, параллельны одному из ребер куба.

■ **355.** Определите максимальное напряжение U_{max} , возникающее между двумя произвольными точками, находящимися в вершинах куба со стороной $a = 24$ см, помещенного в однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого $E = 0,20 \frac{\text{В}}{\text{м}}$. Силовые линии поля параллельны одному из ребер куба.

■ **356.** Работа, совершаемая силами однородного электростатического поля, модуль напряженности которого $E = 3,0 \frac{\text{В}}{\text{м}}$, по переносу точечного заряда $q = 1,0$ мКл на расстояние $s = 0,50$ м, равна $A = 1,0$ мДж. Определите угол α между векторами перемещения $\vec{\Delta r}$ заряда и напряженности \vec{E} электростатического поля.

■ **357.** На расстоянии $r = 25$ см от центра заряженного металлического шара радиусом $R = 15$ мм модуль напряженности электростатического поля $E = 80 \frac{\text{В}}{\text{м}}$. Определите потенциал ϕ на поверхности шара.

■ **358.** Какое напряжение U необходимо приложить к горизонтальным пластинам, равномерно заряженным разноименными одинаковыми по модулю зарядами, чтобы действующая на электрон со стороны электростатического поля сила скомпенсировала его силу тяжести? Расстояние между пластинами $d = 10$ см.

■ **359.** Капелька масла массой $m = 4,2 \cdot 10^{-5}$ г висит неподвижно между двумя большими горизонтальными пластинами, находящимися на расстоянии $d = 2,0$ см друг от друга, при напряжении между пластинами $U = 250$ В. Определите количество N избыточных электронов на этой капле.

■ **360.** Какую работу A совершат силы однородного электростатического поля, модуль напряженности которого $E = 4 \frac{\text{В}}{\text{м}}$, при медленном переносе точечного заряда $q = 3 \text{ мКл}$ из вершины D прямоугольника размером $3 \times 5 \text{ см}$ в вершину B (рис. 45)? Силовые линии поля направлены вдоль диагонали прямоугольника.

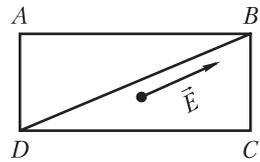


Рис. 45

■ **361.** Каким максимальным зарядом q_{max} может обладать сферический проводник радиусом $R = 10 \text{ см}$, если при напряженности электростатического поля, модуль которой $E_{\text{пр}} = 3,0 \cdot 10^6 \frac{\text{В}}{\text{м}}$, происходит пробой воздуха вокруг проводника?

■ **362.** Определите напряжение U , возникающее между двумя произвольными точками проводящего куба со стороной $a = 24 \text{ см}$, помещенного в однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого $E = 0,20 \frac{\text{В}}{\text{м}}$, если силовые линии поля параллельны одному из ребер куба.

■ **363.*** Три тонкие металлические пластинки, расположенные вертикально параллельно друг другу, имеют заряды q , $2q$ и $-3q$. Расстояние между пластинками d , площадь каждой пластинки S . Определите модуль силы Кулона F , действующей на среднюю пластинку, и напряжение U на крайних пластинах.

■ **364.*** Определите работу A , которую совершат силы электростатического поля при переносе точечного заряда $q = 40 \text{ мКл}$ из точки на глобусе, соответствующей Минску (54° с. ш.), в точку, соответствующую Санкт-Петербургу (60° с. ш.). Глобус радиусом $R = 10 \text{ см}$ находится в однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого $E = 80 \frac{\text{В}}{\text{м}}$. Силовые линии поля направлены вдоль оси глобуса от его южного полюса к северному.

Движение заряженных тел в электростатическом поле

■ **365.** Протон движется в однородном электростатическом поле с ускорением, модуль которого $a = 3,8 \cdot 10^3 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$. Определите модуль

напряженности E .

■ **366.** Однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого $E = 40 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}$, существует в области пространства, имею-

щей форму прямоугольника со сторонами $a = 3,0$ м и $b = 4,0$ м. Определите, за какой максимальный промежуток времени Δt электрон сможет покинуть область действия поля, если модуль его начальной скорости $v_0 = 0$.

■ **367.** Время падения заряженного шарика без начальной скорости с высоты $h = 10$ м в однородном электростатическом поле, силовые линии которого вертикальны, составляет $t = 2,0$ с. Каким будет время падения шарика t_1 , если поменять знак заряда шарика на противоположный?

■ **368.** В модели атома Бора предполагается, что электрон в атоме водорода движется по круговой орбите с линейной скоростью, модуль которой $v = 2,2 \cdot 10^6 \frac{\text{М}}{\text{с}}$. Определите радиус r этой орбиты.

■ **369.** Небольшой мяч массой $m = 100$ г бросают под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту со скоростью, модуль которой $v = 20 \frac{\text{М}}{\text{с}}$. Определите

дальность l броска, если заряд мяча $q = 0,30$ мКл, а полет проходит в однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого $E = 2,0 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ и силовые линии вертикальны.

■ **370.** При какой плотности ρ Земли модуль ускорения свободного падения g был бы равен модулю ускорения электрона, помещенного в электростатическое поле, модуль напряженности которого

$E = 1,0 \frac{\text{В}}{\text{м}}$? Массу Земли считайте неизменной. Радиус Земли $R = 6400$ км.

■ **371.** Два закрепленных шарика небольшого размера массой $m = 1,0$ г каждый и зарядом $q_1 = q_2 = q = 1,0$ мкКл расположены на расстоянии $r = 1,0$ м: а) вертикально; б) горизонтально. С каким по модулю ускорением a начнут двигаться шарики, если их освободить?

■ **372.** Определите модуль ускорения a заряженной шайбы, находящейся на наклонной плоскости с углом при вершине $\alpha = 45^\circ$. Система помещена в однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого $E = 50 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ и силовые линии горизонтальны.

Заряд шайбы $q = 200$ мкКл, ее масса $m = 3,0$ кг, коэффициент трения скольжения $\mu = 0,20$.

■ **373.** Шайбу массой $m = 1,0$ г пускают вверх по наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$, находящейся в однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого $E = 0,50 \frac{\text{В}}{\text{м}}$. Силовые линии поля направлены вверх вдоль наклонной плоскости. Определите заряд q шайбы, если время подъема шайбы по наклонной плоскости в $n = 2$ раза меньше времени ее соскальзывания. Коэффициент трения скольжения $\mu = 0,30$.

■ **374.** Два одинаковых заряженных шарика, подвешенных на нитях одинаковой длины и закрепленных в одной точке, движутся по окружности радиусом $r = 4,0$ см с угловой скоростью $\omega = 6,0 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, оставаясь при движении на противоположных концах диаметра. Определите массу m шариков, если их заряд $q_1 = q_2 = q = 2,0$ мкКл и каждая нить образует с вертикалью угол $\alpha = 60^\circ$.

■ **375.*** Два одинаковых шарика массой m и зарядом q каждый начинают скользить по двум одинаковым неподвижным и непроводящим спицам. Спицы расположены в вертикальной плоскости под одинаковыми углами α к горизонту (рис. 46). На какую максимальную высоту h над начальным уровнем поднимутся шарики? В начальный момент времени шарики покоились на расстоянии l друг от друга и на расстоянии d от концов спиц. Трением пренебречь.



Рис. 46

■ **376.*** Небольшой шарик массой $m = 0,10$ г, подвешенный на тонкой изолирующей нити, движется по окружности с угловой скоростью $\omega = 6,0 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, причем нить образует с вертикалью угол $\alpha = 30^\circ$.

В центре окружности, по которой движется шарик, располагают другой, неподвижный шарик. Какие одинаковые по модулю электрические заряды q_1 и q_2 необходимо сообщить шарикам, чтобы шарик на нити продолжал двигаться по прежней окружности, но с угловой скоростью $\frac{\omega}{2}$?

■ **377.*** В классических опытах по измерению заряда электрона капля масла помещалась между горизонтальными пластинами, равномерно заряженными разноименными одинаковыми по модулю зарядами. Под действием электростатического поля капля равномерно двигалась вверх, проходя некоторое расстояние l за промежуток времени Δt , а при изменении зарядов на пластинах на противоположные по знаку двигалась вниз, проходя расстояние l за Δt_2 . Определите, за какой промежуток времени Δt капля пройдет расстояние l после выключения поля. Силу трения капли о воздух считайте пропорциональной скорости движения капли.

■ **378.** По расположенному вертикально кольцу радиусом R могут скользить две одинаковые бусинки массой m каждая. Какие заряды q_1 и q_2 необходимо сообщить бусинкам, чтобы они расположились на концах горизонтальной хорды, стягивающей дугу $\alpha = 120^\circ$? Рассмотрите два случая: а) хорда проходит выше центра кольца; б) ниже центра кольца. Ускорение свободного падения \vec{g} .

■ **379.** Две частицы массами m_1 и m_2 , заряженные разноименно одинаковыми по модулю зарядами q , движутся под действием электрического притяжения по окружностям вокруг неподвижной точки центра масс. Определите модули линейных скоростей движения частиц v_1 и v_2 . Расстояние между частицами r . Предположим, что модули скоростей частиц мгновенно увеличивают в n раз, не изменяя их направления. Во сколько раз p необходимо изменить заряды частиц, чтобы они остались на тех же орбитах?

■ **380.** Потенциал заряженного проводника $\phi = 400$ В. Определите модуль минимальной скорости v_{\min} , которой должен обладать электрон, чтобы улететь от этого проводника на бесконечность.

■ **381.** В однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого E и силовые линии горизонтальны, точечный заряд q

перемещается по полуокружности радиусом R из точки C в точку D (рис. 47). Определите работу A , совершенную силами электростатического поля по перемещению заряда.

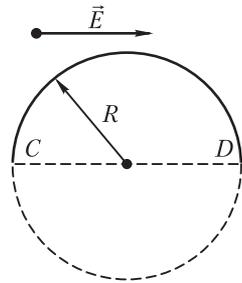


Рис. 47

■ **382.** Электрон проходит ускоряющую разность потенциалов $\Delta\varphi = 100$ В. Определите модуль скорости v электрона в конечной точке, если модуль его начальной скорости $v_0 = 100 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

■ **383.¹** Электрон влетает со скоростью, модуль которой $v_0 = 200 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, в однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого $E = 150 \frac{\text{В}}{\text{м}}$, в направлении его силовых линий.

Какое расстояние l пролетит электрон до остановки ($v = 0$)? Какое тормозящее напряжение U на него действует?

■ **384.** В вершинах куба с ребром a находятся маленькие шарики, имеющие заряд q и массу m каждый. Какую работу A совершат силы электростатического поля при изменении расположения шариков — в один ряд на расстоянии a друг от друга? Определите также модули максимальных скоростей v шариков, если их перестать удерживать (до перестроения).

■ **385.*** Частица массой m и зарядом q движется в вакууме из бесконечности вдоль оси незакрепленного кольца массой M , зарядом Q и радиусом r . Определите модуль наименьшей скорости v_{\min} , которую должна иметь частица на бесконечности, чтобы пролететь сквозь кольцо.

■ **386.*** Две материальные точки зарядом q и массой m каждая, скрепленные непроводящей нитью длиной l , лежат на шероховатой горизонтальной плоскости с коэффициентом трения μ . Определите модуль максимальной скорости v_{\max} , с которой будут двигаться точки после пережигания нити.

■ **387.** Электрон влетает в однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого E , со скоростью \vec{v} , направленной

¹ В задачах на движение заряженных частиц действием силы тяжести пренебрегают.

перпендикулярно силовым линиям поля. Какой кинетической энергией W_k будет обладать электрон спустя промежуток времени Δt после того, как он попал в поле? Определите работу A , совершенную силами поля за этот промежуток времени.

■ **388.** Протон влетает в пространство между двумя горизонтальными пластинами, равномерно заряженными разноименными одинаковыми по модулю зарядами. Вектор скорости протона параллелен пластинам, а ее модуль $v_0 = 2,5 \cdot 10^7 \frac{\text{М}}{\text{с}}$. Найдите величину

смещения Δy протона при его вылете из пространства между пластинами, если расстояние между пластинами $d = 2,0$ см, их длина $l = 6,0$ см, напряжение между ними $U = 250$ В.

■ **389.** Электрон, обладающий кинетической энергией W_k , влетает в пространство между двумя горизонтальными пластинами, равномерно заряженными разноименными одинаковыми по модулю зарядами, параллельно им. Между пластинами поддерживается напряжение U . Определите смещение Δy электрона на экране, находящемся на расстоянии H от пластин, если расстояние между пластинами d и их длина l .

■ **390.** Две параллельные проволочные сетки, находящиеся на небольшом расстоянии друг от друга, подключены к источнику, поддерживающему между ними задерживающее напряжение U . В область между сетками под острым углом α к направлению силовых линий однородного электростатического поля влетает электрон. Определите модуль начальной скорости v_0 , при которой электрон сможет преодолеть эту область.

■ **391.** Маленькая шайба массой m , имеющая заряд q_1 , начинает скользить с высоты h по гладкой наклонной плоскости, образующей угол α с горизонтом. В вершине прямого угла, образованного высотой и горизонтальной поверхностью, находится неподвижный точечный заряд q_2 . Определите модуль скорости v шайбы у основания наклонной плоскости.

■ **392.** Определите угловые скорости ω вращения двух одинаковых шариков массами m , имеющих заряды q , которые движутся по окружности радиусом R вокруг отрицательного заряда q_0 , если заряды во время вращения находятся на прямой, проходящей через центр окружности.

■ **393.*** Определите минимальное расстояние r_{\min} , на которое могут сблизиться два электрона, движущиеся вдоль одной прямой, если на большом расстоянии друг от друга скорости электронов направлены в одну сторону, а их модули равны соответственно v_1 и v_2 .

■ **394.*** Слева от заряженной металлической сетки с мелкой ячейкой создано электрическое поле напряженностью \vec{E}_1 , а справа — \vec{E}_2 ($E_1 > E_2$) (рис. 48). Заряженной частице массой m и зарядом q сообщают скорость \vec{v}_0 , направленную под углом α к сетке. Опишите движение частицы и найдите: а) глубины проникновения h_1 и h_2 частицы в каждое из полей; б) среднюю скорость «дрейфа» $\langle v \rangle$ частицы вдоль сетки. Силой тяжести пренебречь.

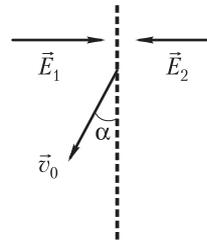


Рис. 48

■ **395.*** Система состоит из двух одинаковых шаров массами $m_1 = m_2 = m$ и радиусами $r_1 = r_2 = r$, расположенных в вакууме на расстоянии $l = 10r$ друг от друга. Первый шар имеет заряд q , второй — $-q$. Известно, что второй шар привязан к стене нитью, выдерживающей максимальную силу натяжения, модуль которой F_n (рис. 49). Найдите модуль скорости v шаров после абсолютно неупругого удара, если первый шар отпустить. Силой тяжести пренебречь.

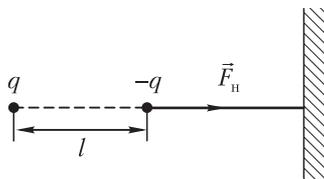


Рис. 49

■ **396.*** Центры двух непроводящих шаров скреплены жесткой невесомой гладкой спицей, вдоль которой может скользить третий шар. Шары имеют массу $m = 0,40$ г и заряд $q = 0,20$ мкКл каждый. Найдите модуль максимальной скорости v_{\max} центрального шара, если в начальный момент времени он находился на расстоянии $l_1 = 5,0$ см от первого шара и $l_2 = 10$ см от второго в вакууме. Система не закреплена, и в начальный момент все шары покоятся. Силой тяжести пренебречь.

Електроємність. Конденсатори

Електроємністю уединенного проводника називається скалярна фізична величина, рівна відношенню заряду проводника к величині, створюваного цим зарядом проводника:

$$C = \frac{q}{\phi}$$

Електроємність — ємність уединенного шара радіусом R в однорідному діелектрику с діелектричною проникністю ϵ :

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R.$$

Електроємністю (ємністю) конденсатора називається фізична скалярна величина, рівна відношенню заряду конденсатора к різниці потенціалів $\phi_1 - \phi_2$ (напруги U) между его обкладками:

$$C = \frac{q}{\phi_1 - \phi_2} = \frac{q}{U}.$$

Ємність плоского конденсатора прямо пропорційна площі S его обкладок, діелектричною проникністю ϵ заповнюючого его речовини и обернено пропорційна відстані d между пластинами:

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}.$$

■ **397.** Електроємність конденсатора залежить від:

- а) удельного опору матеріалу проводника, з якого виготовлені его обкладки;
- б) площі S обкладок конденсатора и відстані d между ними;
- в) заряду обкладок конденсатора;
- г) товщини обкладок конденсатора.

■ **398.** Електроємність уединенного проводника C , маючого заряд q и потенціал ϕ , визначається по формулі:

а) $C = q\phi$;

в) $C = \frac{q}{\phi}$;

б) $C = \frac{\phi}{q}$;

г) $C = \frac{q^2}{2\phi}$.

■ **399.** Электроемкость C плоского конденсатора определяется по формуле:

$$\text{а) } C = \frac{\epsilon_0 \epsilon d}{S}; \quad \text{в) } C = \frac{q}{\epsilon_0 \epsilon S};$$

$$\text{б) } C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}; \quad \text{г) } C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d^2}.$$

■ **400.** На одной пластине конденсатора электрический заряд $q_1 = 4$ мкКл, на другой — заряд $q_2 = -4$ мкКл. Определите напряжённость U между обкладками конденсатора, если его ёмкость $C = 8$ мкФ.

■ **401.** Ёмкость плоского воздушного конденсатора $C = 5,0$ нФ. Определите его ёмкость C_1 , если пространство между обкладками заполнить водой.

■ **402.** Ёмкость плоского конденсатора $C = 48$ нФ. Определите его ёмкость C_1 , если из пространства между обкладками откачать заливаемый туда керосин.

■ **403.** Модуль напряжённости электростатического поля в пространстве между обкладками плоского конденсатора в вакууме $E = 60 \frac{\text{В}}{\text{м}}$, расстояние между обкладками $d = 4,0$ см. Определите напряжённость U между обкладками конденсатора.

■ **404.** Определите площадь S каждой из обкладок плоского воздушного конденсатора, если расстояние между обкладками $d = 3,0$ мм, а ёмкость конденсатора $C = 5,0$ пФ.

■ **405.** Между горизонтальными обкладками заряженного конденсатора, отключенного от источника тока, находится в равновесии заряженная пылинка. Останется ли она в равновесии, если обкладки сблизить?

■ **406.** Плоский воздушный конденсатор образован двумя параллельными металлическими пластинами. Как изменится его ёмкость C , если расстояние между пластинками увеличить в $n = 2$ раза?

■ **407.** Плоский воздушный конденсатор с расстоянием между обкладками $d_1 = 1,0$ мм заряжен от источника тока до напряжения $U_1 = 20$ В. Определите напряжение U_2 между обкладками, если, отключив конденсатор от источника, раздвинуть их на расстояние $d_2 = 5,0$ мм.

■ **408.** Плоский воздушный конденсатор заряжен от источника тока до напряжения $U_1 = 50$ В. Определите напряжение U_2 на

конденсаторе, если, отключив конденсатор от источника тока, заполнить его диэлектриком, проницаемость которого $\epsilon = 2,5$.

■ **409.** Определите емкость C Земли, считая ее проводящим шаром радиусом $R = 6400$ км. Какой заряд q необходимо сообщить земному шару, чтобы изменить его потенциал на $\Delta\phi = 3,0$ кВ?

■ **410.** Для создания между параллельными одинаковыми пластинами площадью $S = 160$ см² каждая однородного электростатического поля, модуль напряженности которого $E = 40 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$, пластинам со-

общают равные по модулю и противоположные по знаку заряды. Определите по приведенным данным заряд q .

■ **411.** Определите заряд q_1 плоского конденсатора, имеющего заряд $q = 30$ мкКл, если его, не отключая от источника тока, заполнить диэлектриком, проницаемость которого $\epsilon = 4,0$.

■ **412.** Воздушный конденсатор емкостью $C = 6,0$ нФ, подключенный к батарее напряжением $U = 12$ В, заполняют парафином. Какой заряд q пройдет при этом по соединительным проводам?

■ **413.** Какой заряд q пройдет по цепи, содержащей плоский конденсатор и аккумулятор напряжением $U = 10$ В, если конденсатор заполнить керосином? Площадь каждой обкладки конденсатора $S = 200$ см², расстояние между ними $d = 10$ мм.

■ **414.*** В плоский воздушный конденсатор емкостью C_0 , расстояние между обкладками которого d , параллельно обкладкам вводят металлическую пластину толщиной l . Используя принцип электростатической защиты, определите емкость C полученного конденсатора.

■ **415.** Два маленьких металлических шарика емкостью $C_1 = 3,0$ пФ и $C_2 = 4,0$ пФ имеют заряды $q_1 = 0,60$ мкКл и $q_2 = 0,30$ мкКл соответственно и расположены на расстоянии $l = 4,0$ м друг от друга. Во сколько раз n изменится модуль силы F кулоновского взаимодействия шариков после соединения их тонкой проволокой?

■ **416.*** Частица зарядом q_0 , обладающая кинетической энергией W_k , влетает в плоский конденсатор емкостью C параллельно его обкладкам на равном расстоянии от них. При какой длине l обкладок конденсатора она не достигнет поверхности обкладки? Расстояние между обкладками d , заряд конденсатора q .

■ **417.*** К источнику тока напряжением $U = 90$ В подключили плоский воздушный конденсатор, расстояние между обкладками кото-

рого уменьшают со временем по закону $d(t) = \frac{d_0}{1 + \alpha t}$, где $d_0 = 50$ мм, $\alpha = 2,0 \text{ с}^{-1}$. Определите силу тока I в цепи, если площадь каждой обкладки $S = 0,25 \text{ м}^2$.

23

Батареи конденсаторов

Конденсаторы соединяют в **батареи**, чтобы обеспечить требуемую емкость при заданном напряжении.

При **параллельном соединении** (рис. 50) соединяются обкладки конденсаторов с одинаковыми знаками заряда. Напряжение U на обкладках всех конденсаторов одно и то же, т. е.

$$U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n = U,$$

а суммарный заряд батареи q равен сумме зарядов на каждом из конденсаторов

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n.$$

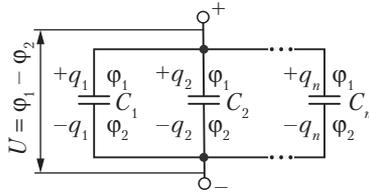


Рис. 50. Схема параллельного соединения конденсаторов

Следовательно,

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n.$$

В случае когда $C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_n = C_0$, емкость батареи равна $C = nC_0$.

При **последовательном соединении** (рис. 51) соединяют обкладки конденсаторов с разными знаками зарядов. В этом случае одинаковым является заряд q , равный полному заряду батареи

$$q_1 = q_2 = q_3 = \dots = q_n = q,$$

а напряжение батареи равно сумме напряжений

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n.$$

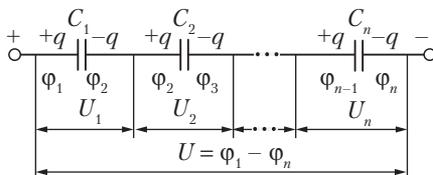


Рис. 51. Схема последовательного соединения трех конденсаторов

С учетом того, что $U = \frac{q}{C}$, получаем

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}.$$

В случае когда $C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_n = C_0$, емкость батареи равна

$$C = \frac{C_0}{n}.$$

■ **418.** Емкость C двух конденсаторов емкостями C_1 и C_2 , соединенных параллельно, определяется по формуле:

$$\text{а) } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1 + C_2}; \quad \text{б) } C = \frac{2C_1C_2}{C_1 + C_2}; \quad \text{в) } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}; \quad \text{г) } C = C_1 + C_2.$$

■ **419.*** Емкости конденсаторов $C_1 = 12$ пФ и $C_2 = 36$ пФ. Определите емкость C батареи конденсаторов при их параллельном включении.

■ **420.*** Емкости конденсаторов $C_1 = 48$ пФ и $C_2 = 36$ пФ. Определите емкость C батареи конденсаторов при их последовательном включении.

■ **421.*** Емкость плоского конденсатора с вертикальными пластинами $C = 90$ нФ. Определите его емкость C_1 , если из пространства между пластинами удалить ровно половину залитого туда керосина.

■ **422.*** Имеются три одинаковых конденсатора. Какое их соединение даст большую емкость C : а) два соединены последовательно и третий параллельно им обоим; б) два параллельно и третий последовательно к ним?

■ **423.*** Батарея конденсаторов состоит из двух плоских конденсаторов, соединенных параллельно, электроемкости которых

$C_1 = 10 \text{ мкФ}$ и $C_2 = 40 \text{ мкФ}$ соответственно. Из конденсатора большей емкости сливают жидкий диэлектрик проницаемостью $\epsilon = 4,0$ и полностью заполняют им второй, бывший до этого пустым. Как изменится при этом емкость C батареи?

■ **424.*** Имеются три одинаковых конденсатора, рассчитанные на некоторое напряжение пробоя. Какое их соединение даст возможность накопить больший заряд q :

а) два соединены последовательно и третий параллельно им обоим;

б) два параллельно и третий последовательно к ним?

■ **425.*** Три конденсатора емкостями $C_1 = 10 \text{ мкФ}$, $C_2 = 20 \text{ мкФ}$ и $C_3 = 30 \text{ мкФ}$ соединены последовательно и подключены к источнику напряжением $U = 60 \text{ В}$. Определите энергию W , запасенную всей системой, и энергию W_1 , W_2 , W_3 каждого конденсатора.

■ **426.*** Батарея конденсаторов состоит из двух плоских конденсаторов, соединенных последовательно, емкости которых $C_1 = 10 \text{ пФ}$ и $C_2 = 30 \text{ пФ}$. Из конденсатора большей емкости сливают половину жидкого диэлектрика с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 3,0$ и наполовину заполняют им конденсатор меньшей емкости. Определите емкость C полученной батареи.

■ **427.*** К конденсатору емкостью $C_1 = 60 \text{ нФ}$, заряженному до напряжения $U = 80 \text{ В}$, последовательно присоединяют незаряженный конденсатор емкостью $C_2 = 90 \text{ нФ}$. Определите заряды q_1 и q_2 на каждом конденсаторе после соединения.

■ **428.*** Емкость некоторого участка цепи, содержащей конденсатор $C_1 = 2,0 \text{ мкФ}$, необходимо увеличить до $C_2 = 3,0 \text{ мкФ}$. Как следует подключить для этого дополнительный конденсатор и какой должна быть его емкость C_3 ?

■ **429.*** Емкость некоторого участка цепи, содержащей конденсатор $C_1 = 3,0 \text{ мкФ}$, необходимо уменьшить до $C_2 = 1,0 \text{ мкФ}$. Как, ничего не удаляя, следует подключить для этого дополнительный конденсатор и какой должна быть его емкость C_3 ?

■ **430.*** Определите величину заряда q , который необходимо сообщить двум параллельно соединенным конденсаторам, чтобы зарядить их до напряжения $U = 10 \text{ кВ}$, если емкости конденсаторов $C_1 = 3 \text{ нФ}$ и $C_2 = 5 \text{ нФ}$.

■ **431.*** Батарея из трех конденсаторов емкостями $C_1 = 10 \text{ мкФ}$, $C_2 = 15 \text{ мкФ}$ и $C_3 = 20 \text{ мкФ}$, соединенных последовательно, подключена к источнику напряжением $U = 50 \text{ В}$. Как изменится энергия ΔW

батареи, если, не отключая ее от источника, заполнить керосином средний конденсатор?

■ **432.*** Три конденсатора емкостями $C_1 = 15$ мкФ, $C_2 = 20$ мкФ и $C_3 = 30$ мкФ, соединенные последовательно, подключены к источнику напряжением $U = 12$ В. Как изменится энергия W батареи конденсаторов, если, отключив ее от источника, заполнить керосином средний конденсатор?

■ **433.*** Определите емкость C батареи, состоящей из двух конденсаторов емкостями $C_1 = 6,0$ мкФ и $C_2 = 2,0$ мкФ, соединенных последовательно. Какие напряжения U_1 и U_2 будут на каждом из конденсаторов при подключении батареи к источнику напряжением $U = 220$ В?

■ **434.*** Обкладки конденсатора емкостью $C_1 = 3,0$ пФ и напряжением $U_1 = 100$ В соединяют с обкладками конденсатора емкостью $C_2 = 9,0$ пФ и напряжением $U_2 = 20$ В. Каким будет установившееся напряжение U на конденсаторах после соединения обкладок: а) одного знака; б) разных знаков?

■ **435.*** Имеются три конденсатора емкостями $C_1 = 6,0$ мкФ, $C_2 = 1,0$ мкФ и $C_3 = 5,0$ мкФ. Как следует соединить конденсаторы для получения наибольшей C_{\max} и наименьшей C_{\min} емкости? Чему они равны?

■ **436.*** Имеется три различных конденсатора, причем емкость одного из них $C_1 = 4,0$ мкФ. Если конденсаторы соединить последовательно, то емкость полученной батареи будет $C = \frac{12}{11}$ мкФ, а если параллельно — $C_0 = 12$ мкФ. Определите неизвестные емкости C_2 и C_3 конденсаторов.

■ **437.*** В плоский воздушный конденсатор емкостью C_0 и расстоянием между пластинами d параллельно обкладкам вводят металлическую пластину толщиной l . Определите емкость C полученного конденсатора.

■ **438.*** Изолированный воздушный конденсатор зарядом q погружают в бензин на $k = \frac{2}{3}$ его объема. Определите напряжение U на погруженном конденсаторе в случае, когда: а) его пластины перпендикулярны к поверхности бензина; б) его пластины параллельны поверхности бензина. Площадь каждой пластины конденсатора S , расстояние между ними — d .

■ **439.*** Три плоских конденсатора емкостями C , $2C$, $3C$ заряжены до напряжения U , $2U$, $3U$ соответственно. Конденсаторы соединили параллельно одноименно заряженными пластинами. Определите заряды q_1 , q_2 , q_3 на конденсаторах.

■ **440.*** Плоский конденсатор емкостью C образован двумя параллельными металлическими пластинами. Определите емкость C' батареи, если обе пластины разрезать пополам и отрезанные части расположить за пластинами параллельно их плоскостям на таком же расстоянии друг от друга.

■ **441.*** Плоский воздушный конденсатор с площадью каждой пластины S и расстоянием между пластинами d подключен к источнику постоянного тока напряжением U . Определите изменение заряда Δq на конденсаторе, если в него ввести пластину толщиной $d_1 = \frac{4}{5}d$

с диэлектрической проницаемостью ϵ .

■ **442.*** Определите емкость батареи конденсаторов (рис. 52), если $C_1 = 8,0$ мкФ, $C_2 = 18$ мкФ, $C_3 = 6,0$ мкФ, $C_4 = 2,0$ мкФ.

■ **443.*** Определите емкость батареи конденсаторов (рис. 53), если $C_1 = 8,0$ мкФ, $C_2 = 18$ мкФ, $C_3 = 6,0$ мкФ, $C_4 = 2,0$ мкФ.

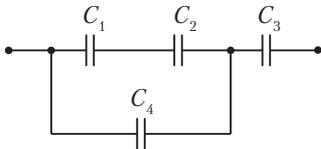


Рис. 52

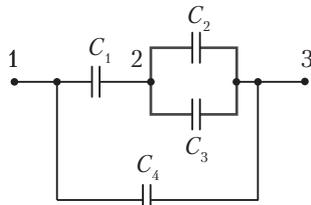


Рис. 53

■ **444.*** Определите емкость батареи конденсаторов (рис. 54), если $C_1 = 8,0$ мкФ, $C_2 = 18$ мкФ, $C_3 = 6,0$ мкФ, $C_4 = 2,0$ мкФ.

■ **445.*** Определите емкость батареи конденсаторов (рис. 55), если $C_1 = 8,0$ мкФ, $C_2 = 18$ мкФ, $C_3 = 6,0$ мкФ, $C_4 = 2,0$ мкФ.

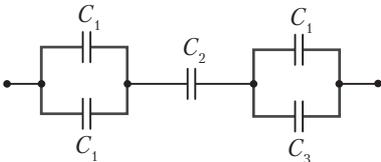


Рис. 54

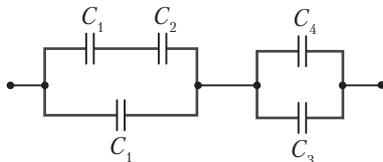


Рис. 55

■ **446.*** Определите емкость батареи конденсаторов (рис. 56) между точками A и B , если емкость каждого конденсатора равна C .

■ **447.*** Определите емкость батареи конденсаторов (рис. 57) между точками A и B , если емкость каждого конденсатора равна C .

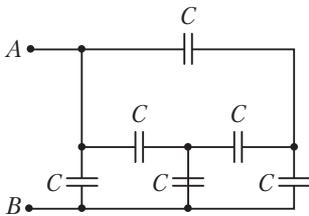


Рис. 56

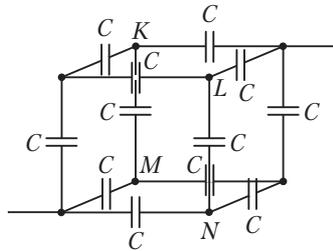


Рис. 57

■ **448.*** Определите емкость бесконечно длинной цепочки одинаковых конденсаторов (рис. 58).

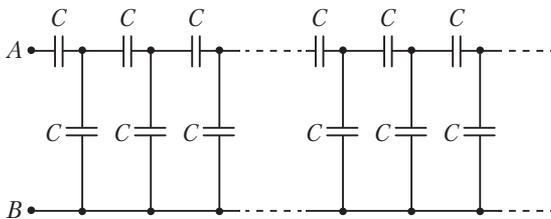


Рис. 58

■ **449.*** Определите емкость плоского конденсатора с площадью обкладок S , заполненного плоскими слоями диэлектриков с проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2 , толщины которых d_1 и d_2 соответственно.

■ **450.*** На батарею конденсаторов подано напряжение $U = 200$ В. Определите емкость конденсатора C_3 , если емкости конденсаторов $C_1 = 4,0$ мкФ, $C_2 = 8,0$ мкФ, а заряд, сообщенный батарее, оказался равен $q = 300$ мкКл. Определите энергии, запасенные каждым конденсатором.

■ **451.*** Каким образом необходимо соединить четыре конденсатора емкостью $C_0 = 9,0$ мкФ каждый, чтобы получить батарею емкостью $C = 12,0$ мкФ?

■ **452.*** Определите напряжение на каждом конденсаторе в схеме на рисунке 59, если $C_1 = 4,0$ мкФ, $C_2 = 8,0$ мкФ, $C_3 = 6,0$ мкФ. Напря-

жение источника $U = 12$ В. Найдите энергию, запасенную каждым конденсатором.

■ **453.*** Определите емкость батареи конденсаторов (рис. 60), каждый из которых имеет емкость $C = 12$ мкФ.

■ **454.*** Определите емкость батареи конденсаторов (рис. 61), каждый из которых имеет емкость $C = 6,0$ мкФ.

■ **455.*** Определите емкость конденсатора C_1 , если емкость батареи конденсаторов (см. рис. 55) $C_0 = 4,1$ мкФ, а $C_2 = 10$ мкФ, $C_3 = 4,0$ мкФ, $C_4 = 2,0$ мкФ.

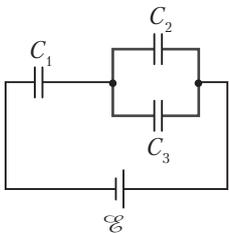


Рис. 59

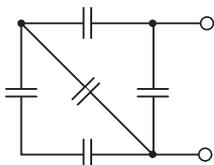


Рис. 60

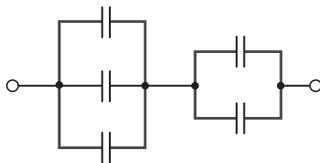


Рис. 61

24

Работа сил электростатического поля

Работа A сил электростатического поля по перемещению заряда q не зависит от траектории движения и равна изменению потенциальной энергии заряда ΔW в поле, взятому с противоположным знаком:

$$\begin{aligned} A &= -qE(d_2 - d_1) = -(qEd_2 - qEd_1) = \\ &= -qE\Delta d = -(W_2 - W_1) = W_1 - W_2 = -\Delta W. \end{aligned}$$

Работу сил поля можно определить через электрическое напряжение или разность потенциалов между начальной и конечной точками траектории:

$$A = qU = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

■ **456.** Соотношение, определяющее потенциальную энергию взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2 , находящихся в веществе с диэлектрической проницаемостью ϵ на расстоянии r друг от друга, выражается формулой:

а) $W = \frac{kq_1q_2}{\epsilon r}$;

в) $W = \frac{k(q_1 + q_2)}{\epsilon r}$;

б) $W = \frac{kq_1q_2}{\epsilon r^2}$;

г) $W = \frac{k(q_1 + q_2)^2}{\epsilon r^2}$.

■ **457.** Силы электростатического поля при перемещении точечного заряда под углом $\alpha = 90^\circ$ к силовым линиям совершают:

а) максимальную работу;

б) минимальную работу;

в) работу, равную нулю;

г) работу определить невозможно.

■ **458.** В некоторой точке пространства потенциал электростатического поля $\phi = 500$ В. Какой потенциальной энергией W обладает в этой точке: а) электрон; б) протон?

■ **459.** Два точечных заряда q находятся на расстоянии r_1 друг от друга. Какую работу A необходимо совершить, чтобы сблизить их до расстояния $r_2 = 0,2r_1$?

■ **460.** Два точечных заряда $q_1 = 3,0 \cdot 10^{-8}$ Кл и $q_2 = 50$ нКл находятся на расстоянии $r = 1,0$ м друг от друга в вакууме. Какую работу A необходимо совершить, чтобы уменьшить расстояние между зарядами в $p = 5$ раз?

■ **461.** При медленном перемещении точечного заряда q на расстояние $\Delta r = 30$ см под углом $\alpha = 45^\circ$ к силовым линиям однородного электростатического поля, модуль напряженности которого $E = 30 \frac{\text{В}}{\text{м}}$, силами поля была совершена работа $A = 15$ мДж. Найдите

величину заряда q .

■ **462.** Определите модуль скорости v электронов при достижении ими поверхности электронно-лучевой трубки, если они разгоняются под действием ускоряющего напряжения $U = 10$ кВ. Начальную скорость электронов считайте равной нулю.

■ **463.** Одинаковые по модулю точечные положительные заряды q закреплены в вершинах D и B квадрата со стороной a . Определите

работу A , совершенную силами электростатического поля при перемещении точечного положительного заряда q_0 из центра квадрата в его вершину C (рис. 62).

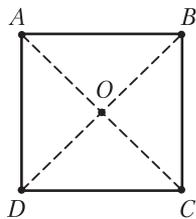


Рис. 62

■ **464.** Определите количество теплоты Q , выделившееся при заземлении заряженного до потенциала $\varphi = 200$ В металлического шара радиусом $R = 10$ см, находящегося в воздухе.

■ **465.** Электрические потенциалы в точках C и B пространства равны соответственно $\varphi_1 = 20$ В и $\varphi_2 = -30$ В (рис. 63). Какую работу A_2 необходимо совершить внешним силам для перемещения электрона из точки C в точку B по некоторой траектории? Равна ли она работе A_1 , которую необходимо совершить для перемещения электрона из точки B в точку C ?



Рис. 63

■ **466.** Три непроводящих шарика радиусом $r = 3,00$ мм и зарядом $q = 0,100$ мкКл каждый расположены вдоль прямой линии, касаясь друг друга. Какую работу A совершат силы электростатического поля, если шарики расположить в вершинах правильного треугольника со стороной $a = 1,00$ см?

■ **467.** Какую работу A совершат силы электростатического поля при разрядке металлической сферы радиусом $R = 50$ см, если ее заряд уменьшится с $q_1 = 30$ мкКл до $q_2 = 10$ мкКл? Считайте, что заряды со сферы уходят в бесконечность.

■ **468.** Для перемещения точечного заряда q из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии a от поверхности заряженного шара радиусом R , требуется совершить работу A . Определите потенциал φ на поверхности шара.

■ **469.** Определите энергию W , выделяющуюся при ударе молнии в Землю, если при этом Земле передается заряд $q = 60$ Кл при среднем значении напряжения $\langle U \rangle = 7,0 \cdot 10^7$ В. Какую массу m холодной воды при температуре $t = 0$ °С можно было бы довести до кипения, используя эту энергию?

■ **470.** Какую работу A необходимо совершить для того, чтобы объединить $N = 1000$ одинаковых сферических капель воды радиусом $r = 2,5 \cdot 10^{-4}$ см и зарядом $q = 0,80 \cdot 10^{-14}$ Кл в одну сферическую каплю? Поверхностным натяжением пренебречь.

■ 471. Какую работу A нужно совершить, чтобы сообщить металлической сфере радиусом $R = 30$ см и зарядом $q = 60$ мкКл дополнительный заряд $\Delta q = 0,40$ мкКл?

■ 472.* Какое ускоряющее напряжение U должен пройти протон, движущийся из бесконечности в направлении ядра атома железа, чтобы энергия протона оказалась достаточной для достижения поверхности ядра? Заряд ядра атома железа в $n = 26$ раз больше заряда протона, радиус ядра атома железа $r = 4,0 \cdot 10^{-15}$ м. Ядро атома железа считайте однородно заряженным шаром.

■ 473.* Чему равна потенциальная энергия W взаимодействия трех одинаковых точечных зарядов q , расположенных в вакууме в вершинах равностороннего треугольника со стороной a ? Какую работу A необходимо совершить, чтобы эти заряды расположить в цепочку на расстоянии $3a$ друг от друга?

25

Энергия электростатического поля конденсатора

Энергия электростатического поля заряженного конденсатора:

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}.$$

Энергия плоского конденсатора:

$$W = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} V.$$

Электрон-вольт — энергия, которую приобретет частица с зарядом, равным по модулю заряду электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, пройдя разность потенциалов в 1 В:

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1 \text{ В} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

■ 474. Энергия W электростатического поля конденсатора с напряжением U на его пластинах определяется по формуле:

а) $W = \frac{U^2}{2q}$;

в) $W = qU$;

б) $W = \frac{CU^2}{2}$;

г) $W = \frac{U}{2q}$.

■ 475. Конденсатор зарядили и отключили от источника тока. Как изменится энергия электрического поля внутри конденсатора, если расстояние между обкладками конденсатора увеличить в 2 раза?

а) Не изменится;

в) увеличится в 2 раза;

б) уменьшится в 2 раза;

г) увеличится в 4 раза.

■ 476. Определите энергию W , запасенную в конденсаторе емкостью $C = 32$ нФ, заряженном до напряжения $U = 30$ В.

■ 477. Найдите заряд q конденсатора, если напряжение на нем $U = 60$ В, а его энергия $W = 30$ мДж.

■ 478. Определите емкость C конденсатора, если напряжение на нем $U = 200$ В, а его энергия $W = 50$ мДж.

■ 479. Определите емкость C конденсатора, заряженного до напряжения $U = 150$ В, если при его разрядке выделяется $Q = 5,0$ мДж теплоты.

■ 480. До какого напряжения U необходимо зарядить конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ, чтобы его энергия стала $W = 1,0$ Дж?

■ 481. Как изменится энергия W заряженного и отключенного от источника тока конденсатора, если расстояние между его обкладками уменьшить в $n = 2$ раза?

■ 482. Определите энергию W электростатического поля плоского воздушного конденсатора, расстояние между обкладками которого $d = 2,0$ мм, если модуль напряженности поля $E = 800 \frac{\text{В}}{\text{м}}$, а емкость

конденсатора $C = 5,0$ мкФ.

■ 483. Плоский конденсатор емкостью $C = 6,0$ мкФ, заполненный диэлектриком, диэлектрическая проницаемость которого $\epsilon = 4,0$, подключен к источнику тока и заряжен до напряжения $U = 200$ В. Какую работу A необходимо совершить, чтобы, не отключая конденсатор от источника, удалить из него диэлектрик?

■ 484. Определите работу A , совершаемую при медленном увеличении расстояния между обкладками плоского воздушного конденсатора в $n = 2$ раза по сравнению с начальным, если напряжение

на нем было $U = 120$ В, его емкость $C = 8,0$ мкФ и он был отключен от источника тока.

■ **485.*** Плоский воздушный конденсатор с расстоянием между обкладками $d = 4,0$ см и площадью каждой из обкладок $S = 80$ см² присоединен к источнику постоянного тока, напряжение на клеммах которого $U = 2,0$ кВ. В конденсатор параллельно обкладкам ввели металлическую пластину толщиной $d_0 = 20$ мм. На какую величину ΔW изменится при этом энергия конденсатора? Какую работу A совершил источник тока? Какую работу A' совершили силы электростатического поля? Определите также изменение энергии ΔW_1 конденсатора, если пластину вставить в заряженный конденсатор, отключенный от источника.

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Единицы измерения основных величин электрического тока

Наименование величины	Обозначение	Название единицы	Выражение через основные единицы СИ
Сила тока	I	Ампер (1 А)	А
Разность потенциалов, напряжение, электродвижущая сила	$\varphi_1 - \varphi_2$ U \mathcal{E}	Вольт (1 В)	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{с}^{-3}$
Электрическое сопротивление	R	Ом (1 Ом)	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{А}^2 \cdot \text{с}^{-3}$
Удельное электрическое сопротивление	ρ	Ом · метр (1 Ом · м)	$\text{м}^3 \cdot \text{кг} \cdot \text{А}^2 \cdot \text{с}^{-3}$

26

Электрический ток. Электрическое сопротивление. Напряжение. Закон Ома для участка цепи

Сила тока I — скалярная физическая величина, равная отношению заряда Δq , прошедшего за промежуток времени Δt через поперечное сечение проводника, к этому промежутку:

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

Напряжением U на участке цепи называется физическая скалярная величина, численно равная полной работе A , которая совершается

кулоновскими и сторонними силами при перемещении вдоль участка цепи положительного единичного заряда q :

$$U = \frac{A}{q}.$$

Закон Ома для однородного участка цепи:

$$I = \frac{U}{R} = -\frac{\Delta\varphi}{R}.$$

■ **486.** Электрический ток — это:

- а) беспорядочное движение заряженных частиц;
- б) равномерное движение заряженных частиц;
- в) любое изменение положения заряженных частиц в пространстве относительно друг друга;
- г) упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц.

■ **487.** Электрическое напряжение — это:

- а) скалярная физическая величина, равная отношению силы тока к площади поперечного сечения проводника;
- б) векторная физическая величина, равная по модулю отношению силы тока к площади поперечного сечения проводника и направленная по току вдоль проводника;
- в) векторная физическая величина, равная по модулю отношению силы тока к площади поперечного сечения проводника, направленная против тока вдоль проводника;
- г) скалярная физическая величина, численно равная полной работе A , которая совершается кулоновскими и сторонними силами при перемещении положительного единичного заряда q вдоль участка цепи.

■ **488.** Сила тока вычисляется по формуле:

$$\begin{array}{ll} \text{а) } I = \frac{\Delta t}{\Delta q}; & \text{в) } I = \sqrt{\frac{\Delta q}{\Delta t}}; \\ \text{б) } I = \frac{\Delta q}{\Delta t}; & \text{г) } I = \Delta q \Delta t. \end{array}$$

■ **489.** Если увеличить длину проводника при постоянной площади поперечного сечения и неизменной температуре, то его электрическое сопротивление:

- а) не изменится;
- б) увеличится;
- в) станет равным нулю;
- г) уменьшится.

- **490.** Определите сопротивление R алюминиевого провода длиной $l = 3,6$ м и диаметром $d = 2,4$ мм.
- **491.** При каком диаметре d_2 медный провод будет иметь одинаковое сопротивление с алюминиевым проводом диаметром $d_1 = 1,8$ мм? Длины проводов одинаковы.
- **492.** Провод длиной $l_1 = 10$ м имеет сопротивление $R_1 = 1,5$ Ом. Определите сопротивление R_2 провода длиной $l_2 = 40$ м, изготовленного из такой же проволоки.
- **493.** Определите длину l и диаметр d алюминиевой проволоки, если ее сопротивление $R = 4,0$ Ом, а масса $m = 0,40$ кг.
- **494.** Медная и стальная проволока имеют одинаковую длину и одинаковое сопротивление. Какая из них тяжелее и во сколько раз k ?
- **495.** Прямоугольный медный брусок размером $1,0 \times 2,0 \times 3,0$ см подключается к источнику тока. Определите максимальное R_{\max} и минимальное R_{\min} сопротивления бруска при подключении к его клеммам источника.
- **496.** Проволоку сопротивлением $R = 5,0$ Ом увеличили по длине в $n = 4$ раза. Определите его новое сопротивление R_1 , считая, что плотность вещества при растяжении не меняется.
- **497.** Резистор сопротивлением $R = 76,0$ Ом изготовлен из алюминиевого провода массой $m = 25,0$ г. Определите площадь S поперечного сечения, радиус r и длину l провода.
- **498.** Две проволоки — алюминиевая и медная — имеют одинаковую массу m . Длина медной проволоки в $n = 5$ раз больше длины алюминиевой. Во сколько раз k отличаются их сопротивления, если удельное сопротивление меди меньше удельного сопротивления алюминия в $p = 1,65$ раза, а плотность меди в $h = 3,3$ раза больше?
- **499.** Определите силу тока I в проводнике, если за промежуток времени $\Delta t = 5,0$ с через поперечное сечение проводника прошел заряд $q = 20$ Кл.
- **500.** Какой заряд q проходит по цепи при зарядке аккумулятора, если сила тока при этом $I = 6,5$ А, а время зарядки $\Delta t = 1,5$ ч?
- **501.** Сколько электронов N проходит каждую секунду через поперечное сечение проводника при силе тока $I = 2,0$ А?
- **502.** Сколько электронов N пройдет через поперечное сечение проводника при силе тока $I = 2,0$ А за промежуток времени $\Delta t = 1,0$ года?

■ **503.** Можно ли включать в сеть напряжением $U = 220$ В прибор, на котором написано, что сопротивление $R = 40,0$ Ом, сила тока $I = 10,0$ А?

■ **504.** Определите напряжение U на резисторе, имеющем сопротивление $R = 30$ Ом, если известно, что за промежуток времени $\Delta t = 10$ мин по нему прошел заряд $q = 240$ Кл.

■ **505.*** Определите, под каким напряжением U находится птица, сидящая на проводе линии электропередачи, по которому проходит ток силой $I = 1,0$ кА. Лапки птицы находятся на расстоянии $l = 2,0$ см друг от друга, сопротивление погонного метра провода $R_e = 4,0 \cdot 10^{-5}$ Ом. Почему большим птицам опасно садиться на высоковольтные линии электропередачи?

■ **506.** Определите силу тока I , проходящего по графитовому стержню длиной $l = 40$ см и радиусом $r = 2,0$ мм при напряжении $U = 12$ В.

Удельное сопротивление графитового стержня $\rho = 400 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

■ **507.** Определите силу тока I , возникающего вследствие вращения электрона вокруг ядра в атоме водорода по орбите радиусом $r = 5,3 \cdot 10^{-11}$ м.

■ **508.*** Сила тока в проводнике в течение промежутка времени Δt равномерно возрастает от значения $I_1 = 0$ до $I_2 = I$, затем в течение такого же промежутка времени остается постоянной, а потом равномерно уменьшается до нуля за этот же промежуток времени. Определите заряд q , прошедший по проводнику за промежуток времени $3\Delta t$.

■ **509.*** Сила тока I в проводнике в течение промежутка времени Δt равномерно возрастает от 0 до I_1 , затем в течение промежутка времени $\frac{\Delta t}{2}$ остается постоянной, потом в течение такого же промежутка равномерно возрастает до I_2 и за промежуток времени Δt равномерно убывает до 0. Какой заряд q прошел по проводнику за время наблюдения?

Соединения резисторов

Сопротивление проводника цилиндрической формы длиной l постоянного поперечного сечения S , имеющего удельное сопротивление ρ , определяется по формуле:

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

При **последовательном соединении** резисторов (рис. 64) конец одного резистора соединяется с началом другого, вследствие чего сила тока одинакова во всех резисторах (в противном случае заряды накапливались бы в каких-либо точках цепи):

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n = I.$$

Напряжение на участке цепи равно сумме падений напряжений на каждом резисторе:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n.$$

Сопротивление участка цепи $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$, или

$$R = \sum_{i=1}^n R_i.$$

Таким образом, при **последовательном соединении** резисторов их **сопротивления складываются**.

При последовательном соединении резисторов сопротивление участка цепи всегда превышает наибольшее из всех сопротивлений резисторов, составляющих данный участок цепи.

Если $R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_n$, то $R = nR_1$.

При **параллельном соединении** (рис. 65) все резисторы одним концом соединены в узел A , а вторым концом — в узел B . (Узлами называются точки цепи, в которых сходятся

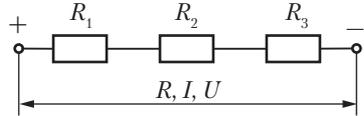


Рис. 64. Схема последовательного соединения резисторов

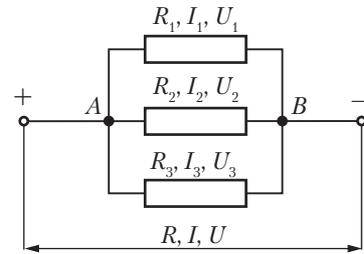


Рис. 65. Схема параллельного соединения резисторов

не менее трех проводников.) При этом напряжение на каждом резисторе одинаковое и равно напряжению на участке цепи:

$$U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n = U,$$

так как резисторы присоединены к одним и тем же точкам цепи.

Сила тока в цепи равна сумме сил токов в ветвях:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n.$$

Сопротивление участка цепи:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

С учетом того, что $R = \frac{1}{G}$, можно записать:

$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n.$$

Таким образом, при **параллельном** соединении резисторов **складываются проводимости**, тогда как при их **последовательном** соединении **складываются сопротивления**.

При параллельном соединении резисторов сопротивление участка цепи меньше наименьшего из всех сопротивлений резисторов.

Если $R_1 = R_2 = \dots = R_n$, то

$$R = \frac{R_1}{n} \text{ или } G = nG_1.$$

■ **510.** Схема последовательного соединения резисторов изображена на рисунке 66 (а – г) в случае:

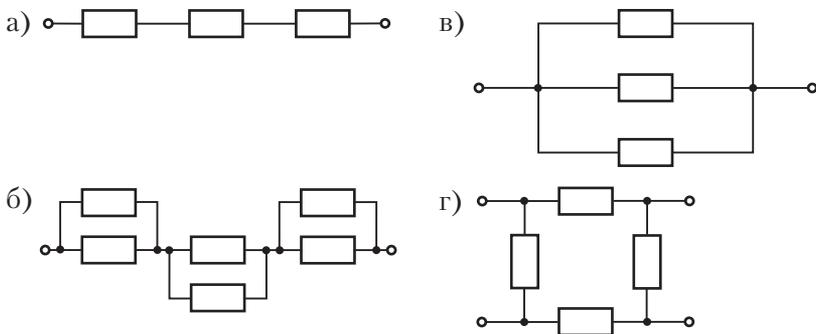


Рис. 66

■ **511.** Схема параллельного соединения резисторов изображена на рисунке 67 (а – г) в случае:

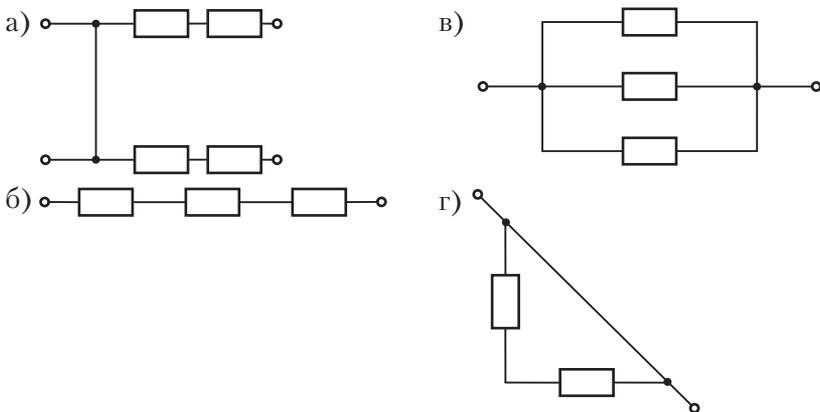


Рис. 67

■ **512.** Закон Ома для участка цепи выражается формулой:

а) $I = \frac{U}{R};$

в) $R = \rho \frac{l}{S};$

б) $I = \frac{\Delta q}{\Delta t};$

г) $I = \frac{R}{U}.$

■ **513.** Три одинаковых резистора соединены параллельно и включены в цепь силой тока I . Сила тока в каждом из резисторов:

а) $3I;$

б) $\frac{I}{3};$

в) $I;$

г) определить невозможно, так как неизвестно сопротивление резисторов.

■ **514.** Три одинаковых резистора соединены последовательно и включены в цепь напряжением U . Напряжение на каждом резисторе:

а) $3U;$

б) $\frac{U}{3};$

в) $U;$

г) определить невозможно, так как неизвестно сопротивление резисторов.

■ **515.** Два резистора, сопротивления которых $R_1 = 10$ Ом и $R_2 = 20$ Ом, соединены параллельно друг другу. Определите их общее сопротивление R_0 .

■ **516.** Какие ключи необходимо замкнуть, чтобы сопротивление участка цепи (рис. 68) было $R_0 = 40$ Ом? Сопротивление каждого резистора на схеме $R = 10$ Ом.

■ **517.** Какие ключи необходимо замкнуть, чтобы сопротивление участка цепи (рис. 68) было $R_0 = 30$ Ом? Сопротивление каждого резистора на схеме $R = 10$ Ом.

■ **518.** Какие ключи необходимо замкнуть, чтобы сопротивление участка цепи (рис. 68) было $R_0 = 20$ Ом? Сопротивление каждого резистора на схеме $R = 10$ Ом.

■ **519.** Какие ключи необходимо замкнуть, чтобы сопротивление участка цепи (рис. 68) было $R_0 = 10$ Ом? Сопротивление каждого резистора на схеме $R = 10$ Ом.

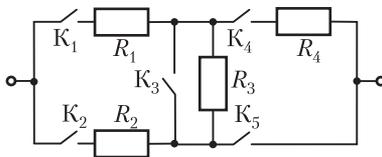


Рис. 68

■ **520.** Какие ключи необходимо замкнуть в цепи, изображенной на рисунке 69, чтобы ток проходил только по первому резистору?

■ **521.** Какие ключи необходимо замкнуть в цепи, изображенной на рисунке 69, чтобы ток проходил только по первому и второму резисторам?

■ **522.** Какие ключи необходимо замкнуть в цепи, изображенной на рисунке 69, чтобы все три резистора были соединены последовательно?

■ **523.** Все резисторы имеют сопротивление $R = 10$ Ом (рис. 69). Определите сопротивление R_0 участка цепи, когда все ключи замкнуты.

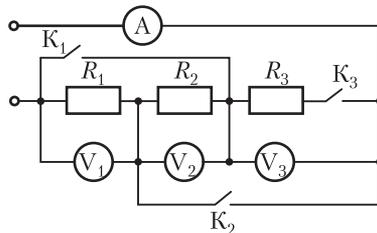


Рис. 69

- **524.** Какие ключи необходимо замкнуть в цепи, изображенной на рисунке 69, чтобы все три резистора были соединены параллельно?
- **525.** Все резисторы в цепи имеют сопротивление $R = 10 \text{ Ом}$ (рис. 68). Какие ключи необходимо замкнуть, чтобы сопротивление участка цепи было $R_0 = 15 \text{ Ом}$?
- **526.** Все резисторы в цепи имеют сопротивление $R = 10 \text{ Ом}$ (рис. 68). Какие ключи необходимо замкнуть, чтобы сопротивление участка цепи было $R_0 = 5,0 \text{ Ом}$?
- **527.** Все резисторы в цепи имеют сопротивление $R = 10 \text{ Ом}$ (рис. 68). К участку цепи приложено напряжение $U = 30 \text{ В}$. Какие ключи нужно замкнуть, чтобы сила тока в подводящих проводах была $I = 3,0 \text{ А}$?
- **528.** Все резисторы в цепи имеют сопротивление $R = 10 \text{ Ом}$ (рис. 68). К участку цепи приложено напряжение $U = 30 \text{ В}$. Какие ключи нужно замкнуть, чтобы сила тока в подводящих проводах была $I = 2,0 \text{ А}$?
- **529.** Все резисторы в цепи имеют сопротивление $R = 10 \text{ Ом}$ (рис. 68). К участку цепи приложено напряжение $U = 30 \text{ В}$. Какие ключи нужно замкнуть, чтобы сила тока в подводящих проводах была $I = 1,0 \text{ А}$?
- **530.** К участку цепи (рис. 68) приложено напряжение $U = 30 \text{ В}$. Определите напряжение U_3 на резисторе R_3 при замыкании ключей K_1 и K_5 .
- **531.** Найдите максимальное сопротивление R_{max} медного бруска размером $0,5 \times 1,0 \times 2,0 \text{ м}$ при подключении его к источнику тока.
- **532.** Во сколько раз изменится сопротивление R проводника, если его длину l уменьшить на $k = 20 \%$, а площадь S поперечного сечения увеличить на $n = 50 \%$?
- **533.** Электрическое сопротивление R цилиндрического проводника при неизменном объеме уменьшилось на 19% . Найдите, на сколько процентов увеличилась площадь S его поперечного сечения.
- **534.** Электрическое сопротивление R цилиндрического проводника при неизменном объеме уменьшилось на 19% . На сколько процентов уменьшилась его длина l ?
- **535.** Определите силу тока I , проходящего по графитовому стержню длиной $l = 20 \text{ см}$, диаметром $d = 2,0 \text{ мм}$, если на него подать напряжение $U = 6,0 \text{ В}$.

■ **536.** Найдите сопротивление участка цепи (рис. 70), если сопротивление каждого резистора $R = 2,0$ Ом.

■ **537.** Найдите сопротивление участка цепи (рис. 71), если сопротивление каждого резистора $R = 2,0$ Ом.

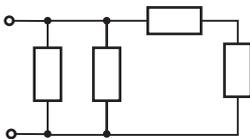


Рис. 70

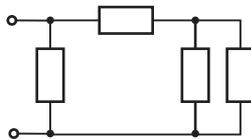


Рис. 71

■ **538.** Участок электрической цепи состоит из трех последовательно соединенных резисторов. Определите сопротивление резистора R_3 , если сопротивление резистора $R_1 = 18$ Ом, напряжение на первом резисторе $U_1 = 4,5$ В, а на третьем — $U_3 = 10$ В.

■ **539.** Электрическая цепь, на которую подается постоянное напряжение, состоит из двух параллельно соединенных резисторов, подключенных последовательно к третьему. Сопротивления всех резисторов одинаковы. Определите, во сколько раз изменится напряжение на третьем сопротивлении, если одно из параллельно соединенных сопротивлений сгорит.

■ **540.** Электрическая цепь, на которую подается постоянное напряжение, состоит из двух параллельно соединенных резисторов

сопротивлениями $R_1 = \frac{R}{2}$ и $R_2 = \frac{R}{4}$, подключенных последовательно

к третьему сопротивлением $R_3 = R$. Определите, во сколько раз изменится напряжение на третьем резисторе, если второй из параллельно соединенных резисторов сгорит.

■ **541.** Электрическая цепь, на которую подается постоянное напряжение, состоит из двух параллельно соединенных резисторов

сопротивлениями $R_1 = \frac{R}{3}$ и $R_2 = \frac{2R}{3}$, подключенных последователь-

но к третьему сопротивлением $R_3 = R$. Определите, во сколько раз изменится напряжение на третьем резисторе, если первый из параллельно соединенных резисторов сгорит.

■ **542.** Сопротивления резисторов $R_1 = 2,0$ Ом, $R_3 = 6,0$ Ом (рис. 72), напряжение источника $U = 2,2$ В. Найдите напряжение U_2 на резисторе сопротивлением $R_2 = 4,0$ Ом.

■ **543.** Сопротивления резисторов $R_1 = 4,0$ Ом, $R_2 = 2,0$ Ом, $R_4 = 6,0$ Ом (рис. 73), напряжение источника $U = 18$ В. Найдите напряжение U_3 на резисторе $R_3 = 6,0$ Ом.

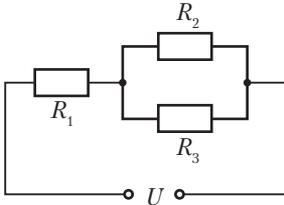


Рис. 72

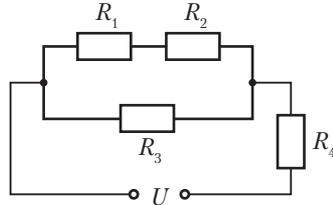


Рис. 73

■ **544.** Какое сопротивление R_x необходимо подключить между точками A и B (рис. 74), чтобы сопротивление всей цепи было $R = 10$ Ом? Остальные сопротивления: $R_1 = R_4 = 3,0$ Ом, $R_2 = R_3 = 10$ Ом.

■ **545.** Какое сопротивление R_x необходимо подключить между точками A и B (рис. 75), чтобы сопротивление всей цепи было $R = 1,45$ Ом? Остальные сопротивления: $R_1 = R_3 = 2,0$ Ом, $R_2 = 4,0$ Ом.

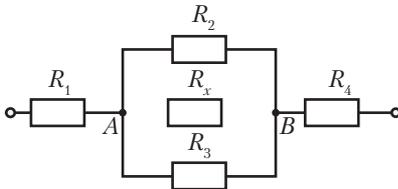


Рис. 74

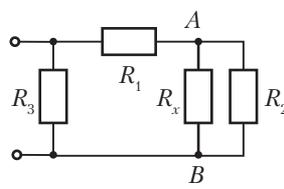


Рис. 75

■ **546.** Какое сопротивление необходимо подключить между точками A и C (рис. 76), чтобы сопротивление всей цепи было $R = 6,2$ Ом? Остальные сопротивления: $R_1 = 8,0$ Ом, $R_2 = R_3 = 6,0$ Ом.

■ **547.** Определите сопротивление R_0 участка цепи (рис. 77), если сопротивление каждого резистора равно R .

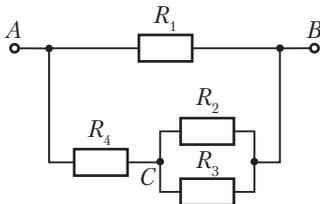


Рис. 76

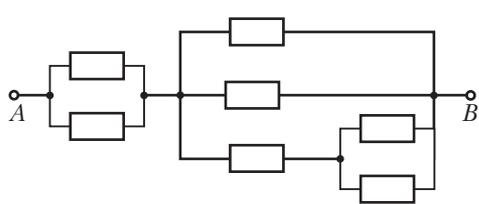


Рис. 77

■ **548.** Определите сопротивление R_0 участка цепи (рис. 78), если сопротивление каждого резистора равно R .

■ **549.** Два резистора сопротивлениями r и R подключены к источнику напряжения, как показано на рисунке 79. При замыкании ключа мощность, выделяющаяся на сопротивлении R , увеличивается в 2 раза. Определите, чему равно сопротивление r , если $R = 10$ Ом. Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

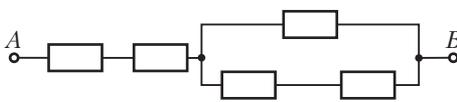


Рис. 78

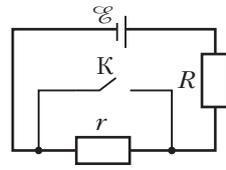


Рис. 79

■ **550.** Какое сопротивление R_x необходимо подключить между точками A и B (рис. 80), чтобы сопротивление всей цепи было $R = 1,0$ Ом? Остальные сопротивления: $R_1 = R_3 = 2,0$ Ом, $R_2 = 4,0$ Ом.

■ **551.** В электрической схеме на рисунке 81 сопротивления резисторов $R_1 = 2,0$ Ом, $R_2 = 6,0$ Ом, $R_3 = 4,0$ Ом, $R_4 = 8,0$ Ом, $R_5 = 5,0$ Ом. Найдите напряжение на резисторе сопротивлением R_1 . Напряжение на клеммах источника $U = 98$ В.

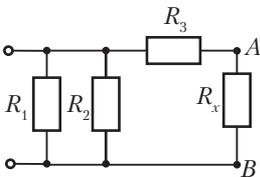


Рис. 80

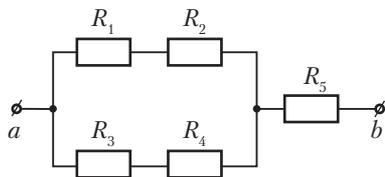


Рис. 81

■ **552.** В электрической схеме на рисунке 81 сопротивление резисторов $R_1 = 2,0$ Ом, $R_2 = 6,0$ Ом, $R_3 = 4,0$ Ом, $R_4 = 8,0$ Ом, $R_5 = 5,0$ Ом. Найдите напряжение на резисторе сопротивлением R_4 . Напряжение на клеммах источника $U = 98$ В.

■ **553.** В электрической схеме (рис. 82) сопротивления резисторов $R_1 = 4,0$ Ом, $R_2 = 2,0$ Ом, $R_4 = 6,0$ Ом. Найдите напряжение на резисторе сопротивлением $R_3 = 6,0$ Ом. Напряжение на клеммах источника $U = 18$ В.

■ **554.** Резисторы (рис. 83), сопротивления которых $R_1 = R_2 = 1,0$ Ом, $R_3 = R_4 = 2,0$ Ом, $R_5 = 4,0$ Ом, $R_6 = 2,5$ Ом, подключены в сеть с постоянным напряжением $U = 10$ В. Найдите напряжение на резисторе R_3 .

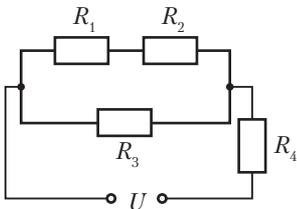


Рис. 82

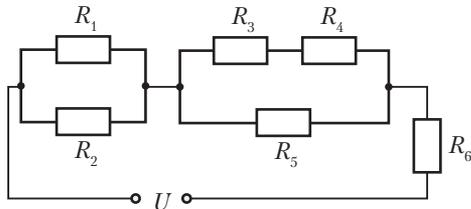


Рис. 83

■ **555.** Резисторы (рис. 84), сопротивления которых $R_1 = R_2 = 1,0$ Ом, $R_3 = R_4 = 2,0$ Ом, $R_5 = 4,0$ Ом, $R_6 = 2,5$ Ом, подключены в сеть с постоянным напряжением $U = 10$ В. Найдите силу тока, проходящего через резистор R_3 .

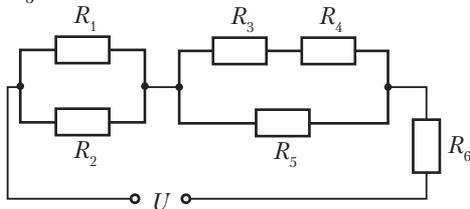


Рис. 84

■ **556.** Напряжение на концах участка цепи $U = 25$ В (рис. 85). Найдите силу тока на участке с резистором сопротивлением R_3 .

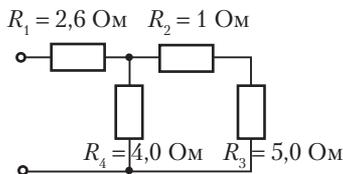


Рис. 85

■ **557.** Напряжение на концах участка цепи $U = 21$ В (рис. 86). Найдите силу тока на участке с резистором сопротивлением R_3 .

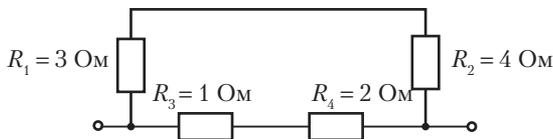


Рис. 86

■ **558.** Определите отношение напряжений $\frac{U_2}{U_1}$ на соединенных параллельно резисторах сопротивлениями $R_1 = 6,0$ Ом и $R_2 = 12$ Ом.

■ **559.** Определите отношение сил токов $\frac{I_2}{I_1}$, проходящих через соединенные параллельно резисторы сопротивлениями $R_1 = 4$ Ом и $R_2 = 8$ Ом.

■ **560.** Все резисторы в цепи имеют сопротивление $R = 10$ Ом (рис. 68). К участку цепи приложено напряжение $U = 30$ В. Определите напряжение U_3 на резисторе R_3 при замыкании ключей K_2 и K_4 .

■ **561.** Сопротивление лампы $R_1 = 200$ Ом, резистора — $R_2 = 50,0$ Ом. Их включили последовательно в сеть напряжением $U = 220$ В. Найдите силу тока I в цепи.

■ **562.** Две лампы, одна из которых имеет сопротивление $R_1 = 240$ Ом, а вторая — сопротивление $R_2 = 200$ Ом, соединены последовательно и включены в цепь напряжением $U = 220$ В. Найдите напряжения U_1 и U_2 на каждой лампе.

■ **563.** Сопротивление лампы $R_1 = 200$ Ом, резистора — $R_2 = 100$ Ом. Их соединили параллельно и подключили в сеть напряжением $U = 220$ В. Найдите силу тока I в цепи.

■ **564.** Какой заряд q пройдет по проводнику сопротивлением $R = 10,0$ Ом за промежуток времени $\Delta t = 10,0$ мин, если он включен в цепь с напряжением $U = 220$ В?

■ **565.** Определите напряжение U на резисторе сопротивлением $R = 50$ Ом при силе тока $I = 0,60$ А.

■ **566.** Найдите электрическое сопротивление R участка цепи (рис. 87).

■ **567.** Определите общее сопротивление R участка цепи (рис. 88).

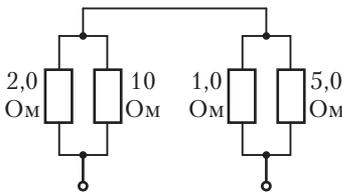


Рис. 87

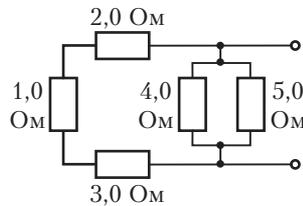


Рис. 88

■ **568.** Цепь состоит из трех последовательно соединенных резисторов, подключенных к источнику тока, напряжение на клеммах

которого $U = 40$ В. Сопротивление первого резистора $R_1 = 4,0$ Ом, второго — $R_2 = 6,0$ Ом, напряжение на концах третьего резистора $U_3 = 10$ В. Найдите силу тока I в цепи, сопротивление R_3 третьего резистора, напряжения U_1 и U_2 на первом и втором резисторах.

■ **569.** Как надо соединить резисторы с сопротивлениями $R_1 = 2,0$ Ом, $R_2 = 4,0$ Ом и $R_3 = 6,0$ Ом, чтобы получить общее сопротивление $R_0 = 4,4$ Ом?

■ **570.** Определите сопротивление R_0 участка цепи (рис. 89).

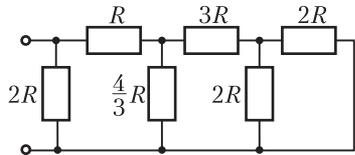


Рис. 89

■ **571.** Из проволоки длиной $l = 1,0$ м и сопротивлением $R = 10$ Ом сделали кольцо. Где к кольцу необходимо подключить подводящие ток провода, чтобы сопротивление участка цепи было $R_0 = 1,0$ Ом?

■ **572.** Три резистора при последовательном соединении имеют сопротивление $R = 35$ Ом, а при параллельном — $R_0 = 3,75$ Ом. Сопротивление одного из резисторов $R_1 = 10$ Ом. Найдите сопротивления резисторов R_2 и R_3 .

■ **573.** Проволока длиной $l = 1,0$ м имеет сопротивление $R = 100$ мОм. Из такой проволоки сделали каркас в форме окружности, пересеченной двумя взаимно перпендикулярными диаметрами (рис. 90). Найдите силу тока I на участке ad цепи, если напряжение $U_{ad} = 100$ мВ, а радиус окружности $a = 20,0$ мм.

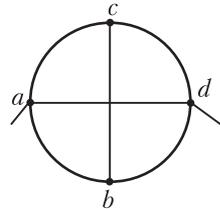


Рис. 90

■ **574.*** Определите сопротивление R_0 участка цепи (рис. 91, а, б).

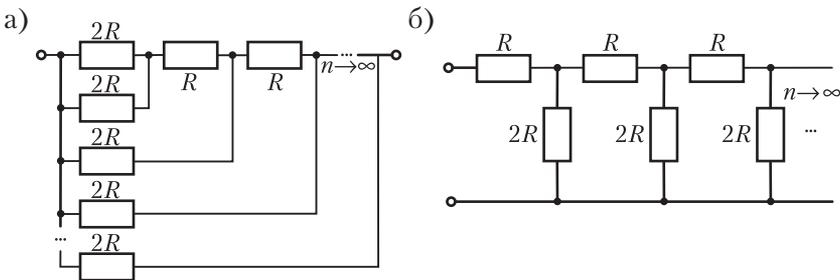


Рис. 91

■ **575.*** Определите сопротивление R_0 контуров (рис. 92, а – г), составленных из резисторов, которые имеют одинаковое сопротивление r . Контур включен в электрическую цепь в точках A и B .

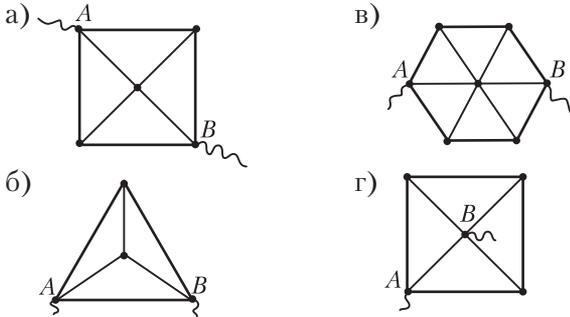


Рис. 92

■ **576.** Вычислите полное сопротивление R_0 участка цепи (рис. 93), если сопротивление каждого резистора R .

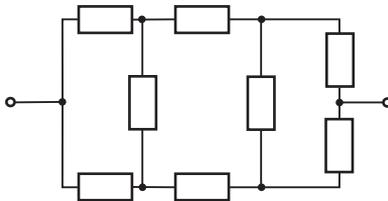


Рис. 93

■ **577.** Определите полное сопротивление R_0 участка цепи (рис. 94), если сопротивление каждого резистора R .

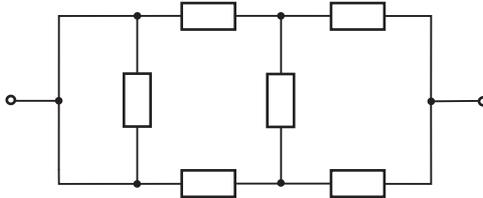


Рис. 94

Закон Джоуля – Ленца

Закон Джоуля – Ленца: количество теплоты, выделяемое электрическим током в проводнике, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления и времени прохождения тока по проводнику:

$$Q = A = IU\Delta t = I^2 R\Delta t = \left(\frac{U^2}{R}\right)\Delta t.$$

Мощность, идущая на нагревание проводника, равна работе, которая совершается током за единицу времени:

$$P = \frac{A}{\Delta t} = UI = \frac{I^2}{R} = U^2 R.$$

■ **578.** Закон Джоуля – Ленца выражается формулой:

- | | |
|-------------------------|----------------------------------|
| а) $Q = U^2 R\Delta t;$ | в) $Q = IUR\Delta t;$ |
| б) $Q = I^2 R\Delta t;$ | г) $Q = \frac{I^2}{R} \Delta t.$ |

■ **579.** Работа сил электрического поля на однородном участке цепи равна:

- а) всегда нулю;
- б) произведению квадрата силы тока и времени, в течение которого ток проходил по проводнику;
- в) произведению силы тока, напряжения на этом участке и времени, в течение которого ток проходил по проводнику;
- г) произведению квадрата напряжения и времени, в течение которого ток проходил по проводнику.

■ **580.** Мощность, выделяющаяся при нагревании проводника током (мощность тепловыделения), – это скалярная физическая величина, равная:

- а) произведению квадрата напряжения на участке цепи и сопротивления проводника;
- б) отношению напряжения на участке цепи к силе тока в нем;
- в) произведению силы тока на участке цепи и сопротивления проводника;
- г) произведению квадрата силы тока на участке цепи и сопротивления проводника.

■ **581.** Какой заряд q пройдет через поперечное сечение проводника при напряжении $U = 220$ В, если выделяемое в нем за это время количество теплоты $q = 100$ кДж?

■ **582.** При прохождении тока на резисторе сопротивлением $R = 10$ Ом за промежуток времени $\Delta t = 1,0$ мин выделяется количество теплоты $Q = 8,2$ кДж. Определите силу тока I в резисторе.

■ **583.** Определите количество теплоты Q , которое выделилось на резисторе сопротивлением $R = 20$ Ом за промежуток времени $\Delta t = 5,0$ мин, если через поперечное сечение проволоки каждую секунду проходит заряд $q = 10$ Кл.

■ **584.** Какое количество теплоты Q выделится в нагревательном элементе за промежуток времени $\Delta t = 5,00$ мин при напряжении $U = 120$ В, если сопротивление нагревательного элемента $R = 10,0$ Ом, а КПД элемента $\eta = 70,0$ %?

■ **585.** Электрочайник за промежуток времени $\Delta t = 10$ мин выделяет $Q = 100$ кДж теплоты. Определите длину l нихромовой проволоки, из которой изготовлена спираль печи, если площадь поперечного сечения проволоки $S = 0,50$ мм², напряжение в цепи $U = 36$ В.

■ **586.** Какую максимальную мощность P_{\max} потребляет транзисторный приемник с напряжением питания $U = 12$ В, если максимальная потребляемая им сила тока $I = 400$ мА?

■ **587.** К участку цепи (рис. 68) приложено напряжение $U = 30$ В. Какие ключи нужно замкнуть, чтобы мощность тока в цепи была $P = 60$ Вт? Сопротивление каждого резистора на схеме $R = 10$ Ом.

■ **588.** К участку цепи (рис. 68) приложено напряжение $U = 30$ В. Какие ключи нужно замкнуть, чтобы мощность тока в цепи была $P = 30$ Вт? Сопротивление каждого резистора на схеме $R = 10$ Ом.

■ **589.** К участку цепи (рис. 68) приложено напряжение $U = 30$ В. Какую максимальную мощность P_{\max} можно получить на участке цепи? Сопротивление каждого резистора на схеме $R = 10$ Ом.

■ **590.** К участку цепи (рис. 68) приложено напряжение $U = 30$ В. Какую минимальную мощность P_{\min} можно получить на участке цепи? Сопротивление каждого резистора на схеме $R = 10$ Ом.

■ **591.** Все резисторы имеют сопротивление $R = 10$ Ом (рис. 69). К участку цепи приложено напряжение $U = 120$ В. Какое количество теплоты Q выделится за промежуток времени $\Delta t = 1,0$ с при замыкании ключа K_2 ?

■ **592.** Все резисторы имеют сопротивление $R = 10$ Ом (рис. 69). К участку цепи приложено напряжение $U = 120$ В. Какие ключи необ-

ходимо замкнуть, чтобы ток проходил только по первому и второму резисторам? Определите мощность тока P в цепи.

■ **593.** Все резисторы имеют сопротивление $R = 10$ Ом (рис. 69). К участку цепи приложено напряжение $U = 120$ В. Какие ключи необходимо замкнуть, чтобы все три резистора были соединены последовательно? Определите мощность тока P в цепи.

■ **594.** Электрическую лампу сопротивлением $R = 220$ Ом, рассчитанную на напряжение $U_1 = 110$ В, необходимо питать от сети напряжением $U_2 = 220$ В. Определите длину l нихромовой проволоки площадью поперечного сечения $S = 1,0$ мм², которую необходимо включить в цепь для нормальной работы лампы.

■ **595.** Четыре одинаковых сопротивления R_1, R_2, R_3, R_4 подключены к источнику напряжения так, как показано на рисунке 95. При этом на резисторе R_1 выделяется мощность $P = 0,90$ Вт. Какая мощность будет выделяться на резисторе R_1 , если резистор R_2 отключить? Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

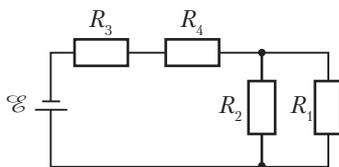


Рис. 95

■ **596.** Определите массу воды с начальной температурой $t_0 = 15$ °С, которую можно вскипятить за промежуток времени $\tau = 8,0$ мин на плитке с КПД $\eta = 80$ % и сопротивлением $R = 30$ Ом, которая работает от сети напряжением $U = 220$ В.

■ **597.** Определите массу льда при температуре $t_1 = -20$ °С, который можно растопить за промежуток времени $\tau = 12$ мин на электрической плитке с КПД $\eta = 75$ %, работающей от сети напряжением $U = 220$ В при силе тока $I = 2,0$ А.

■ **598.** Сопротивление нагревательного элемента электрочайника $R = 20$ Ом, напряжение сети $U = 220$ В. КПД чайника $\eta = 70$ %. Найдите время (мин), необходимое для нагревания в этом чайнике воды массой $m = 2,0$ кг от температуры $t = 20$ °С до кипения.

■ **599.** Участок цепи (рис. 96) подключен к источнику питания напряжением U . Сопротивления $R_1 = R_3 = 6,0$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, $R_4 = 2,0$ Ом. Найдите, на каком из резисторов электрической цепи выделяется максимальная тепловая мощность.

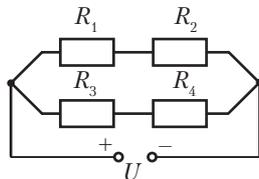


Рис. 96

■ **600.** Определите мощность P лампы, если известно, что ее сопротивление $R = 40,0$ Ом, а номинальное напряжение для работы $U = 120$ В.

■ **601.** Две лампы имеют одинаковую мощность. Одна лампа рассчитана на напряжение $U_1 = 120$ В, другая — на $U_2 = 220$ В. Определите, во сколько раз n отличаются сопротивления ламп.

■ **602.** Какую мощность P будет потреблять 40-ваттная лампочка, рассчитанная на напряжение $U_1 = 220$ В, если ее включить в сеть напряжением $U_2 = 110$ В?

■ **603.** Электрическая лампа мощностью $P = 60,0$ Вт включена в сеть напряжением $U = 220$ В. Определите сопротивление R нити лампы и силу тока I в ней при работе.

■ **604.** Фен для сушки волос потребляет мощность $P = 1,60$ кВт и рассчитан на напряжение $U_1 = 220$ В. Определите, на какую величину ΔP уменьшится потребляемая мощность, если напряжение упадет до $U_2 = 210$ В.

■ **605.** Все резисторы имеют сопротивление $R = 10$ Ом (рис. 69). К участку цепи приложено напряжение $U = 120$ В. Какие ключи необходимо замкнуть, чтобы все три резистора были соединены параллельно? Укажите показания измерительных приборов. Найдите мощность P тока на участке цепи.

■ **606.** Три резистора сопротивлениями $R_1 = 2,0$ Ом, $R_2 = 6,0$ Ом и $R_3 = 10$ Ом соединены параллельно. В первом резисторе за некоторый промежуток времени выделяется количество теплоты $Q_1 = 50$ кДж. Определите количества теплоты Q_2 и Q_3 , выделяемые во втором и третьем резисторах за такой же промежуток времени.

■ **607.** Какое количество теплоты Q выделяется на $n = 10$ параллельно соединенных лампах сопротивлением $R = 200$ Ом каждая за промежуток времени $\Delta t = 5,00$ мин, если сила тока в неразветвленной части цепи $I = 1,00$ А?

■ **608.** Найдите потерю мощности P_1 в подводящих латунных проводах диаметром $d = 2,5$ мм, по которым передается напряжение $U = 1,0$ кВ на расстояние $l = 50$ км при потребляемой мощности $P = 25$ кВт. Сравните полученное значение с полезной мощностью.

■ **609.** Согласно правилам противопожарной безопасности, электропроводка должна быть сделана из достаточно толстого провода для предотвращения его нагревания и возникновения пожара. Определите минимальный диаметр d_{\min} алюминиевого провода, рассчитанный на максимальную силу тока $I = 40$ А, при которой на погон-

ном метре провода «линейная» мощность тепловыделения не будет превышать величины $\frac{P}{l} = 1,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$.

■ **610.** Будет ли работать в нормальном режиме лампа мощностью $P = 150$ Вт, включенная в сеть напряжением $U = 220$ В, если за промежуток времени $\tau = 5,00$ мин через нее проходит заряд $q = 300$ Кл?

■ **611.** В обмотке электромагнита, подключенного к сети напряжением $U = 220$ В, сила тока $I = 6,0$ А. Определите расход воды $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ для

охлаждения обмотки электромагнита, если температура воды не должна повышаться более чем на $\Delta t = 10$ °С за час работы электромагнита.

■ **612.** В электрический чайник налита вода массой $m = 800$ г при температуре $t_0 = 20$ °С. Через какой промежуток времени τ вода в чайнике закипит, если его включить в сеть напряжением $U = 220$ В и силой тока $I = 4,0$ А? Считайте, что потери теплоты в окружающее пространство составляют $k = 20$ %.

■ **613.** От генератора мощностью $P = 1,0 \cdot 10^5$ кВт потребителю передается напряжение $U = 200$ кВ. Определите площадь S поперечного сечения используемых для этого проводов, если максимальная сила тока в проводе, имеющем площадь поперечного сечения $S_0 = 1,0$ мм², не должна превышать $I = 10$ А.

■ **614.** Как изменится мощность P лампочки, если ее вольфрамовую нить укоротить на $\eta = 20$ % начальной длины?

■ **615.** До какой температуры t нагревается вода объемом $V = 400$ мл за промежуток времени $\tau = 5,00$ мин, если ее нагревать кипятильником, сопротивление спирали которого $R = 200$ Ом? Сила тока в цепи $I = 0,70$ А, а начальная температура воды $t_0 = 20$ °С. Потерями теплоты в окружающее пространство пренебречь.

■ **616.** Лампочка номинальным напряжением $U = 12$ В потребляет мощность $P = 200$ Вт. Определите изменение температуры Δt подводных медных проводов площадью поперечного сечения $S = 2,00$ мм² за промежуток времени $\tau = 1,0$ мин после замыкания ключа в цепи, если половина выделившегося количества теплоты отдается окружающей среде.

■ **617.** Для нагревания воды за промежуток времени τ необходимо количество теплоты Q . Определите необходимую для изготовления

электронагревателя длину l провода, если его удельное сопротивление ρ , диаметр d , а сила проходящего тока I .

■ **618.** Определите мощность P электронагревателя, при использовании которого можно вскипятить $V = 2,0$ л воды за промежуток времени $\tau = 10$ мин. Начальная температура воды $t_0 = 20$ °С, КПД нагревателя $\eta = 60$ %.

■ **619.** На электроплите мощностью $P = 800$ Вт с КПД $\eta = 40$ % нагрели до кипения воду массой $m = 2,0$ кг с начальной температурой $t_0 = 20$ °С. Часть воды $k = 10$ % превратилась в пар. Определите, в течение какого промежутка времени τ длился этот процесс.

■ **620.** Какую мощность P можно передать потребителю по медным проводам площадью поперечного сечения $S = 15$ мм², имеющим общую длину $l = 2,0$ км, если напряжение на зажимах генератора $U = 230$ В, а допустимые потери напряжения в проводах не должны превышать $k = 5$ %?

■ **621.*** Электромобиль имеет $n = 10$ аккумуляторов напряжением $U = 12$ В каждый. Аккумулятор может работать в течение промежутка времени $\tau = 50$ ч при силе тока $I = 1,0$ А. Определите пробег l электромобиля между зарядками аккумуляторов, считая, что он равномерно движется по ровной дороге при модуле средней силы сопротивления $F_{\text{тр}} = 200$ Н. КПД двигателя электромобиля $\eta = 50$ %.

■ **622.** Аккумулятор автомобиля может работать в течение промежутка времени $\tau = 60$ ч при силе тока $I = 1,0$ А. Мощность каждой из двух передних фар $P_1 = 40$ Вт, а каждого из двух задних подфарников — $P_2 = 6,0$ Вт. Водитель забыл выключить фары автомобиля. Определите, через какой промежуток времени τ_1 вследствие этого полностью разрядится 12-вольтный аккумулятор.

■ **623.** Электростанция снабжает электроэнергией потребителей по проводам, сопротивление погонного метра которых $\frac{\Delta R}{\Delta l} = 4,0 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$.

Потребляемая при этом мощность $P = 440$ кВт. На какую величину $\frac{\Delta P}{\Delta l}$ уменьшатся потери мощности на одном погонном метре при повышении в линии электропередачи напряжения от $U_1 = 15$ кВ до $U_2 = 40$ кВ?

■ **624.** Электрическая плитка имеет две спирали. На плитку поставили чайник с водой. При включении одной из спиралей вода

закипает через промежуток времени $\tau_1 = 12$ мин, а при включении другой — через $\tau_2 = 24$ мин. Через какой промежуток времени τ закипит вода, если спирали включить: а) последовательно; б) параллельно?

■ **625.** В электропечи в качестве нагревателя используется нихромовая проволока площадью поперечного сечения $S = 0,50$ мм² и длиной $l = 1,50$ м. Найдите КПД η электропечи, если за промежуток времени $\tau = 10,0$ мин в ней испаряется вода массой $m = 1,00$ кг, взятая при температуре $t_0 = 20$ °С. Номинальное напряжение печи $U = 220$ В.

■ **626.** Подъемный кран поднимает без начальной скорости алюминиевую плиту квадратной формы со стороной $b = 2,0$ м и толщиной $d = 20$ см в течение промежутка времени $\tau = 2,0$ мин с ускорением, модуль которого $a = 1,0 \frac{\text{мм}}{\text{с}^2}$. Считая, что потерями энергии можно

пренебречь, найдите мощность P мотора крана.

■ **627.** Найдите массу m медных проводов, необходимых для передачи электроэнергии на расстояние $l = 2,0$ км так, чтобы потери мощности не превышали $k = 15$ %. Мощность генератора электростанции $P = 100$ кВт, напряжение $U = 220$ В.

■ **628.** Проволочное кольцо включено в электрическую цепь. В случае, когда контакты делят длину кольца в отношении $1 : 2$, в нем выделяется мощность $P_1 = 108$ Вт. Определите выделяемую в кольце мощность P_2 в случае, когда контакты расположены по диаметру кольца при таком же токе во внешней цепи.

■ **629.** Троллейбус массой m движется со скоростью, модуль которой v , в гору. Угол наклона горы к горизонту равен α . Модуль силы сопротивления, действующей на троллейбус, равен F_c . Найдите КПД η электродвигателя троллейбуса, если напряжение на электродвигателе U , а сила тока в нем I .

■ **630.*** Для обогрева комнаты объемом $V = 60$ м³ используется электрический нагреватель. Воздух в комнату поступает с улицы при температуре $t = 8,0$ °С и полностью обновляется дважды в час.

Потери теплоты через стены составляют $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = 2500 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$. Опреде-

лите мощность P нагревателя, необходимую для поддержания в комнате постоянной температуры $t_0 = 20$ °С. Удельная теплоемкость воздуха $c = 1,0 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, его плотность $\rho = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Источник тока. Электродвижущая сила (ЭДС) источника тока. Закон Ома для полной электрической цепи

Электродвижущая сила (ЭДС) численно равна работе сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда по замкнутой цепи.

Закон Ома для полной цепи: сила тока в полной цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе источника тока и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи:

$$I = \mathcal{E} \frac{1}{R+r} = \mathcal{E} \frac{1}{R_0}.$$

Ток короткого замыкания (I_k):

$$I_k = \mathcal{E} \frac{1}{r}.$$

■ **631.** Источник тока на схемах правильно изображен на рисунке 97 (а – г) в случае:

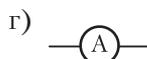
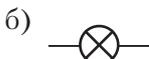
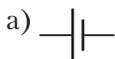


Рис. 97

■ **632.** Закон Ома для полной цепи формулируется следующим образом:

а) в любой замкнутой системе сумма электрических зарядов остается постоянной при любых взаимодействиях внутри нее;

б) сила взаимодействия двух точечных электрических зарядов прямо пропорциональна их величинам и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними;

в) сила тока в полной цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе источника тока и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи;

г) сумма масс исходных веществ равна сумме масс продуктов электролиза.

■ **633.** Ток короткого замыкания — это:

а) то же самое, что и разность потенциалов;

б) максимально возможный ток в цепи с данным источником тока, возникающий в том случае, когда сопротивление внешней части цепи стремится к нулю;

в) работа тока;

г) ЭДС источника тока.

■ **634.** ЭДС \mathcal{E} источника тока определяется по формуле:

а) $\mathcal{E} = A_{\text{ст}} q$;

в) $\mathcal{E} = \frac{q}{A_{\text{ст}}}$;

б) $\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}$;

г) $\mathcal{E} = IR$.

■ **635.** Источник тока с ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В и внутренним сопротивлением $r = 1,0$ Ом подключен к цепи сопротивлением $R = 30$ Ом. Определите силу тока I в цепи.

■ **636.** В цепи, содержащей источник тока и резистор сопротивлением $R = 20$ Ом, сила тока $I = 0,50$ А. Определите ЭДС \mathcal{E} источника тока, если его внутреннее сопротивление $r = 2,0$ Ом.

■ **637.** Определите внутреннее сопротивление r 12-вольтного автомобильного аккумулятора, если напряжение на его клеммах падает до $U = 8,0$ В при включении стартера, потребляющего ток силой $I = 60$ А.

■ **638.** Определите напряжение U в цепи, если сила тока в ней $I = 0,60$ А, ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 10$ В, а его внутреннее сопротивление $r = 4,0$ Ом.

■ **639.** Определите ЭДС \mathcal{E} источника тока с внутренним сопротивлением $r = 10$ Ом, если к нему подключены два параллельно соединенных резистора сопротивлениями $R_1 = 30$ Ом и $R_2 = 20$ Ом соответственно, а сила тока в цепи $I = 1,0$ А.

■ **640.** Напряжение на клеммах батареи $U_1 = 40$ В при силе тока во внешней цепи $I = 5,0$ А и $U_2 = 50$ В — при силе тока $I_2 = 1,2$ А. Определите ЭДС \mathcal{E} и внутреннее сопротивление r батареи.

■ **641.** Внутреннее сопротивление r источника тока в k раз меньше внешнего сопротивления R цепи. Определите, во сколько раз напряжение U на зажимах элемента меньше его ЭДС \mathcal{E} .

■ **642.** При подключении лампочки к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 5,0$ В и внутренним сопротивлением r сила тока в цепи $I = 0,50$ А,

а при подключении той же лампочки к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E}_2 = 10$ В и внутренним сопротивлением r напряжение на ее клеммах $U = 8,0$ В. Найдите сопротивление R лампочки и внутреннее сопротивление r источников тока.

■ **643.** Найдите сопротивление R внешнего участка цепи, если сила тока короткого замыкания $I_{\text{кз}} = 40$ А, ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 20$ В, а напряжение в цепи $U = 15$ В.

■ **644.** Определите ЭДС \mathcal{E} источника тока, если при увеличении внешнего сопротивления резистора, замыкающего источник, в k раз напряжение на клеммах источника увеличивается с U_1 до U_2 .

■ **645.*** Зарядка аккумулятора производится при силе тока $I_1 = 5,0$ А. Напряжение на его клеммах при этом $U_1 = 12,6$ В. При разрядке аккумулятора через внешнюю цепь при силе тока $I_2 = 6,0$ А напряжение на его клеммах оказывается $U_2 = 10,1$ В. Определите силу тока $I_{\text{кз}}$ короткого замыкания, который будет идти через аккумулятор.

■ **646.** Гальванический элемент с ЭДС $\mathcal{E} = 1,5$ В можно проверить, подключив его на короткое время к амперметру с малым внутренним сопротивлением. Исправный элемент должен обеспечивать силу тока не менее $I = 30$ А. Определите внутреннее сопротивление r такого элемента.

■ **647.** К батарее через резистор с переменным сопротивлением R подключен вольтметр. Если сопротивление R уменьшить в $n = 5$ раз, то показания вольтметра возрастут в $k = 2$ раза. Определите, как и во сколько раз p изменятся показания вольтметра, если сопротивление R уменьшить до нуля.

■ **648.** Вольтметр, подключенный к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 220$ В и внутренним сопротивлением $r = 50$ Ом, показывает $U = 215$ В. Определите сопротивление R вольтметра и напряжение U_r на внутреннем участке цепи.

■ **649.** Определите относительную ошибку ϵ , допускаемую при измерении ЭДС $\mathcal{E} = 1,54$ В гальванического элемента вольтметром с внутренним сопротивлением $r = 2,0$ кОм. Внутреннее сопротивление гальванического элемента $r_1 = 1,2$ Ом.

■ **650.** Вольтметр с внутренним сопротивлением $r = 1,0$ кОм предназначен для измерения напряжения $U = 6,0$ В. Определите величину дополнительного сопротивления R_d , которое необходимо подключить последовательно к вольтметру, чтобы измерять напряжения: а) $U_1 = 120$ В; б) $U_2 = 180$ В; в) $U_3 = 240$ В.

■ **651.** Батарея элементов замкнута двумя резисторами сопротивлениями $R_1 = R_2 = R = 6,0$ Ом, соединенными параллельно. Вольтметр, подключенный к зажимам батареи, показывает напряжение $U_1 = 12$ В. Если один резистор отключить, показания вольтметра возрастут до $U_2 = 15$ В. Определите ЭДС \mathcal{E} и внутреннее сопротивление r батареи. Током, проходящим через вольтметр, пренебречь.

■ **652.*** После подключения параллельно к гальванометру резистора сопротивлением $R_1 = 100$ Ом стрелка гальванометра отклонилась на всю шкалу при силе тока $I_1 = 2,00$ А во внешней цепи. Резистор какого сопротивления R_2 необходимо подключить параллельно к гальванометру, чтобы стрелка гальванометра отклонялась на всю шкалу при силе тока во внешней цепи $I_2 = 5,00$ А? Известно, что при подключении последовательно к гальванометру резистора сопротивлением $R_d = 200$ Ом шкала прибора становится грубее в $n = 4$ раза.

■ **653.** Батарея с ЭДС $\mathcal{E} = 9,0$ В и внутренним сопротивлением $r = 1,0$ Ом подключена к двум последовательно соединенным резисторам сопротивлением $R_1 = R_2 = 2,0$ кОм. В цепь включены также амперметр с внутренним сопротивлением $r_1 = 0,50$ Ом, измеряющий силу тока в цепи, и вольтметр с внутренним сопротивлением $r_2 = 10$ кОм, измеряющий напряжение на одном из резисторов. Определите показания приборов.

■ **654.** Амперметр с внутренним сопротивлением $r = 20,0$ Ом показывает $I = 1,20$ А при включении в цепь, содержащую идеальную батарею и два последовательно соединенных резистора сопротивлениями $R_1 = 100$ Ом и $R_2 = 300$ Ом. Определите силу тока I_0 в цепи в отсутствие амперметра.

■ **655.** В цепь, состоящую из аккумулятора с внутренним сопротивлением $r = 0,20$ Ом и резистора сопротивлением $R = 20$ Ом, включают вольтметр — сначала последовательно, затем параллельно. Определите внутреннее сопротивление r_0 вольтметра, если его показания в обоих случаях оказались одинаковыми.

■ **656.** Определите емкость C конденсатора (рис. 98), если $R_1 = 1,0$ Ом, $R_2 = 2,0$ Ом, $R_3 = 3,0$ Ом, ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 20$ В, его внутреннее сопротивление $r = 1,0$ Ом, а через ключ K при замыкании проходит заряд $q = 0,40$ мКл.

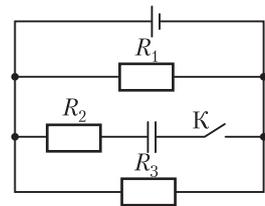


Рис. 98

■ **657.** К источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 150$ В и внутренним сопротивлением $r = 1,00$ Ом параллельно подключены $n_1 = 5$ ламп сопротивлением по $R_1 = 200$ Ом каждая и $n_2 = 10$ ламп сопротивлением по $R_2 = 100$ Ом каждая. Напряжение на лампах $U = 120$ В. Найдите сопротивление R соединительных проводов.

■ **658.** Найдите заряд q конденсатора (рис. 99), если его емкость $C = 12$ мкФ, ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 10$ В, а при коротком замыкании сила тока, проходящего через источник, возрастает в $n = 10$ раз.

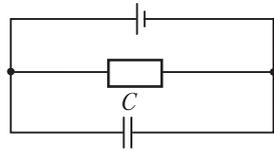


Рис. 99

■ **659.*** Для нагревания проволоки длиной $l_0 = 1,0$ м до некоторой температуры необходимо $N = 10$ источников тока, соединенных последовательно. Найдите количество N_1 источников тока, соединенных последовательно, необходимое, чтобы нагреть до той же температуры проволоку длиной $l = 4,0$ м.

■ **660.*** Аккумуляторы в количестве $N = 10$ с ЭДС $\mathcal{E} = 2,0$ В и внутренним сопротивлением $r = 3,0$ Ом соединены последовательно. Найдите напряжения U_i на полюсах каждого аккумулятора, если сопротивление внешнего участка цепи $R = 22$ Ом.

■ **661.** Батарея с ЭДС $\mathcal{E} = 9,0$ В и внутренним сопротивлением $r = 2,0$ Ом подключена к двум последовательно соединенным резисторам. Вольтметр с внутренним сопротивлением $r = 10,0$ кОм при подключении параллельно каждому из резисторов показывает напряжения $U_1 = 2,0$ В и $U_2 = 3,0$ В соответственно. Определите сопротивления R_1 и R_2 резисторов.

■ **662.*** Какое наименьшее количество N аккумуляторов необходимо взять, чтобы обеспечить создание тока силой $I = 10$ А в цепи сопротивлением $R = 5,0$ Ом? Как их следует соединить в батарею, если ЭДС каждого аккумулятора $\mathcal{E} = 2,0$ В и внутреннее сопротивление $r = 0,10$ Ом?

**Мощность электрического тока.
Коэффициент полезного действия (КПД)
источника электрического тока**

Мощность, выделяемая на внешнем участке цепи, в которую включены тепловые потребители энергии, называется **полезной мощностью**:

$$P_{\text{полезн}} = I^2 R = \mathcal{E}^2 \frac{R}{R+r}.$$

Полная мощность источника тока, которая учитывает выделение энергии как на внешнем, так и на внутреннем участках цепи:

$$P = \mathcal{E}^2 \frac{R}{(R+r)^2} + \mathcal{E}^2 \frac{r}{(R+r)^2} = \mathcal{E}^2 \frac{1}{(R+r)}.$$

Коэффициент полезного действия источника тока, определяемый как отношение полезной мощности к полной:

$$\eta = \frac{P_{\text{полезн}}}{P_{\text{тер}}} = \frac{R}{R+r} \cdot 100\%.$$

■ **663.** Мощность, выделяемая на внутреннем сопротивлении источника тока, называется:

- а) работой;
- б) полезной мощностью;
- в) коэффициентом полезного действия;
- г) теряемой мощностью.

■ **664.** КПД η источника тока с внутренним сопротивлением r при внешнем сопротивлении цепи R может быть определен по формуле:

а) $\eta = \frac{P}{P_{\text{полезн}}} \cdot 100\%;$

в) $\eta = \frac{R}{R+r} \cdot 100\%;$

б) $\eta = \frac{r}{R+r} \cdot 100\%;$

г) $\eta = \frac{P_{\text{тер}}}{P} \cdot 100\%.$

■ **665.** Чему равен КПД η источника тока, внутреннее сопротивление которого $r = 4,0$ Ом, если сопротивление внешнего участка цепи $R = 20$ Ом?

■ **666.** Максимальная полезная мощность источника тока $P = 2,0$ Вт. Максимальная сила тока, которая проходит через источник тока при коротком замыкании, $I_{\text{кз}} = 5,0$ А. Определите ЭДС \mathcal{E} источника.

■ **667.** Найдите мощность P , выделяемую на электромагните, если его обмотка сделана из медной проволоки, длина которой $l = 2,00$ км, площадь поперечного сечения $S = 0,70$ мм², а ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 100$ В.

■ **668.** К источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 100$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,500$ Ом параллельно подключены пять лампочек, каждая из которых потребляет мощность $P = 100$ Вт при напряжении 220 В. Какое количество теплоты Q выделяется в цепи за промежуток времени $\tau = 1,00$ с?

■ **669.** Параллельно резистору сопротивлением $R = 20$ Ом, подключенному к аккумулятору, включили резистор с неизвестным сопротивлением R_0 . Мощность P , выделяемая при этом на внешнем участке цепи, не изменилась. Определите величину R_0 , если внутреннее сопротивление аккумулятора $r = 2,0$ Ом.

■ **670.*** Полностью разряженный аккумулятор с внутренним сопротивлением $r = 1,0$ Ом заряжается от сети напряжением $U = 12$ В в течение промежутка времени $\tau = 40$ с. Определите ЭДС \mathcal{E} аккумулятора, если при зарядке через него пройдет заряд $q = 80$ А · ч.

■ **671.** В нагревателе, подключенном к аккумулятору с ЭДС $\mathcal{E} = 12,00$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,5000$ Ом, выделяется тепловая мощность $P = 50,00$ Вт. КПД аккумулятора $\eta = 50,00$ %. Когда спираль нагревателя перегорела, к аккумулятору подключили оставшуюся целой $k = 0,9$ часть спирали. Во сколько раз n изменится при этом мощность P_1 , выделяемая в нагревателе, и КПД η аккумулятора?

■ **672.** Аккумулятор с ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В и внутренним сопротивлением $r = 2,0$ Ом замкнут на резистор сопротивлением R , на котором выделяется тепловая мощность $P = 10$ Вт. Определите разность потенциалов $\Delta\phi$ на клеммах аккумулятора.

■ **673.*** Аккумулятор с ЭДС $\mathcal{E} = 22$ В и внутренним сопротивлением $r = 5,0$ Ом подключили для подзарядки в сеть напряжением

$U = 25$ В и сопротивлением $R = 20$ Ом. Какая часть k мощности сети будет расходоваться на нагревание аккумулятора?

■ **674.** При поочередном замыкании источника тока на резисторы сопротивлением $R_1 = 30$ Ом и $R_2 = 2,0$ Ом во внешней цепи выделяется одинаковая мощность. Определите внутреннее сопротивление r источника тока.

■ **675.*** Сила тока короткого замыкания аккумуляторной батареи с ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В равна $I_{\text{кз}} = 12$ А. При зарядке от генератора с постоянным напряжением $U = 15$ В через батарею проходит ток силой $I = 1,5$ А. Определите сопротивление R резистора, который подключается последовательно с батареей при ее зарядке. Найдите количество запасенной батареей энергии W за время зарядки $\tau = 40$ мин, а также количество теплоты Q , выделенной в цепи за то же время. Изменением ЭДС аккумулятора в процессе зарядки пренебречь.

■ **676.** Мощность, рассеиваемая на резисторе сопротивлением R_1 , присоединенном к источнику тока, равна P . Определите ЭДС \mathcal{E} батареи, если эта мощность не изменилась при замене резистора сопротивлением R_1 на резистор сопротивлением R_2 .

■ **677.*** Электрический чайник подключен к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 120$ В и внутренним сопротивлением $r = 5,0$ Ом. Определите массу водяного пара, выходящего из носика чайника в единицу времени $\frac{\Delta m}{\Delta t}$, когда вода кипит, если мощность P , выделяемая в чайнике, максимальна.

■ **678.*** Конденсатор емкостью $C = 50$ мкФ подключен к цепи постоянного тока (рис. 98) при замкнутом ключе К. Определите количество теплоты Q_2 , которое выделяется на резисторе сопротивлением $R_2 = 20$ Ом после отключения источника тока, если его ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В, внутреннее сопротивление источника тока $r = 4,0$ Ом, сопротивление резистора $R_1 = 10$ Ом.

Электрический ток в различных средах

Каждое вещество характеризуется **температурным коэффициентом сопротивления** α , который равен отношению изменению удельного сопротивления вещества при его нагревании на $\Delta t = 1^\circ\text{C}$:

$$\alpha = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0 \Delta t},$$

где ρ_0 — удельное сопротивление при $t_0 = 0^\circ\text{C}$, ρ — удельное сопротивление при температуре t (в градусах Цельсия), $\Delta t = t - t_0$.

Зависимость удельного сопротивления металлического проводника от температуры выражается линейной функцией

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T),$$

и, соответственно, такую же зависимость имеет сопротивление

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta T).$$

Электрическим током в жидкости называется направленное движение положительных ионов к катоду, а отрицательных ионов — к аноду под действием приложенного электрического поля.

Первый закон Фарадея: масса вещества m , выделяющегося на каком-либо из электродов, прямо пропорциональна величине заряда q , прошедшего через электролит:

$$m = kq = kI\Delta t.$$

Второй закон Фарадея: электрохимический эквивалент пропорционален химическому эквиваленту данного вещества:

$$k = C \frac{A}{Z},$$

где C — коэффициент пропорциональности, A — масса моля иона, Z — валентность иона.

Оба закона Фарадея можно выразить одной формулой:

$$m = \frac{A q}{Z F},$$

где $F = \frac{1}{C}$ — постоянная Фарадея, численно равная заряду, который должен пройти через электролит, чтобы на электроде выделился 1 моль одновалентного вещества.

Величина F равна произведению заряда электрона на число Авогадро:

$$F = eN_A = 96\,500 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$$

Ион с недостатком электронов называется **катионом**, а ион с избытком электронов — **анионом**.

Явление выделения током химических составных частей проводника получило название **электролиза**.

Ионизацией называется процесс присоединения (захвата) или отделения (отрыва) электронов от нейтральных атомов и молекул. Прохождение тока через газ называется **газовым разрядом**. Разряды, вызванные действием внешнего ионизатора, называются **несамостоятельными газовыми разрядами**.

Напряжение, при котором самостоятельный разряд переходит в самостоятельный, называют **напряжением пробоя**, а сам процесс — **электрическим пробоем газа**.

Газовый разряд, который продолжается после прекращения действия внешнего ионизатора, называется **самостоятельным разрядом**.

■ **679.** Основной причиной возникновения дугового разряда является:

- а) искровой разряд;
- б) термоэлектронная эмиссия;
- в) высокое напряжение на электродах;
- г) особенность строения электродов.

■ **680.** Потери электроэнергии в линиях электропередачи высокого напряжения в основном определяются:

- а) коронным разрядом;
- б) дуговым разрядом;
- в) тлеющим разрядом;
- г) искровым разрядом.

■ **681.** Высокое напряжение требуется для ... газового разряда:

- а) тлеющего;
- б) искрового;
- в) дугового;
- г) коронного.

■ **682.** Причиной свечения ламп дневного света является:

- а) дуговой разряд;
- б) тлеющий разряд;
- в) коронный разряд;
- г) искровой разряд.

■ **683.** Электрический ток в растворах или расплавах электролитов создается:

- а) электронами;
- б) электронами, положительными и отрицательными ионами;
- в) положительными и отрицательными ионами;
- г) электронами и отрицательными ионами.

■ **684.*** Определите изменение сопротивления ΔR медного провода линии электропередачи при изменении температуры от $t_0 = 0^\circ\text{C}$ до $t_1 = 50^\circ\text{C}$, если площадь поперечного сечения провода $S = 100\text{ мм}^2$, а длина $l = 200\text{ км}$.

■ **685.*** У лампы мощностью $P = 60\text{ Вт}$ сопротивление нити в холодном состоянии $R_1 = 8,0\text{ Ом}$, в рабочем (включенном) — $R_2 = 120\text{ Ом}$. Оцените температуру t раскаленной нити, считая температурный коэффициент сопротивления равным $\alpha = 0,0060\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

■ **686.*** При комнатной температуре $t_1 = 20,000^\circ\text{C}$ сопротивление алюминиевого проводника $R_1 = 10,000\text{ Ом}$. При какой температуре t_2 его сопротивление будет $R_2 = 10,840\text{ Ом}$?

■ **687.*** Определите температуру t вольфрамовой нити лампочки, если при включении в сеть напряжением $U = 220\text{ В}$ по нити проходит ток силой $I = 0,60\text{ А}$. При температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$ сопротивление нити $R_1 = 30\text{ Ом}$.

■ **688.*** Электрическая лампочка накаливания потребляет мощность $P = 100\text{ Вт}$, диаметр вольфрамовой спирали $d = 0,020\text{ мм}$, длина $l = 6,00\text{ см}$, температура спирали при свечении лампы $t = 2,0 \cdot 10^3\text{ }^\circ\text{C}$. Определите модуль напряженности E электрического поля в спирали лампочки, считая поле однородным.

■ **689.*** Два резистора с температурными коэффициентами сопротивления α_1 и α_2 имеют при $t_0 = 0^\circ\text{C}$ сопротивления R_{01} и R_{02} . Определите температурный коэффициент сопротивления цепи, состоящей из этих резисторов, если они соединены: а) последовательно; б) параллельно.

■ **690.*** Вольфрамовая нить накала электрической лампы имеет сопротивление $R_1 = 15\text{ Ом}$ при $t_1 = 20^\circ\text{C}$ и $R_2 = 140\text{ Ом}$ в рабочем (горячем) состоянии. Рассчитайте температуру t нити накала включенной лампы. Тепловым расширением нити не пренебрегать. Коэффициент линейного расширения вольфрама $\alpha = 5,8 \cdot 10^{-6}\text{ } \frac{1}{^\circ\text{C}}$.

■ **699.*** Определите промежуток времени τ , необходимый при электролизе для никелирования изделия при силе тока $I = 2,0$ А, если на изделии выделился слой никеля массой $m = 3,6$ г.

■ **700.*** При электролизе медного раствора затрачено $W = 5,0$ кВт · ч электроэнергии. Определите массу m меди, выделившейся на электродах, если напряжение на клеммах установки $U = 20$ В, а ее КПД $\eta = 80$ %.

■ **701.*** При электролитическом способе получения никеля расходуется $W = 10$ кВт · ч электроэнергии на килограмм. Определите напряжение U , при котором проводится электролиз.

■ **702.*** Медь при электролизе выделяется из раствора CuSO_4 при напряжении $U = 10$ В. Определите расход энергии W на выделение меди массой $m = 0,50$ кг.

■ **703.*** Последовательно с электродами электролитической ванны включен амперметр, показывающий силу тока $I_0 = 1,8$ А. Какую поправку ΔI следует внести в показания амперметра, если за промежуток времени $\tau = 20$ мин на катоде отложилась медь массой $m = 0,432$ г?

■ **704.*** Алюминий получают в электролитической ванне из расплавленного сырья (криолита) при силе тока $I = 2,0 \cdot 10^4$ А и разности потенциалов на электродах $\Delta\phi = 10$ В. Через какой промежуток времени τ будет выделен алюминий массой $m = 1,0$ т? Определите израсходованную электрическую энергию W .

■ **705.*** Через какой промежуток времени τ медный анод при электролизе станет тоньше на $\Delta d = 0,040$ мм, если сила тока $I = 1,5$ А, а площадь поверхности проводника $S = 1,6$ дм²?

■ **706.*** Какое время τ потребуется при электролизе для покрытия изделия, площадь поверхности которого $S = 2,0$ дм², слоем золота толщиной $d = 500$ мкм, если в растворе хлористого золота AuCl_3 сила тока $I = 2,5$ А?

■ **707.*** Определите площадь S поверхности, покрываемой серебром при электролизе раствора нитрата серебра AgNO_3 , если при силе тока $I = 130$ А толщина d откладывающегося слоя серебра растет со скоростью, модуль которой $v = 1,0 \frac{\text{мм}}{\text{ч}}$.

■ **708.*** Определите массу m серебра, выделившегося на катоде при электролизе азотнокислого серебра AgNO_3 за промежуток времени $\tau = 3,0$ с, если к электродам электролитической ванны приложено напряжение $U = 5,0$ В, а сопротивление раствора $R = 4,0$ Ом.

■ **709.*** Определите толщину d тонкого слоя никеля, которым при электролизе покрывается шарик радиусом $R = 3,0$ см в течение промежутка времени $\tau = 180$ мин при силе тока $I = 0,30$ А.

■ **710.*** Искровой разряд в воздухе при нормальных условиях происходит в электрическом поле, модуль напряженности которого $E = 30 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$. Определите минимальное расстояние d , которое про-

летает электрон между столкновениями, если для того, чтобы ионизировать молекулы воздуха, он должен обладать энергией $W = 2,4 \cdot 10^{-18}$ Дж.

■ **711.*** При электролизе подкисленной воды через ванну прошел заряд $q = 6,0 \cdot 10^3$ Кл. Определите температуру t выделившегося кислорода, если при давлении $p = 127$ кПа он занимает объем $V = 3,0 \cdot 10^{-4}$ м³.

■ **712.*** При электролизе подкисленной воды проходит ток силой I . Определите объем V водорода, который выделится за промежуток времени τ при нормальных условиях.

■ **713.*** Аэростат объемом $V = 300$ м³ заполняется водородом при температуре $t = 17$ °С и давлении $p = 1,5$ атм. Определите заряд q , который необходимо пропустить через слабый раствор серной кислоты при электролизе, чтобы получить требуемое количество водорода.

■ **714.*** Аэростат объемом $V = 450$ м³ заполняется водородом при температуре $t = 17$ °С и давлении $p = 1,0$ атм. Определите силу тока I , который необходимо пропустить при электролизе через слабый раствор серной кислоты, чтобы получить требуемое количество водорода за промежуток времени $\tau = 10$ сут.

■ **715.*** В течение какого времени τ необходимо производить электролиз подкисленной воды, чтобы выделяемым в процессе электролиза водородом наполнить при нормальных условиях воздушный шар объемом $V = 0,17$ м³ с подъемной силой, модуль которой $F = 2,0$ Н? Сила тока при электролизе $I = 200$ А. Массой оболочки пренебречь. Плотность воздуха $\rho = 1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

■ **716.*** При какой силе тока I из подкисленной воды при электролизе выделится гремучий газ (смесь), занимающий объем $V = 3,46$ дм⁻³ при температуре $T = 273$ К и давлении $p = 1,05 \cdot 10^5$ Па, если время работы установки $\tau = 40$ мин?

■ **717.*** В ванне для серебрения при электролизе за промежуток времени $\tau = 1,0$ ч выделяется серебро массой $m = 2,0$ г. Определите силу тока I , проходящего через электролитическую ванну, и толщину d слоя серебра на катоде, если общая покрываемая серебром площадь поверхности $S = 11,9$ дм^2 .

■ **718.*** Определите массу m меди, которая выделится на катоде за промежуток времени $\tau = 200$ с при электролизе серноокислой меди (CuSO_4), если в течение первого промежутка времени $\tau_1 = 100$ с сила тока равномерно возрастает от $I_0 = 0$ А до $I_1 = 6,0$ А, в течение второго промежутка времени $\tau_2 = 100$ с — равномерно уменьшается до $I_2 = 2,0$ А.

■ **719.*** При электролизе раствора H_2SO_4 , сопротивление которого $R = 0,60$ Ом, за промежуток времени $\tau = 40$ мин выделившийся водород занимает при нормальных условиях объем $V = 4,0$ л. Определите мощность P , выделяемую при нагревании электролита.

■ **720.*** Определите массу m меди, выделившейся за промежуток времени $\tau = 2,00 \cdot 10^3$ с на катоде при электролизе медной соли, если в течение первой половины этого промежутка сила тока равномерно возрастает от $I_0 = 0,00$ А до $I_1 = 6,00$ А, а затем — равномерно уменьшается до $I_2 = 3,00$ А.

■ **721.*** При электролизе подкисленной воды в течение промежутка времени $\tau = 25$ мин проходил ток силой $I = 20$ А. Определите температуру T выделившегося кислорода, если под давлением $p = 2,0 \cdot 10^5$ Па он занимает объем $V = 2,0$ л.

■ **722.** Почему с повышением температуры электролитов и полупроводников их сопротивление уменьшается?

■ **723.** Получится ли p — n -переход, если вплавить олово в германий или кремний?

■ **724.** Почему, несмотря на равенство концентраций электронов и дырок в полупроводнике с собственной проводимостью, электронный ток все же больше дырочного?

■ **725.** Какого типа будет проводимость германия, если к нему добавить в качестве примеси: а) фосфор; б) цинк?

■ **726.** Каким будет основной ток в четырехвалентном германии, если в качестве примеси в него ввести пятивалентный мышьяк?

■ **727.*** Определите температурный коэффициент сопротивления α металла, если при температуре $t_0 = 0,0$ °С сопротивление медного про-

водника равно $R_0 = 20$ Ом, а при температуре $t = 380$ °С — $R = 35$ Ом. Тепловым расширением проводника пренебречь.

■ **728.*** Вольфрамовая нить накаливания при температуре $t = 20$ °С имеет длину $l = 50$ мм и площадь поперечного сечения $S = 0,20$ мм². Определите изменение сопротивления ΔR вольфрамовой нити накала лампы при ее нагревании на $\Delta T = 3,0 \cdot 10^3$ К. Определите изменение силы тока ΔI , проходящего через нить, если подаваемое на нее напряжение $U = 0,22$ В. Тепловым расширением нити пренебречь.

■ **729.*** Электрическая лампочка с вольфрамовой нитью в рабочем состоянии при температуре горения $t = 2,5 \cdot 10^3$ °С потребляет мощность $P = 100$ Вт. Определите мощность P_0 , потребляемую лампочкой сразу после включения ее в сеть. Тепловым расширением проводника пренебречь.

■ **730.*** Определите температуру t медного проводника, при которой его сопротивление станет в $n = 1,5$ раза больше, чем при температуре $t_0 = 0,0$ °С. Тепловым расширением проводника пренебречь.

■ **731.*** Определите отношение сопротивлений $\frac{R}{R_0}$ стальной проволоки при температурах $t = 2,5 \cdot 10^3$ °С и $t_0 = 0,0$ °С. Тепловым расширением проводника пренебречь.

■ **732.*** Определите температурный коэффициент сопротивления α материала, из которого изготовлена нить накаливания электрической лампочки, если сопротивление нити при температуре $t_0 = 0,0$ °С в $n = 5$ раз меньше, чем при температуре $t = 1,0 \cdot 10^3$ °С.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Единицы измерения электромагнитных величин

Наименование величины	Обозначение	Название единицы	Выражение через основные единицы СИ
Индукция магнитного поля	B	Тесла (Тл)	$\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Магнитный поток	Φ	Вебер (Вб)	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Индуктивность	L	Генри (Гн)	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
Магнитная постоянная	μ_0	Генри на метр $\left(\frac{\text{Гн}}{\text{м}}\right)$	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$

32

Сила Ампера (закон Ампера)

Для количественной характеристики магнитного поля в каждой точке пространства вводится векторная физическая величина — вектор индукции \vec{B} магнитного поля.

Закон Ампера (рис.100): модуль силы, с которой магнитное поле действует на находящийся в нем прямолинейный проводник с током, равен произведению индукции B этого поля, силы тока I , длины участка проводника l и синуса угла между направлениями тока и вектора индукции магнитного поля:

$$F_A = IBl \sin \alpha.$$

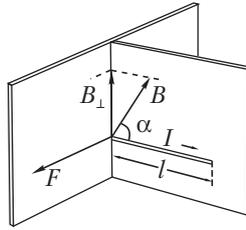


Рис. 100. Определение направления силы Ампера

Для определения направления силы Ампера используют **правило левой руки** (рис. 101): если ладонь левой руки расположить так, чтобы перпендикулярная к проводнику составляющая вектора индукции магнитного поля входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывали бы направление тока, то отогнутый на 90° большой палец укажет направление силы Ампера.

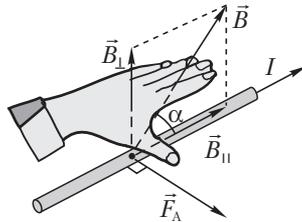


Рис. 101. Определение направления силы Ампера по правилу левой руки

■ **733.** Взаимное притяжение двух параллельных проводников, по которым проходят постоянные электрические токи в одном направлении, можно объяснить:

- а) гравитационным взаимодействием движущихся в одном направлении частиц;
- б) электростатическим взаимодействием движущихся в одном направлении заряженных частиц;
- в) электростатическим взаимодействием неподвижных ионов кристаллических решеток проводников, по которым проходят токи;
- г) действием магнитного поля, создаваемого одним электрическим током на другой.

■ **734.** Единицей индукции магнитного поля в СИ является:

- а) вебер;
- б) вольт;
- в) генри;
- г) тесла.

■ **735.** Модуль силы Ампера вычисляется по формуле:

$$\text{а) } F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}; \quad \text{в) } F = vqB \sin \alpha;$$

$$\text{б) } F = qE; \quad \text{г) } F = BIl \sin \alpha.$$

■ **736.** В однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,21$ Тл, находится прямолинейный провод длиной $l = 1,6$ м, расположенный перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Определите модуль силы Ампера F , действующей на провод, если по нему проходит ток силой $I = 12$ А.

■ **737.** Прямолинейный провод длиной $l = 0,80$ м расположен перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Определите модуль индукции B магнитного поля, если при силе тока $I = 15$ А на провод действует сила Ампера, модуль которой $F = 2,4$ Н.

■ **738.** По прямолинейному проводу длиной $l = 1,0$ м проходит ток силой $I = 2,0$ А. Провод находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 2,0$ Тл, и ориентирован под углом $\alpha = 30^\circ$ к вектору индукции \vec{B} . Определите модуль силы F , действующей на провод со стороны магнитного поля.

■ **739.** В однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,50$ Тл, находится прямолинейный провод. По проводу проходит ток силой $I = 0,90$ А, на него действует сила Ампера, модуль которой $F = 0,18$ Н. Определите длину l активной части провода, если он ориентирован под углом $\alpha = 60^\circ$ к вектору индукции \vec{B} .

■ **740.** В однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,40$ Тл, а линии индукции вертикальны, на двух вертикальных нитях покоится прямолинейный горизонтальный проводник длиной $l = 1,0$ м и массой $m = 0,50$ кг. Определите модуль ускорения a проводника сразу после включения тока силой $I = 10$ А.

■ **741.** В однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,20$ Тл, а линии индукции вертикальны, на двух нитях горизонтально подвешен прямолинейный проводник длиной $l = 0,50$ м и массой $m = 0,40$ кг. Определите силу тока I в проводнике, если под действием силы Ампера в установившемся положении нити отклонились на угол $\alpha = 30^\circ$ от вертикали.

■ **742.** По горизонтальному проводу длиной $l = 40$ см и массой $m = 4,0$ г проходит ток силой $I = 2,5$ А. Определите модуль индукции B магнитного поля, при котором провод будет висеть не падая.

■ **743.** Прямолинейный провод длиной $l = 1,0$ м и массой $m = 4,0$ кг помещен в однородное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 30$ Тл, перпендикулярно к линиям индукции. Определите силу тока I , который должен проходить по проводу, чтобы он висел не падая.

■ **744.** Прямолинейный проводник длиной $l = 25$ см и сопротивлением $R = 2,6$ Ом расположен в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 20$ мТл. Определите приложенное к проводнику напряжение U , если со стороны магнитного поля на него действует сила, модуль которой $F = 40$ мН. Линии индукции магнитного поля составляют с проводником угол $\alpha = 60^\circ$.

■ **745.** Прямолинейный провод длиной $l = 40$ см, по которому проходит ток силой $I = 5,0$ А, перемещается в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 10$ мТл. Вектор индукции \vec{B} направлен перпендикулярно проводу. Определите работу A , совершаемую силой Ампера при перемещении провода вдоль направления действия силы на расстояние $d = 75$ см.

■ **746.** Прямолинейный проводник длиной $l = 6,0$ см, находящийся в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 10$ мТл, составляет с линиями индукции угол $\beta = 30^\circ$. Проводник перемещают на расстояние $d = 20$ см под углом $\alpha = 60^\circ$ к действующей на него силе Ампера. Определите работу A , совершенную силой Ампера. Сила тока в проводнике $I = 10$ А.

■ **747.** В однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 20$ мТл, перпендикулярно горизонтальным линиям индукции подвешен на двух легких нитях горизонтальный проводник длиной $l = 10$ см. Определите изменение модуля силы натяжения $|\Delta F_n|$ каждой из нитей, если по проводнику пропустить ток силой $I = 5,0$ А.

■ **748.** Прямолинейный кусок алюминиевого провода радиусом $r = 0,10$ мм «висит» горизонтально в воздухе, удерживаемый магнитным полем Земли, вектор индукции \vec{B} которого горизонтален. Определите силу тока I , проходящего по проводу, если модуль индукции поля $B = 5,0 \cdot 10^{-5}$ Тл.

■ **749.** Каждый метр одного из двух параллельных проводов, находящихся в вакууме на расстоянии $d = 24$ см друг от друга, при прохождении по ним токов притягивается к другому проводу с силой,

модуль которой $\frac{F}{l} = 1,7 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$. Определите силу тока I_2 во втором проводе, если по первому проходит ток силой $I_1 = 29 \text{ А}$.

■ **750.** На участок проводника длиной $l = 2,8 \text{ м}$, находящегося в вакууме на расстоянии $d = 12 \text{ см}$ от длинного параллельного провода с током, действует сила, модуль которой $F = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$. Известно, что по проводнику и по проводу проходят одинаковые токи. Определите силу тока I , проходящего по проводнику (проводу).

■ **751.** Два параллельных провода, по которым проходят токи силой $I_1 = I_2 = I = 50 \text{ А}$, находятся в вакууме. Определите расстояние d между проводами, если на отрезок одного провода длиной $l = 1,5 \text{ м}$ со стороны другого действует сила, модуль которой $F = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$.

■ **752.** По проволочному кольцу радиусом $R = 2,0 \text{ см}$ проходит ток силой $I = 0,50 \text{ А}$. Кольцо помещено в однородное магнитное поле, линии индукции которого горизонтальны и перпендикулярны плоскости кольца (рис. 102). Определите модуль силы натяжения $F_{\text{н}}$ кольца, если модуль индукции поля $B = 5,0 \text{ Тл}$.

■ **753.** Магнитное поле на расстоянии $d = 2,5 \text{ м}$ от провода с током имеет индукцию, модуль которой $B = 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$. Определите количество электронов N , проходящих через поперечное сечение провода за промежуток времени $\tau = 30 \text{ мин}$.

■ **754.** Стержень массой $m = 1,0 \text{ кг}$ лежит перпендикулярно рельсам, расстояние между которыми $l = 80 \text{ см}$. Рельсы составляют с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$ (рис. 103). Определите модуль минимальной индукции B однородного магнитного поля, перпендикулярного плоскости рельсов, необходимой для того, чтобы стержень начал двигаться, если по нему пропускать ток силой $I = 20 \text{ А}$. Коэффициент трения скольжения стержня о рельсы $\mu = 0,40$.

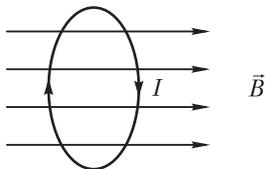


Рис. 102

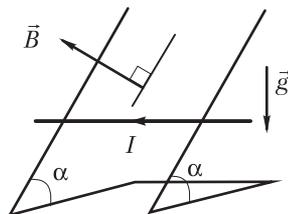


Рис. 103

■ **755.*** Медный стержень длиной $l = 30 \text{ см}$ и массой $m = 60 \text{ г}$ подвешен горизонтально на двух одинаковых нитях, разрывающихся

под действием силы натяжения, модуль которой $F_{\text{н}} = 0,30$ Н. Правая половина стержня находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,10$ Тл, а горизонтальные линии индукции составляют угол $\alpha = 60^\circ$ с осью стержня. Определите силу тока I , который необходимо пропустить через стержень, чтобы одна из нитей оборвалась.

■ **756.*** Проводящий стержень длиной $l = 10$ см и массой $m = 80$ г подвешен горизонтально на легких проводах в вертикальном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 400$ мТл (рис. 104). К точкам закрепления стержня подключают источник тока, при этом в цепи начинает проходить постоянный ток силой $I = 16$ А. Определите новое положение равновесия системы (α_0) и максимальный угол отклонения α_{max} проводов от вертикали.

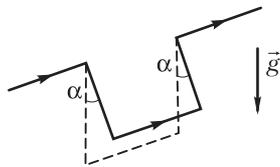


Рис. 104

■ **757.** По теории Бора электрон в атоме движется вокруг ядра по окружности радиусом $r_1 = 5,3 \cdot 10^{-11}$ м со скоростью, модуль которой $v_1 = 2,0 \cdot 10^3 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. Рассматривая движение электрона по орбите

как круговой ток, вычислите модуль индукции B_1 магнитного поля в центре орбиты. Определите модуль индукции B_2 магнитного поля при движении электрона по окружности радиусом $r_2 = 21 \cdot 10^{-11}$ м со скоростью, модуль которой $v_2 = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

■ **758.*** Вычислите модуль индукции B магнитного поля в центре круглой тонкой проводящей петли радиусом $r = 3,0$ см, по которой проходит ток силой $I = 9,0$ А.

33

Принцип суперпозиции магнитных полей

Если магнитное поле в данной точке пространства создается несколькими проводниками с током, то индукция результирующего поля есть векторная сумма индукций полей, создаваемых каждым

проводником с током в отдельности, причем поле каждого из токов не зависит от присутствия других:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n.$$

Модуль индукции магнитного поля бесконечного прямолинейного проводника с током силой I на расстоянии r от проводника в вакууме определяется по формуле:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r},$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Ом} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ — магнитная постоянная.

Модуль индукции магнитного поля тока силой I в центре тонкого кругового витка радиусом r в вакууме определяется по формуле:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r}.$$

Направление вектора индукции в центре витка определите самостоятельно по правилу обхвата правой руки.

Модуль индукции магнитного поля, создаваемого током силой I , проходящим по соленоиду внутри него, в точках, достаточно удаленных от его концов, в вакууме определяется по формуле:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l},$$

где N — число витков обмотки соленоида, l — длина соленоида.

■ **759.** Принцип суперпозиции магнитных полей записывается в виде:

$$\text{а) } \vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n;$$

$$\text{г) } B = \frac{F_{\text{л}}}{qv \sin \alpha};$$

$$\text{б) } \vec{B}_1 = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n;$$

$$\text{д) } \varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n.$$

$$\text{в) } B = \frac{F_{\text{А}}}{I\Delta l \sin \alpha};$$

■ **760.** По двум параллельным проводам, находящимся в воздухе на расстоянии $d = 20$ см друг от друга, проходят токи силой $I_1 = I_2 = I = 10$ А. Определите модуль индукции B магнитного поля в точке, находящейся на таком же расстоянии от обоих проводов, в случаях, когда направления токов: а) одинаковы; б) противоположны.

■ **761.** Три параллельных прямолинейных провода большой длины расположены в воздухе на расстояниях $d_1 = d_2 = d_3 = d = 10$ см друг от друга. Токи в проводах одинаковы по направлению. Определите индукцию \vec{B} магнитного поля в точке, расположенной на одинаковом расстоянии от всех проводов, если сила тока в них $I_1 = I_2 = I_3 = I = 15$ А.

■ **762.** Три длинных параллельных провода расположены на одинаковых расстояниях $d_1 = d_2 = d_3 = d = 20$ см друг от друга. По двум из них проходят токи силой $I_1 = I_2 = I = 5,0$ А в одном направлении, а по третьему — ток с силой $I_3 = 15$ А в противоположном направлении. Определите геометрическое место точек в пространстве, где индукция магнитного поля, создаваемого токами, равна нулю, а также модуль силы F^* , которую необходимо приложить к каждому метру третьего провода, чтобы провод находился в равновесии.

■ **763.** Два провода представляют собой концентрические окружности радиусами $R = 50$ см и $r = 20$ см. По наружному проводу проходит ток силой $I_1 = 10$ А, а по внутреннему — $I_2 = 6,0$ А. Определите модуль B индукции магнитного поля в центре окружностей: а) при одинаковых направлениях токов; б) при противоположных направлениях токов.

■ **764.** Прямолинейный провод с током силой $I_1 = 18$ А и круговой провод радиусом $r = 6,0$ см с током силой $I_2 = 3,0$ А находятся в одной плоскости (рис. 105). Расстояние от прямолинейного провода до центра витка $d = 15$ см. Определите модуль индукции B магнитного поля в центре кругового витка, если проводники находятся в воздухе. Найдите модуль индукции B_1 в центре O витка с током, если направление тока в прямолинейном проводе изменить на противоположное.

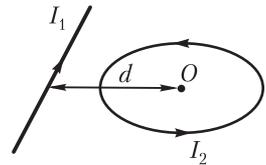


Рис. 105

■ **765.*** Определите модуль индукции B магнитного поля в центре квадрата, образованного сечениями четырех длинных прямолинейных проводников, расположенных параллельно друг другу (рис. 106), если сторона квадрата $a = 40$ см, а силы токов в проводниках $I_1 = I_3 = 10$ А, $I_2 = I_4 = 20$ А.

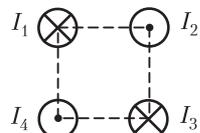


Рис. 106

■ **766.*** Определите модуль индукции B магнитного поля в центре квадрата, образованного сечениями четырех длинных прямолинейных

проводников, расположенных параллельно друг другу (рис. 107), если сторона квадрата $a = 50$ см, а силы токов в проводниках $I_1 = I_2 = 1,0$ А, $I_3 = I_4 = 2,0$ А.

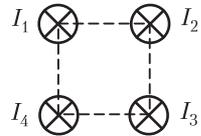


Рис. 107

34

Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле

Сила Лоренца:

$$F_{\text{л}} = qvB \sin \alpha,$$

где q — величина заряда частицы, v — модуль скорости движущегося заряда, α — угол между направлением скорости и индукцией B магнитного поля.

Правило левой руки (рис. 108): если левую руку расположить так, чтобы перпендикулярная к скорости \vec{v} составляющая вектора индукции \vec{B} магнитного поля входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывали бы направление движения положительно заряженной частицы, то отогнутый на 90° большой палец укажет направление силы Лоренца $\vec{F}_{\text{л}}$, действующей на частицу со стороны магнитного поля.

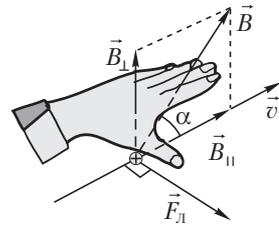


Рис. 108. Определение направления силы Лоренца по правилу левой руки

Радиус окружности, описываемой частицей в магнитном поле ($\vec{v} \perp \vec{B}$) (рис. 109), определяется по формуле:

$$R = \frac{mv}{qB}.$$

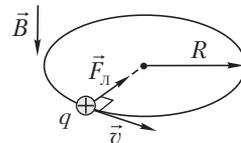


Рис. 109. Траектория заряженной частицы, движущейся перпендикулярно вектору индукции магнитного поля

Период обращения частицы, движущейся по окружности:

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}.$$

Если начальная скорость \vec{v} частицы направлена под углом α к индукции \vec{B} магнитного поля, то возникает движение по винтовой линии, ось которой параллельна магнитному полю (рис. 110). Шаг h спирали определяется по формуле:

$$h = v_{\parallel} T = v \cos \alpha \frac{2\pi m}{qB}.$$

Радиус описываемой ей окружности находится аналогично случаю, рассмотренному выше:

$$R = \frac{mv_{\perp}}{qB} = \frac{mv \sin \alpha}{qB}.$$

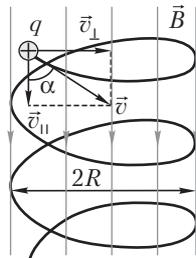


Рис. 110. Траектория заряженной частицы, движущейся под углом α к вектору индукции магнитного поля

■ **767.** Электрон, помещенный в однородное магнитное поле (рис. 111), при начальной скорости, модуль которой $v_0 = 0$, будет:

- а) двигаться по окружности;
- б) неподвижным;
- в) двигаться равноускоренно влево;
- г) двигаться равноускоренно вправо.

■ **768.** Сила Лоренца, действующая на заряд q , движущийся в однородном магнитном поле со скоростью, модуль которой v :

- а) не зависит от v ;
- б) обратно пропорциональна v ;
- в) пропорциональна v ;
- г) пропорциональна v^2 .

■ **769.** Сила Лоренца, действующая на заряд q , движущийся со скоростью, равной по модулю v , в однородном магнитном поле, модуль индукции которого B :

- а) не зависит от B ;
- б) пропорциональна B ;
- в) обратно пропорциональна B ;
- г) пропорциональна B^2 .

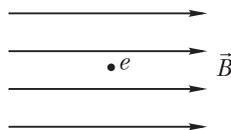


Рис. 111

■ **770.** Модуль силы Лоренца вычисляется по формуле:

$$\text{а) } F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}; \quad \text{в) } F = vqB \sin \alpha;$$

$$\text{б) } F = qE; \quad \text{г) } F = BIl \sin \alpha.$$

■ **771.** В однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 4$ Тл, со скоростью, равной по модулю $v = 2 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ ($\vec{v} \perp \vec{B}$), движется точечный заряд $q = 1 \cdot 10^{-8}$ Кл. Определите модуль силы F , действующей на заряд со стороны магнитного поля.

■ **772.** Определите модуль индукции B однородного магнитного поля, при которой протон движется по окружности радиусом $R = 4,0$ мм со скоростью, модуль которой $v = 4,0 \cdot 10^2 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

■ **773.** Определите модуль скорости v движения точечного заряда $q = 2,0$ мкКл в однородном магнитном поле, если на заряд действует сила, модуль которой $F = 4,0$ мН. Модуль индукции поля $B = 6,0$ мТл, а направление линий индукции перпендикулярно направлению движения заряда.

■ **774.** При движении заряженной частицы под углом $\alpha = 30^\circ$ к линиям индукции однородного магнитного поля на нее действует сила, модуль которой $F = 8,0$ мкН. Модуль скорости частицы $v = 1000 \frac{\text{М}}{\text{с}}$, модуль индукции поля $B = 0,12$ Тл. Определите заряд q частицы.

■ **775.** Определите модуль индукции B однородного магнитного поля, если при движении частицы зарядом $q = 8,0$ мкКл со скоростью, модуль которой $v = 400 \frac{\text{М}}{\text{с}}$, под углом $\alpha = 60^\circ$ к линиям индукции на нее действует сила, равная по модулю $F = 10$ мН.

■ **776.** Определите направление движения частицы, имеющей заряд $q = 20$ мкКл, со скоростью, равной по модулю $v = 5,0 \frac{\text{км}}{\text{с}}$, в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,50$ Тл, если на нее действует сила, модуль которой $F = 20$ мН.

■ **777.** Определите модуль скорости v движения частицы зарядом $q = 2,0$ мкКл и массой $m = 5,0 \cdot 10^{-6}$ г, если в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,50$ Тл, она движется по окружности радиусом $R = 8,0$ м.

■ **778.** Определите радиус R кривизны траектории протона, движущегося в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,5$ Тл, со скоростью, равной по модулю $v = 50 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

■ **779.** Две частицы имеют одинаковые импульсы, но заряд q_1 одной из них больше заряда q_2 другой. Определите отношение радиусов $\frac{R_1}{R_2}$ их траекторий в одном и том же однородном магнитном поле.

■ **780.** Электрон, протон и нейтрон, имеющие одинаковые по модулю скорости v , влетают в однородное магнитное поле, модуль индукции которого B , перпендикулярно линиям индукции. Определите радиусы кривизны R_e, R_p, R_n их траекторий.

■ **781.** Протон движется по окружности радиусом $R = 6,4$ см в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,46$ Тл. Определите модуль напряженности E электрического поля, которое необходимо включить для того, чтобы протоны стали двигаться по прямой линии.

■ **782.** Определите удельный заряд $\frac{q}{m}$ частицы, движущейся по окружности радиусом $R = 16$ мм в магнитном поле, если при включении однородного электрического поля ее траектория становится прямой линией. Модуль индукции магнитного поля $B = 0,58$ Тл, модуль напряженности электрического поля $E = 300 \frac{\text{В}}{\text{м}}$.

■ **783.** Определите модуль скорости v электрона, который летит не отклоняясь в однородном электрическом поле, модуль напряженности которого $E = 4,4 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$, и в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 2,4$ мТл. Силовые линии электрического поля перпендикулярны линиям индукции магнитного поля. Найдите радиус R окружности, по которой будет двигаться электрон, если включить электрическое поле.

■ **784.** Электрон, пройдя разность потенциалов $\Delta\phi = 500$ В, влетает в однородное магнитное поле и движется в нем по окружности радиусом $R = 40$ см. Определите модуль индукции B магнитного поля.

■ **785.** Покажите, что время T полного оборота по круговой орбите частицы массой m и зарядом q , движущейся в однородном магнитном

поле, модуль индукции которого B , не зависит от модуля скорости v частицы.

■ **786.** Определите модуль индукции B однородного магнитного поля, в котором α -частица, обладающая кинетической энергией $W = 10$ МэВ, описывает при движении окружность радиусом $R = 1,0$ м.

■ **787.** Заряженная частица движется в вакууме в однородном магнитном поле, модуль индукции которого B , по окружности радиусом R_0 со скоростью, равной по модулю v . Определите радиус R описываемой частицей окружности при скорости, равной по модулю $v_1 = 4v$, и индукции, модуль которой $B_1 = 3B$.

■ **788.*** Электрон движется по винтовой линии в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,50$ мТл, и за промежуток времени $\Delta t = 0,40$ мкс смещается на расстояние $\Delta x = 40$ см вдоль линий индукции магнитного поля. Определите модуль скорости v электрона, если радиус винтовой линии $R = 0,20$ см.

■ **789.** Электрон, обладающий кинетической энергией $W = 5,0$ кэВ, движется в магнитном поле, модуль индукции которого $B = 10$ Тл. В каком случае на электрон действует максимальная по модулю сила F_{\max} ? Определите модуль силы F_{\max} . Решите задачу также для случая, когда на электрон действует минимальная по модулю сила F_{\min} .

■ **790.** В область однородного электрического поля, модуль напряженности которого E , и однородного магнитного поля, модуль индукции которого B , со скоростью, модуль которой v , влетает частица так, что $\vec{v} \perp \vec{E}$, $\vec{v} \perp \vec{B}$ и $\vec{E} \perp \vec{B}$. Покажите, что при выполнении условия

$$v = \frac{E}{B}$$
 частица в области полей будет двигаться равномерно и прямолинейно.

Вычислите, при каком значении модуля индукции B магнитного поля это условие будет выполнено для протона, обладающего кинетической энергией $W = 1,0$ МэВ, если модуль напряженности электрического поля $E = 2,0 \cdot 10^6 \frac{\text{В}}{\text{м}}$.

■ **791.** Ионы, ускоренные напряжением $U = 20$ кВ, влетают через щель в магнитное поле, модуль индукции которого $B = 0,20$ Тл, перпендикулярно линиям индукции. В магнитном поле ионы движутся по дугам окружностей и, совершив половину оборота, попадают на фотопластинку. Определите расстояние d , на котором будут на-

ходить друг от друга следы, образованные однозарядными ионами водорода и гелия. Массы ионов $m_1 = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг и $m_2 = 6,68 \cdot 10^{-27}$ кг, их заряды $q_1 = q_2 = q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

■ **792.** Ион углерода (^{10}C)⁺, попав в магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны скорости иона, движется в нем по такой же траектории, как и протон с кинетической энергией $W_1 = 8,0$ МэВ. Определите кинетическую энергию W_2 иона углерода.

■ **793.** Параллельно проводу, по которому проходит ток силой $I = 10$ А, на расстоянии $l = 7,5$ мм от него летит протон, обладающий энергией $W = 1,0$ МэВ. Определите модуль силы F , действующей на протон. Как направлена эта сила, если протон движется в том же направлении, что и электроны в проводе?

■ **794.** Область однородного магнитного поля шириной l (рис. 112) отделена резкой границей от пространства, в котором нет поля. Частица из этого пространства входит в область поля и движется перпендикулярно линиям индукции магнитного поля, модуль индукции которого B . Опишите, как будет двигаться частица впоследствии, если радиус R ее траектории имеет значения:

а) $R < \frac{l}{2}$; в) $R > l$.

б) $\frac{l}{2} < R < l$;

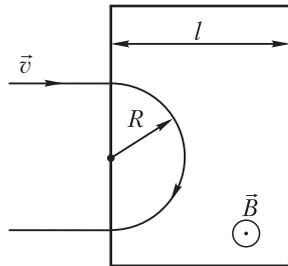


Рис. 112

■ **795.** Частица массой m и зарядом q , ускоренная разностью потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2 = 100$ В, влетела перпендикулярно линиям индукции в область однородного магнитного поля, модуль индукции которого в точке A $B = 6,0$ мТл (рис. 113). Определите удельный заряд частицы $\frac{q}{m}$, если между точками A и D расстояние $l = 50$ см.

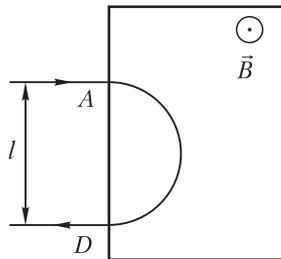


Рис. 113

■ **796.*** Узкий пучок электронов, обладающих кинетической энергией W , попадает в однородное магнитное поле, модуль индукции которого B , под углом α к линиям индукции. Определите минимальный путь l , пройденный электронами к моменту времени, когда направление распространения пучка вновь совпадет с начальным.

■ **797.*** В масс-спектрометре заряженные частицы ускоряются на участке AC силами однородного электрического поля и, влетая перпендикулярно линиям индукции в однородное магнитное поле, модуль индукции которого B , движутся по дуге окружности радиусом R (рис. 114). Выведите формулу для расчета удельного заряда частицы $\frac{q}{m}$, если

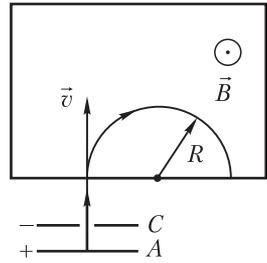


Рис. 114

ускоряющее напряжение U , а модуль начальной скорости частицы $v_0 = 0$.

■ **798.*** Частица, имеющая элементарный заряд, влетает под углом $\alpha = 45^\circ$ к линиям индукции однородного магнитного поля, модуль индукции которого $B = 2,0 \cdot 10^{-2}$ Тл, и движется по винтовой линии с шагом $h = 4,0$ см. Определите модуль импульса p частицы.

■ **799.*** Цилиндрический пучок электронов, обладающих кинетической энергией $W = 4,0$ кэВ, влетает под углом $\alpha = 30^\circ$ к линиям индукции однородного магнитного поля, модуль индукции которого $B = 2,5$ мТл. Какой минимальный путь l пролетят электроны к моменту, когда направление их перемещения совпадет с начальным?

■ **800.*** Частица массой $m = 4,0 \cdot 10^{-14}$ кг и зарядом $q = 8,0 \cdot 10^{-10}$ Кл движется в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 2,0$ Тл. Кинетическая энергия частицы $W_k = 2,5$ мкДж. Определите путь l , пройденный частицей за промежуток времени, в течение которого ее скорость изменит направление на противоположное, если $\vec{v} \perp \vec{B}$.

■ **801.*** Небольшое заряженное тело массой m , прикрепленное к нити длиной l , которое может двигаться по окружности в вертикальной плоскости, помещено в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции (рис. 115). Определите модуль минимальной скорости v тела в нижней точке, при которой оно сможет совершить полный оборот, если заряд q тела отрицателен и модуль индукции поля B .

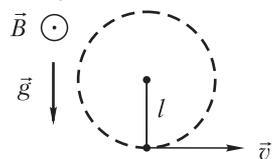


Рис. 115

■ **802.** Определите отклонение x электронного пучка под действием магнитного поля Земли, модуль индукции которого $B = 5,0 \cdot 10^{-5}$ Тл,

от центра экрана кинескопа, находящегося на расстоянии $l = 25$ см от электронной пушки при ускоряющем напряжении $U = 20$ кВ.

■ **803.** Для определения удельного заряда $\frac{q}{m}$ электрона пучок электронов разгоняют между катодом и анодом электронно-лучевой трубки, после чего пучок попадает в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны его скорости ($\vec{B} \perp \vec{v}$). Под действием магнитного поля, модуль индукции которого $B = 4,0 \cdot 10^{-4}$ Тл, светящееся пятно на экране смещается на $\Delta x = 3,0$ см. Определите $\frac{q}{m}$, если напряжение между анодом и катодом $U = 15$ кВ, расстояние от электронной пушки до экрана $l = 10$ см.

■ **804.** Электрон влетает в однородное магнитное поле со скоростью, модуль которой $v = 2,0 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, под углом $\alpha = 45^\circ$ к направлению линий индукции. При каком наименьшем значении модуля индукции магнитного поля B_{\min} электрон сможет оказаться в точке, находящейся на той же линии индукции магнитного поля на расстоянии $l = 2,0$ см от начальной точки?

■ **805.** Электроны в электронно-лучевой трубке, проходя ускоряющую разность потенциалов $\Delta\varphi = 20$ кВ в горизонтальном направлении, попадают в область шириной $d = 4,0$ см однородного магнитного поля и достигают верхней границы экрана, находящегося на расстоянии $b = 2,4$ см от центра экрана. Определите модуль индукции B магнитного поля, если экран находится на расстоянии $l = 24$ см от отклоняющей системы.

■ **806.** Электрон движется в области пространства, где имеются как однородное электрическое поле, модуль напряженности которого $E = 1,0 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$, так и однородное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 20$ мТл. Силовые линии электрического поля и линии индукции магнитного поля имеют одинаковое направление. Определите модуль ускорения a электрона в тот момент времени, когда его скорость, модуль которой $v = 100 \frac{\text{км}}{\text{с}}$, составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с направлением силовых линий.

■ **807.*** Из начала координат O области, где созданы однородные электрическое поле, модуль напряженности которого E , и магнитное поле, модуль индукции которого B (рис. 116), вылетает в направлении оси Ox частица с удельным зарядом $q^* = \frac{q}{m}$

с начальной скоростью \vec{v}_0 . Силовые линии электрического поля и линии индукции магнитного поля параллельны оси Oy . Найдите координату y_n частицы в тот момент, когда она пересечет ось Oy в n -й раз, и угол α между скоростью \vec{v} частицы и осью Oy .

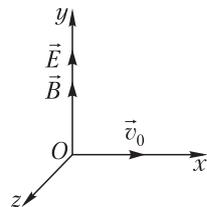


Рис. 116

■ **808.*** На брусок массой m и зарядом q ($q > 0$), расположенный на горизонтальной плоскости, начинает действовать параллельная ей сила, модуль которой F (рис. 117). Система находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого B и линии индукции горизонтальны. Найдите мощность P , развиваемую силой \vec{F} через достаточно большой промежуток времени, если коэффициент трения скольжения бруска о плоскость равен μ .

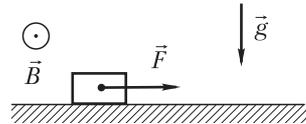


Рис. 117

■ **809.*** Определите, какую максимальную скорость \vec{v} развивает тело массой m и зарядом q , скользящее по наклонной плоскости с углом наклона α к горизонту в магнитном поле, модуль индукции которого B (рис. 118). Коэффициент трения скольжения тела о плоскость μ . Линии индукции магнитного поля параллельны наклонной плоскости и перпендикулярны ускорению свободного падения \vec{g} .

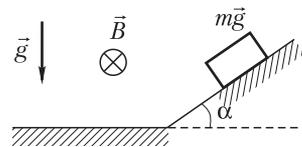


Рис. 118

■ **813.** Электрический ток силой $I = 0,5$ А создает в контуре магнитный поток $\Phi = 2$ Вб. Определите индуктивность L контура.

■ **814.** Магнитный поток, пронизывающий контур, равномерно уменьшился от $\Phi_1 = 10$ Вб до $\Phi_2 = 4,0$ Вб за промежуток времени $\Delta t = 4,0$ с. Определите ЭДС \mathcal{E} индукции в контуре.

■ **815.** Контур площадью $S = 20$ см² находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 4,0$ Тл. Определите магнитный поток Φ , пронизывающий контур, если угол между \vec{B} и нормалью \vec{n} к поверхности контура составляет $\alpha = 60^\circ$.

■ **816.** Сколько витков N провода должна содержать обмотка на стальном сердечнике с поперечным сечением площадью $S = 20$ см², чтобы при исчезновении магнитного поля, модуль индукции которого $B = 1,0$ Тл, в течение промежутка времени $\Delta t = 5,0$ мс в ней возбуждалась средняя ЭДС индукции $\langle \mathcal{E} \rangle = 100$ В?

■ **817.** Магнитный поток в соленоиде, содержащем $N = 500$ витков, изменился от $\Phi_1 = 8,0$ мВб до $\Phi_2 = 3,0$ мВб за промежуток времени $\Delta t = 0,20$ с. Определите среднюю ЭДС индукции $\langle \mathcal{E} \rangle$ в соленоиде.

■ **818.** Проволочная рамка, содержащая $N = 120$ витков и охватывающая площадь $S = 80$ см², помещена в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны ее плоскости. При повороте рамки на $\frac{1}{3}$ оборота за промежуток времени $\Delta t = 0,20$ с в ней наводится средняя ЭДС $\langle \mathcal{E} \rangle = 80$ мВ. Определите модуль индукции B магнитного поля.

■ **819.** Виток провода площадью $S = 40$ см² замкнут на конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ. Плоскость витка перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля. Определите модуль скорости изменения индукции магнитного поля $\frac{\Delta B}{\Delta t}$, если заряд на конденсаторе $q = 1,0$ мкКл.

■ **820.** Площадь S эластичного витка увеличивается с постоянной скоростью, модуль которой $\frac{\Delta S}{\Delta t} = 0,30 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$. Виток находится в магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,20$ Тл и линии индукции перпендикулярны плоскости витка. В начальный момент времени $t_0 = 0,0$ с площадь витка $S_0 = 0,45$ м². Определите ЭДС индукции \mathcal{E} в моменты времени $t_0 = 0,0$ с и $t_1 = 4,0$ с.

■ **821.** Диаметр d эластичного кругового витка уменьшается с постоянной скоростью, модуль которой $\frac{\Delta d}{\Delta t} = 0,30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Виток находится

в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,60$ Тл и линии индукции перпендикулярны его плоскости. В начальный момент времени $t_0 = 0$ площадь витка $S = 0,45 \text{ м}^2$. Определите ЭДС индукции \mathcal{E}_0 в момент времени $t_0 = 0$ и ЭДС индукции \mathcal{E} в момент времени $t_1 = 1,0$ с.

■ **822.** Плоскость медного витка диаметром $d = 10$ см перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля, модуль индукции которого $B = 0,70$ Тл. Определите заряд q , прошедший по витку за промежуток времени, в течение которого модуль индукции поля равномерно уменьшается до нуля, если диаметр провода $d_1 = 1,5$ мм.

■ **823.** Прямоугольная проводящая рамка размерами $0,15 \times 0,10$ м помещена в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Определите модуль индукции B этого поля, если при его равномерном уменьшении до нуля за промежуток времени $\Delta t = 0,20$ с в рамке наводится средняя ЭДС $\langle \mathcal{E} \rangle = 2,5$ мВ.

■ **824.** Из проволоки длиной $l = 4,0$ м и сопротивлением $R = 0,20$ Ом сделан квадрат, который расположен горизонтально. Какой заряд q пройдет по контуру, если квадрат потянуть за две диагонально противоположные вершины так, чтобы он «сложился»? Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли $B = 50$ мкТл.

■ **825.** Из изолированного провода сделана петля в форме восьмерки, радиусы колец которой r и R . Определите напряжение U между точками соприкосновения провода, если петлю поместить в магнитное поле, модуль индукции которого меняется с течением времени по закону $B = kt$, где k — постоянный коэффициент. Линии индукции перпендикулярны плоскости витка.

■ **826.** В однородное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 50$ мТл, помещен соленоид радиусом $r = 5,0$ см с количеством витков $N = 1000$. За промежуток времени $\Delta t = 0,20$ с соленоид поворачивают так, что после поворота направление его оси изменяется на угол $\alpha = 180^\circ$. Определите среднюю ЭДС индукции $\langle \mathcal{E} \rangle$ и заряд q , прошедший через соленоид, если площадь поперечного сечения проволоки $S = 1,2 \text{ мм}^2$, ее удельное сопротивление $\rho = 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ и она замкнута накоротко.

■ **827.** Проволочный виток сопротивлением $R = 0,20$ Ом и площадью $S = 50$ см² с включенным в него конденсатором емкостью $C = 1,0$ мкФ помещен в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости витка. Определите заряд q конденсатора, если модуль индукции поля с течением времени убывает равномерно со скоростью, модуль которой $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 2,0 \frac{\text{мТл}}{\text{с}}$.

■ **828.** Гибкий проволочный контур сопротивлением $R = 0,40$ Ом и площадью $S_1 = 200$ см² расположен перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля, модуль индукции которого $B_1 = 60$ мТл. При одновременном увеличении модуля индукции поля до $B_2 = 80$ мТл и площади контура до S_2 по нему прошел заряд $q = 8,0$ мКл. Определите площадь S_2 контура.

■ **829.*** Кольцо радиусом R , изготовленное из однородной проволоки поперечным сечением S и удельным сопротивлением ρ , помещено в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости кольца, а модуль индукции меняется со временем по закону $B = kt$, где k — размерный коэффициент. Определите мощность P выделения теплоты в кольце.

■ **830.*** Прямоугольная рамка со сторонами $a = 10$ см и $b = 30$ см наполовину находится в однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции поля. Модуль индукции (рис. 120) увеличивается с постоянной скоростью, модуль которой $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 2,5 \frac{\text{Тл}}{\text{с}}$. Сопротивление едини-

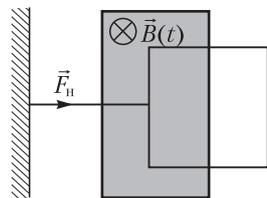


Рис. 120

цы длины проводника $\rho = 1,0 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$. Определите модуль силы натяжения F_n изолирующей нити через промежуток времени $\Delta t = 0,50$ с после включения магнитного поля. Силой тяжести пренебречь.

■ **831.*** Вне цилиндра радиусом r_0 модуль индукции однородного магнитного поля линейно возрастает со временем по закону $B_1 = \alpha t$, где α — размерный коэффициент. Как должен меняться во времени модуль индукции $B_2(t)$ однородного магнитного поля внутри

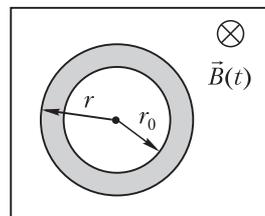


Рис. 121

цилиндра, чтобы электрон мог двигаться по окружности радиусом r ($r > r_0$) (рис. 121)? В начальный момент времени $t_0 = 0$ электрон покоился.

■ **832.*** Квадратная рамка размерами $a \times a$, изготовленная из гибкой тонкой нерастяжимой проволоки сопротивлением R , расположена перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля, модуль индукции которого B .

Не меняя плоскости расположения рамки, ее деформируют так, что она превращается в окружность (рис. 122). Какой заряд q пройдет при этом по рамке?

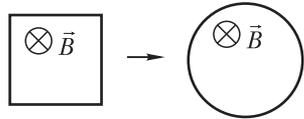


Рис. 122

36

Движение проводника в магнитном поле

Направление индукционного тока в контуре с перемещающимся проводником может быть установлено с помощью **правила правой руки** (рис. 123): если ладонь правой руки расположить так, чтобы вектор индукции \vec{B} магнитного поля входил в ладонь, а отставленный на 90° большой палец совпадал с направлением скорости движения проводника, то четыре вытянутых пальца укажут направление тока в перемещающемся проводнике.

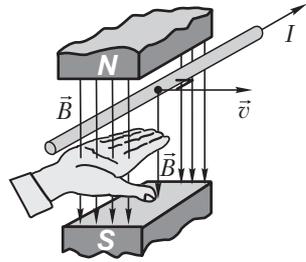


Рис. 123. Правило правой руки

■ **833.** Проводящий стержень длиной $l = 14,0$ см перемещают по U-образному проводнику в однородном магнитном поле со скоростью, модуль которой $v = 25,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите ЭДС индукции \mathcal{E} ,

наводимую в стержне магнитным полем, если модуль индукции $B = 1,50$ Тл, а линии индукции перпендикулярны плоскости проводника.

■ **834.** Проводящая рамка в форме окружности радиусом R находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого B и линии индукции направлены параллельно оси Oy . Рамка располагается в плоскости xOz . Определите индуцируемую в ней ЭДС \mathcal{E} , если рамка движется поступательно вдоль оси Ox с постоянной скоростью \vec{v} .

■ **835.** Проводящий виток диаметром $d = 20$ см расположен в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,70$ Тл. Виток выдергивают из области поля за промежуток времени $\Delta t = 0,18$ с. Определите среднюю ЭДС индукции $\langle \mathcal{E} \rangle$, если линии индукции поля перпендикулярны плоскости витка.

■ **836.** Автомобиль движется со скоростью, модуль которой $v = 160 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите разность потенциалов $\phi_1 - \phi_2$ на концах передней оси машины, если длина оси $l = 1,8$ м, а вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли $B = 5,0 \cdot 10^{-5}$ Тл.

■ **837.** Проводящий стержень длиной $l = 28$ см и сопротивлением $R = 30$ Ом перемещают со скоростью, модуль которой $v = 2,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, по П-образному проводнику, сопротивлением которого можно пренебречь. Система находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,10$ Тл и линии индукции перпендикулярны плоскости движения стержня. Определите наводимую в контуре ЭДС индукции \mathcal{E} и силу тока I в нем.

■ **838.** Самолет, размах крыльев которого $l = 30$ м, летит горизонтально со скоростью, модуль которой $v = 1000 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите напряжение U , возникающее между концами крыльев самолета, если вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли $B = 5,0 \cdot 10^{-5}$ Тл. Определите максимальное напряжение U_{max} , которое может возникнуть при полете самолета, с учетом горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли $B_0 = 2,0 \cdot 10^{-5}$ Тл.

■ **839.** Проводящий виток диаметром $d = 12$ см имеет сопротивление $R = 4,2$ Ом. Он выводится из магнитного поля, модуль индукции которого $B = 0,50$ Тл и линии индукции перпендикулярны плоскости витка, за промежуток времени $\Delta t = 0,50$ с. Определите количество теплоты Q , выделившееся в витке, считая скорость убывания магнитного потока через него постоянной.

■ **840.** Прямолинейный проводник длиной $l = 25$ см перемещают в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,50$ Тл, так, что его ось составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с линиями индукции. Скорость перемещения проводника перпендикулярна линиям индукции и оси проводника. Определите модуль ускорения a , с которым должен двигаться проводник, чтобы напряжение между его концами возрастало бы равномерно на $\Delta U = 1,0$ В за промежуток времени $\Delta t = 1,0$ с.

■ **841.** Проводящая рамка, имеющая форму окружности радиусом $R = 10$ см, находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 10$ мТл и линии индукции направлены параллельно оси Oy . Сначала рамка располагалась в плоскости xOz . Определите среднее значение ЭДС индукции $\langle \mathcal{E} \rangle$, если рамку повернуть на угол $\alpha = 180^\circ$ вокруг оси Oz за промежуток времени $\Delta t = 1,0$ с.

■ **842.** В однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 10$ мТл, свободно падает перпендикулярно горизонтальным линиям индукции поля расположенный горизонтально прямолинейный проводник длиной $l = 0,80$ м. Определите, через какой промежуток времени Δt от начала падения проводника ЭДС индукции на его концах будет $\mathcal{E} = 49$ мВ.

■ **843.** Два параллельных замкнутых на одном конце провода, расстояние между которыми $l = 50$ см, находятся в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 50$ мТл. Плоскость, в которой расположены провода, перпендикулярна линиям индукции поля. На провода положен металлический мостик, скользящий по ним без трения. Мостик под действием силы, равной по модулю $F = 0,10$ мН и направленной параллельно проводам, движется с постоянной скоростью, модуль которой $v = 5,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите сопротивление R мостика, пренебрегая сопротивлением проводов.

■ **844.** Проводящий стержень длиной $l = 0,50$ м, массой $m = 0,10$ кг и сопротивлением $R = 0,15$ Ом падает, сохраняя контакт с «почти вертикальными» стойками (рис. 124). Сопротивление всех деталей, кроме стержня, ничтожно мало. Модуль индукции магнитного поля $B = 0,40$ Тл, а линии индукции направлены горизонтально

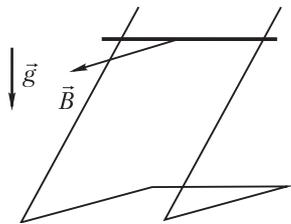


Рис. 124

и перпендикулярно плоскости, в которой находятся стойки. Пренебрегая трением, определите модуль установившейся скорости падения v стержня, а также силу тока I и его направление в контуре.

■ **845.** Проводящий стержень массой $m = 400$ г лежит на горизонтальных рельсах, расстояние между которыми $l = 40$ см. Вся система находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,10$ Тл и линии индукции вертикальны (рис. 125). При пропускании по стержню тока силой $I = 10$ А, направленного от точки A к точке C , стержень начинает двигаться поступательно с ускорением, равным по модулю $a = 0,40 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$. Определите коэффициент трения скольжения μ между стержнем и рельсами.

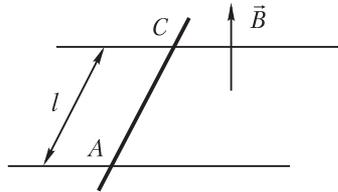


Рис. 125

■ **846.** Проводящая перемычка массой $m = 20$ г может скользить без трения по двум параллельным горизонтальным проводам, расположенным на расстоянии $l = 0,50$ м друг от друга в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 80$ мТл и линии индукции вертикальны. К концам проводов подключают конденсатор емкостью $C = 5,0$ мкФ, заряженный до напряжения $U = 10$ В (рис. 126). Определите модуль установившейся скорости v перемещения перемычки и напряжение U_1 в цепи. Сопротивлением перемычки и проводов, а также потерями энергии пренебечь.

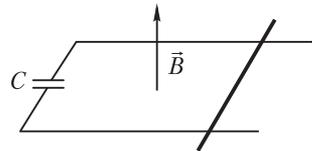


Рис. 126

■ **847.** Проводник длиной $l = 0,40$ м, подключенный к источнику тока с ЭДС индукции $\mathcal{E} = 2,0$ В, находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,50$ Тл и линии индукции вертикальны (рис. 127). Определите модуль скорости v и направление, в котором необходимо перемещать проводник, чтобы через него ток не проходил. Сопротивлением перемычки, проводов и внутренним сопротивлением источника пренебечь.

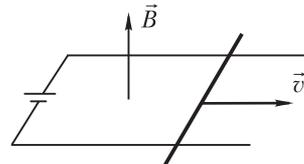


Рис. 127

■ **848.** В однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 20$ мТл и линии индукции вертикальны, в горизонтальной пло-

скости расположены проводящие направляющие, выполненные в форме буквы П. На направляющих, расстояние между которыми $d = 0,60$ м, лежит проводник, способный перемещаться по ним. Определите модуль горизонтальной силы F , которую необходимо приложить к подвижному проводнику, чтобы перемещать его по направляющим со скоростью, модуль которой $v = 0,80 \frac{\text{М}}{\text{с}}$. Сопротивление контура считайте неизменным и равным $R = 10$ мОм. Трением пренебречь.

■ **849.** Проводящий стержень массой m и сопротивлением R может скользить без трения по двум параллельным рельсам малого сопротивления, находящимся на расстоянии l друг от друга в однородном магнитном поле, модуль индукции которого B и линии индукции перпендикулярны рельсам и стержню (рис. 128). В начальный момент времени $t_0 = 0$, когда стержень неподвижен, к точкам A и C подключают источник тока. Опишите качественно зависимость модуля скорости стержня от времени $v(t)$, если источник создает: а) между точками A и C постоянное напряжение U_0 ; б) постоянную силу тока I .

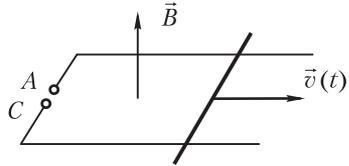


Рис. 128

■ **850.** Проволочную прямоугольную рамку размерами $0,10 \times 0,20$ м, имеющую сопротивление $R = 5,0$ Ом, перемещают с постоянной скоростью \vec{v} через область однородного магнитного поля перпендикулярно линиям индукции ($\vec{v} \perp \vec{B}$). Модуль индукции магнитного поля $B = 0,25$ Тл. При какой по модулю скорости v в рамке выделится количество теплоты $Q = 1,0$ Дж? Ширина области магнитного поля больше размеров рамки.

■ **851.** Квадрат сделан из четырех проводников длиной $l = 6,0$ см и сопротивлением $R = 3,0$ Ом каждый. На расстоянии $d = \frac{l}{4}$ от одного из проводников квадрат замкнут перемычкой сопротивлением $R_0 = 1,0$ Ом (рис. 129). Плоскость квадрата перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля, изменяющейся со скоростью,

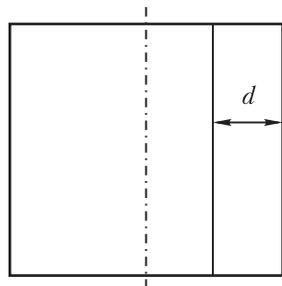


Рис. 129

модуль которой $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 100 \frac{\text{мТл}}{\text{с}}$. Определите силу проходящего по перемычке тока I .

■ **852.*** Металлический стержень KL , сопротивление единицы длины которого ρ , движется с постоянной скоростью, модуль которой v , перпендикулярно KL (рис. 130). При этом он замыкает два проводника OC и OD малого сопротивления, образующих друг с другом угол α и находящихся в однородном магнитном поле, модуль индукции которого B . Найдите количество теплоты Q , выделившееся в системе за время движения стержня от точки O до точки C . Известно, что линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости системы, $OC = l$, $KL \perp OC$.

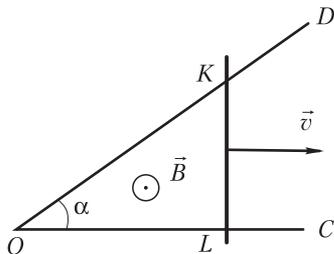


Рис. 130

■ **853.** Тонкий металлический стержень длиной l вращается с угловой скоростью ω относительно оси, проходящей через один из его концов перпендикулярно стержню и параллельно линиям индукции однородного магнитного поля, модуль индукции которого B . Определите ЭДС индукции \mathcal{E} , возникающую между концами стержня.

■ **854.** По двум вертикальным рейкам, соединенным между собой резистором сопротивлением R , может без трения скользить проводник длиной l и массой m . Система находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого B и линии индукции перпендикулярны плоскости, образованной рейками. Как будет двигаться проводник в поле силы тяжести? Сопротивлением проводника и реек пренебречь.

■ **855.** Металлический диск радиусом R вращается с угловой скоростью ω относительно оси, проходящей через его центр в однородном магнитном поле, модуль индукции которого B и линии индукции направлены параллельно оси вращения. Определите ЭДС индукции \mathcal{E} , возникающую между центром диска и его краем.

■ **856.** Прямолинейный проводник длиной $l = 70$ см, находящийся в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 37$ мТл, вращается с угловой скоростью $\omega = 50 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ в плоскости, перпендикулярной линиям индукции поля. Определите напряжение U меж-

ду концами проводника, если ось вращения проходит на расстоянии $d = \frac{1}{3}l$ от одного из его концов.

■ **857.** Медный диск радиусом r вращается с угловой скоростью ω в однородном магнитном поле, модуль индукции которого B и линии индукции направлены перпендикулярно плоскости диска. Диск подключен к резистору сопротивлением R при помощи скользящих контактов, установленных на оси и ободе диска. Определите заряд q , прошедший по цепи за промежуток времени, в течение которого диск совершил n оборотов, и количество теплоты Q , выделившееся в цепи за этот период.

■ **858.** Проводящий стержень длиной $l = 2,0$ м и массой $m = 0,20$ кг подвешен за концы на двух одинаковых пружинах жесткостью $k = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ в однородном горизонтальном магнитном поле, линии ин-

дукции которого перпендикулярны оси стержня. Модуль индукции магнитного поля $B = 0,20$ Тл. По стержню в течение промежутка времени $\Delta t = 10$ мс пропускают кратковременный импульс тока силой $I = 200$ А, в результате чего стержень приобретает скорость, направленную вертикально вниз. Определите наибольшее смещение h стержня при его последующем движении. Смещением стержня за время прохождения тока пренебречь.

■ **859.** Перемычка, замыкающая П-образный провод, перемещается под действием направленной горизонтально силы, модуль которой F , с постоянной скоростью, модуль которой $v = 10 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ (рис. 131).

Контур находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны его плоскости. Определите модуль силы F , если в контуре каждую секунду выделяется $Q = 1,0$ Дж теплоты. Решите задачу динамическим и энергетическим способами.

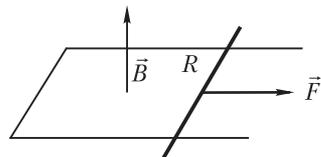


Рис. 131

■ **860.** По двум гладким параллельным шинам, составляющим угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом, скользит без трения под действием силы тяжести медная перемычка массой $m = 10$ г. Шины, расстояние между которыми $d = 20$ см, замкнуты на резистор сопротивлением $R = 2,0$ Ом.

Шины и перемычка находятся в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,50$ Тл и линии индукции перпендикулярны к плоскости, образуемой шинами. Пренебрегая сопротивлением шин и перемычки, определите модуль установившейся постоянной скорости v перемычки.

■ **861.*** Виток площадью S , расположенный перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля, модуль индукции которого B (рис. 132), замкнут через гальванометр сопротивлением R . Какой заряд q пройдет через гальванометр, если виток быстро повернуть параллельно полю? медленно повернуть параллельно полю?

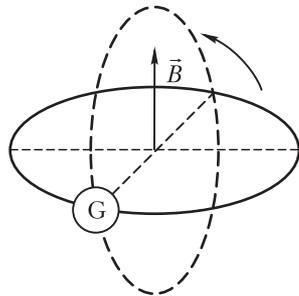


Рис. 132

■ **862.*** Тонкое непроводящее кольцо массой m , имеющее заряд q , может свободно вращаться вокруг своей оси. В начальный момент времени кольцо покоилось и магнитное поле отсутствовало. Затем включили однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости кольца, модуль индукции поля начал возрастать со временем по закону $B(t)$. Найдите угловую скорость ω кольца в зависимости от конечного значения модуля индукции B .

■ **863.*** Стержень AB длиной l равномерно вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси AO ($\angle OAB = \alpha$) в однородном магнитном поле, модуль индукции которого B_0 и линии индукции вертикальны (рис. 133). Найдите напряжение U_{AB} , возникающее между концами стержня.

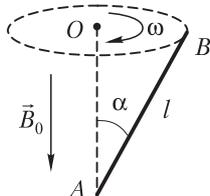


Рис. 133

■ **864.*** На двух горизонтальных параллельных проводящих рельсах перпендикулярно им свободно лежат две одинаковые проводящие параллельные друг другу перемычки (рис. 134). В некоторый момент времени достаточно быстро «включили» однородное магнитное поле, линии индукции которого вертикальны. Считая, что сопротивление рельсов значительно меньше сопротивления перемычек, и пренебрегая трением, найдите, во сколько раз k изменилось расстояние между перемычками.

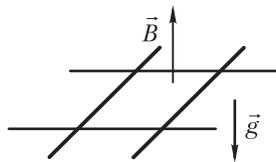


Рис. 134

■ **865.*** Проволочная квадратная рамка массой m со стороной a падает без начальной скорости ($v_0 = 0$) в магнитном поле, линии индукции которого горизонтальны и перпендикулярны плоскости рамки (рис. 135). Модуль индукции поля изменяется по закону $B(z) = B_0 + kz$, где k — некоторый постоянный коэффициент. Сопротивление рамки R . Определите модуль скорости v рамки через достаточно большой промежуток времени. Изменит ли ответ наличие начальной скорости ($v_0 \neq 0$)? Решите задачу динамическим и энергетическим способами.

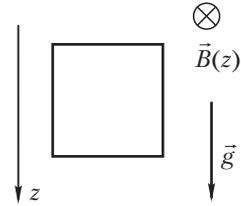


Рис. 135

37

Явление самоиндукции. Индуктивность

Индуктивность — скалярная физическая величина, численно равная собственному магнитному потоку, магнитное поле которого пронизывает контур, при силе тока в нем 1 А:

$$L = \frac{\Phi}{I} \Rightarrow \Phi = LI.$$

Под **явлением самоиндукции** понимают возникновение в контуре ЭДС индукции, создаваемой вследствие изменения силы тока в самом контуре.

ЭДС самоиндукции:

$$\mathcal{E}_{si} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

■ **866.** Единицей индуктивности в СИ является:

а) ампер; б) вольт; в) вебер; г) генри.

■ **867.** ЭДС самоиндукции определяется по формуле:

а) $\mathcal{E} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$; в) $\mathcal{E} = IR$;

б) $\mathcal{E} = -L = \frac{\Delta t}{\Delta I}$; г) $\mathcal{E} = vBl \cos\alpha$.

■ **868.** Определите ЭДС самоиндукции \mathcal{E} , возникающую в катушке индуктивностью $L = 42$ мГн, если сила тока в ней равномерно уменьшается от $I = 1,7$ А до нуля за промежуток времени $\Delta t = 0,018$ с.

■ **869.** Определите промежуток времени Δt , за который сила тока в катушке индуктивностью $L = 120$ мГн увеличилась от $I_1 = 0$ до $I_2 = 2,8$ А, если при этом возникла средняя ЭДС самоиндукции $\langle \mathcal{E} \rangle = 20$ В.

■ **870.** Определите индуктивность L катушки, если при уменьшении силы тока в ней на $\Delta I = 1,4$ А за промежуток времени $\Delta t = 42$ мс возникла ЭДС самоиндукции $\mathcal{E} = 10$ В.

■ **871.** Определите модуль скорости изменения силы тока $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ в обмотке электромагнита индуктивностью $L = 1,5$ Гн при среднем значении ЭДС самоиндукции $\langle \mathcal{E} \rangle = 15$ В.

■ **872.** В катушке индуктивностью $L = 0,16$ Гн возбуждается ЭДС самоиндукции $\mathcal{E} = 40$ В при равномерном увеличении силы тока от $I_0 = 0$ до величины I за промежуток времени $\Delta t = 5,0$ мс. Определите силу тока I самоиндукции.

■ **873.** Катушка имеет $N = 1000$ витков, ее длина $l = 50$ см, площадь поперечного сечения $S = 5,0$ см². Определите модуль скорости изменения силы тока $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ в катушке, чтобы в ней возникла ЭДС самоиндукции $\mathcal{E} = 2,5$ мВ.

■ **874.** На катушке индуктивностью $L = 10,0$ мГн и сопротивлением $R = 24,6$ Ом поддерживается постоянное напряжение $U = 110$ В. Определите среднюю ЭДС самоиндукции $\langle \mathcal{E} \rangle$ в катушке, возникающую при размыкании цепи, если ток исчезает в течение промежутка времени $\Delta t = 6,0$ мс.

■ **875.** Катушку ничтожно малым сопротивлением и индуктивностью $L = 5,0$ Гн подключают к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 3,0$ В. Определите, через какой промежуток времени Δt сила тока в катушке станет $I = 30$ А. Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

■ **876.** По катушке площадью поперечного сечения S и длиной l , содержащей N витков, проходит равномерно возрастающий ток, в результате чего в ней возникает ЭДС самоиндукции \mathcal{E} . Определите промежуток времени Δt , в течение которого сила тока в катушке увеличится в $n = 3$ раза, если в начальный момент времени она была I_0 .

- **882.** Энергия магнитного поля соленоида $W_1 = 5,0$ Дж при силе тока в нем $I_1 = 2,0$ А. Определите энергию W_2 магнитного поля этого соленоида при силе тока в нем $I_2 = 5,0$ А.
- **883.** Определите конечное значение силы тока I в соленоиде, если известно, что энергия его магнитного поля возросла в $n = 4$ раза. Начальная сила тока в соленоиде $I_0 = 0,40$ А.
- **884.** На катушке индуктивностью $L = 10,0$ мГн и сопротивлением $R = 16,4$ Ом поддерживается постоянное напряжение $U = 110$ В. Определите энергию W , выделяющуюся при размыкании цепи.
- **885.** На катушке индуктивностью $L = 0,20$ Гн и сопротивлением $R = 5,0$ Ом поддерживается постоянное напряжение $U = 24$ В. Определите среднюю ЭДС самоиндукции $\langle \mathcal{E} \rangle$, возникающую в катушке при размыкании цепи, если энергия магнитного поля при этом уменьшается до нуля за промежуток времени $\Delta t = 0,040$ с.
- **886.** Определите ЭДС самоиндукции \mathcal{E} в катушке, энергия магнитного поля которой за промежуток времени $\Delta t = 0,040$ с возрастает в $n = 4$ раза. Индуктивность катушки $L = 4,0$ Гн, а начальная сила тока $I_0 = 2,0$ А.
- **887.*** Батарея источников тока без внутреннего сопротивления подключена к катушке индуктивностью L . Определите зависимость тока в цепи от времени $I(t)$, если ЭДС батареи \mathcal{E} . Найдите работу A сторонних сил батареи за промежуток времени Δt . В какой вид энергии превращается эта работа?

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Единицы измерения основных величин механических колебаний и волн

Наименование величины	Обозначение	Название единицы	Выражение через основные единицы СИ
Частота	ν	Герц (Гц)	с^{-1}
Период	T	Секунда (с)	с
Циклическая (круговая) частота	ω	Радiaan в секунду $\left(\frac{\text{рад}}{\text{с}}\right)$	с^{-1}
Амплитуда	A	Метр (м)	м
Длина волны	λ	Метр (м)	м
Модуль скорости волны	v	Метр в секунду $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

39

Гармонические колебания

Колебания любой физической природы, описываемые уравнением:

$$a_x(t) + \omega^2 x(t) = 0,$$

являются **гармоническими**, а система, совершающая такие колебания, — **гармонической колебательной системой**, или **гармоническим осциллятором**.

Колебания, при которых зависимость координаты (смещения) тела от времени определяется соотношениями

$$x(t) = x_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0) \text{ или } x(t) = x_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0),$$

называются **гармоническими**.

Зависимость координаты от времени $x(t)$ называется кинематическим **законом гармонических колебаний (законом движения)**.

Колебания материальной точки являются **гармоническими**, если они происходят под действием возвращающей силы, модуль которой прямо пропорционален смещению точки из положения равновесия $F_x = -kx$ и направленной к положению равновесия колеблющегося тела.

Амплитуда колебаний A ($A > 0$) — максимальное смещение x_{\max} тела или системы тел из положения равновесия.

Фаза колебаний $\varphi = \omega t + \varphi_0$ определяет состояние колебательной системы (координаты, скорости, ускорения) в любой момент времени при заданной амплитуде. В начальный момент времени $t = 0$ она равна начальной фазе φ_0 .

Единицей фазы является *радиан* (1 рад).

Циклическая частота ω — число колебаний за промежуток времени $\Delta t = 2\pi$ секунд:

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

Период колебания T — время одного колебания:

$$T = \frac{t}{N}.$$

Частота колебаний ν — число колебаний, совершаемых в единицу времени:

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{T}.$$

■ **888.** Координата колеблющейся материальной точки изменяется со временем по закону $x(t) = 4 \sin(\pi t)$ (см). Частота колебаний ν равна:

а) 1 Гц; б) 2 Гц; в) 0,5 Гц; г) 4 Гц.

■ **889.** Координата колеблющейся материальной точки изменяется со временем по закону $x = 4\cos(2\pi t)$ (м). Период колебаний T равен:

а) 1 с; б) 2 с; в) 0,5 с; г) 4 с.

■ **890.** Маятник совершает $n = 12$ колебаний за промежуток времени $\Delta t = 4,8$ с. Определите период T его колебаний.

■ **891.** Маятник совершает $n = 24$ колебания за промежуток времени $\Delta t = 8,0$ с. Определите частоту ν его колебаний.

■ **892.** Частота свободных колебаний камертона $\nu = 170$ Гц. Определите период T его колебаний.

■ **893.** Струна совершает колебания с частотой $\nu = 300$ Гц. Определите число n колебаний, совершаемых струной за промежуток времени $\Delta t = 4,0$ с.

■ **894.** Из зависимости координаты колеблющейся материальной точки от времени, приведенной на рисунке 136:

а) определите период, частоту и амплитуду колебаний;

б) запишите закон колебаний $x(t)$;

в) определите координату x_1 материальной точки в момент времени $t_1 = 0,2$ с.

■ **895.** Из зависимости координаты колеблющегося тела от времени, приведенной на рисунке 137:

а) определите период, циклическую частоту и амплитуду колебаний;

б) запишите кинематический закон движения $x(t)$;

в) определите координату x_1 материальной точки в момент времени $t_1 = 1,6$ с.

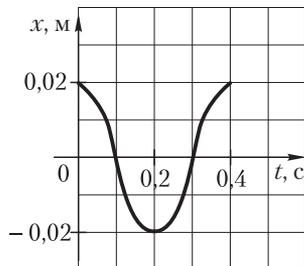


Рис. 136

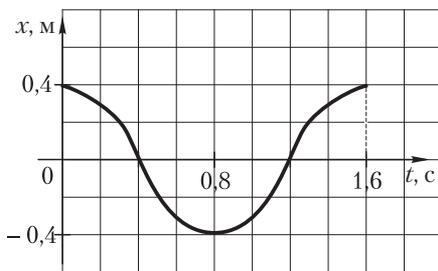


Рис. 137

■ **896.** Коленчатый вал автомобиля совершает $n = 3600$ колебаний за промежуток времени $\Delta t = 60$ с. Определите период T , частоту ν и циклическую частоту ω колебаний поршня в цилиндре.

■ **897.** Коленчатый вал автомобиля совершает $n = 200$ оборотов за промежуток времени $\Delta t = 5,0$ с. Определите, за какой промежуток времени Δt_1 поршень пройдет в цилиндре расстояние от верхней «мертвой» точки до нижней.

■ **898.** Материальная точка совершает гармонические колебания, период которых $T = 0,2$ с, амплитуда $A = 0,04$ м, а начальная фаза $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$. Запишите закон колебаний материальной точки, если в начальном момент времени отклонение точки максимально.

■ **899.** Маятник совершает гармонические колебания по закону $x(t) = 0,40 \cos(\pi t)$ (м). Определите амплитуду A , частоту ν , циклическую частоту ω и начальную фазу φ_0 колебаний маятника.

■ **900.** Ножка камертона совершает колебания по закону $x(t) = 0,040 \cos(20\pi t + \pi)$ (м). Определите, через какой минимальный промежуток времени Δt от начала отсчета смещение ножки будет $x = 10$ мм.

■ **901.** Материальная точка совершает гармонические колебания по закону $x(t) = 0,2 \cos\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{2}\right)$ (см). Определите смещение x точки через промежуток времени $\Delta t = \frac{T}{8}$.

■ **902.** Шарик, совершающий вертикальные гармонические колебания с амплитудой A , проходит путь $s = 5A$ за промежуток времени $\Delta t = 10$ с. Определите период T колебаний шарика.

■ **903.** Определите координату x материальной точки, совершающей гармонические колебания, в момент времени, когда фаза колебаний $\varphi = \frac{\pi}{4}$, если за период колебаний точка проходит путь $s = 60$ см.

■ **904.** Небольшой шарик подвешен к потолку вагона на нити длиной $l = 80$ см. Определите модуль скорости v вагона, при которой колебания шарика будут иметь максимальную амплитуду вследствие покачивания вагонов на стыках рельсов (длина рельсов $L = 12,5$ м).

■ **905.** Запишите закон движения $x(t)$ материальной точки, если известно, что за промежуток времени $\Delta t = 1,0$ мин она совершила $n = 90$ колебаний с амплитудой $A = 5,0$ см, а в начальный момент ($t_0 = 0$) двигалась в положительном направлении оси Ox и ее смещение составляло $x_0 = 2,0$ см.

■ **906.*** Запишите уравнение $x(t)$ результирующего колебания при сложении двух одинаково направленных гармонических колебаний:

$x_1(t) = \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$ (см) и $x_2(t) = \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$ (см). Определите амплитуды A_1 и A_2 , периоды T_1 и T_2 , начальные фазы φ_1 и φ_2 складываемых колебаний.

■ **907.** Определите энергию W колебаний материальной точки (энергию гармонического осциллятора), если известны ее масса m , а также частота ν и амплитуда A колебаний.

■ **908.** Тело совершает гармонические колебания с амплитудой $A = 2,0$ см и частотой $\nu = 100$ Гц. Определите среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$ движения тела за промежуток времени: а) когда тело проходит расстояние от положения, соответствующего максимальному значению скорости, до положения, соответствующего максимальному отклонению; б) первую половину указанного расстояния; в) вторую половину указанного расстояния.

■ **909.** Материальная точка, движущаяся прямолинейно, совершает гармонические колебания. При этом максимальные значения модулей скорости и ускорения точки v_{\max} и a_{\max} соответственно. Определите, на каком расстоянии x от положения, в котором скорость равна нулю, находится точка, модуль скорости которой равен v .

■ **910.*** Материальная точка совершает колебания по закону $x(t) = 0,80 \cos 18\pi t$ (м). Определите, считая от начального момента времени $t_0 = 0$: а) промежутки времени Δt_1 и Δt_2 , за которые точка проходит последовательно отрезки пути, равные половине амплитуды; б) средние скорости $\langle v_1 \rangle$ и $\langle v_2 \rangle$; в) модули средних ускорений $\langle a_1 \rangle$ и $\langle a_2 \rangle$ за эти промежутки времени.

■ **911.** Автомобиль массой $m = 1,8$ т при движении по неровной дороге совершает гармонические колебания в вертикальном направлении с периодом $T = 0,80$ с и амплитудой $A = 20$ см. Определите модуль максимальной силы давления $F_{\text{д max}}$, действующей на каждую из четырех рессор автомобиля.

■ **912.** Материальная точка совершает колебания по закону $x(t) = 0,020 \cos(8\pi t)$ (м). В некоторый момент времени модуль силы, действующей на точку, и потенциальная энергия точки равны соответственно $F = 50$ мН и $W_{\text{п}} = 0,10$ мДж. Определите фазу φ и кинетическую энергию $W_{\text{к}}$ точки в этот момент времени.

- **913.** Шарик массой $m = 20$ г совершает гармонические колебания с амплитудой $A = 2,0$ см и частотой $\nu = 20$ Гц. Определите: а) максимальное значение модуля возвращающей силы F_{\max} ; б) полную энергию W шарика; в) модуль силы F_1 , действующей на шарик, когда он находится на расстоянии $x = 1,0$ см от положения равновесия; г) кинетическую энергию W_k шарика, когда он находится на расстоянии $x = 1,0$ см от положения равновесия.

40

Математический маятник

Колебательная система, состоящая из находящегося в поле силы тяжести тела, подвешенного на легкой нерастяжимой нити, размеры которого малы по сравнению с длиной нити, а масса значительно больше массы нити, называется **математическим маятником**.

Период малых колебаний математического маятника определяется по **формуле Гюйгенса**:

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

- **914.** Период колебаний T математического маятника:
- а) пропорционален модулю ускорения свободного падения g ;
 - б) пропорционален \sqrt{g} ;
 - в) обратно пропорционален g ;
 - г) обратно пропорционален \sqrt{g} .
- **915.** Период колебаний T математического маятника длиной l :
- а) пропорционален l ;
 - б) пропорционален \sqrt{l} ;
 - в) пропорционален l^2 ;
 - г) не зависит от l .

■ **916.** Частота колебаний ν математического маятника длиной l определяется по формуле:

$$\text{а) } \nu = 2\pi \sqrt{\frac{g}{l}};$$

$$\text{в) } \nu = \sqrt{\frac{2\pi g}{l}};$$

$$\text{б) } \nu = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}};$$

$$\text{г) } \nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

■ **917.** Период колебаний T математического маятника длиной l определяется по формуле:

$$\text{а) } T = 2\pi \sqrt{\frac{g}{l}};$$

$$\text{в) } T = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}};$$

$$\text{б) } T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}};$$

$$\text{г) } T = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

■ **918.** Период колебаний математического маятника $T = 2,0$ с. Определите частоту ν и циклическую частоту ω его колебаний.

■ **919.** Как и во сколько раз изменится период колебаний T математического маятника, если его длина увеличится в $n = 4$ раза?

■ **920.** Как и во сколько раз изменится частота колебаний ν математического маятника, если его длина l уменьшится в $n = 9$ раз?

■ **921.** Как необходимо изменить длину l маятника, чтобы частота ν его колебаний увеличилась в $n = 3$ раза?

■ **922.** Определите отношение частот $\frac{\nu_1}{\nu_2}$ колебаний математических маятников, если их длины относятся как

$$\frac{l_1}{l_2} = 9.$$

■ **923.** Циклическая частота колебаний математического маятника $\omega = 5,0 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Определите период T и частоту ν его колебаний.

■ **924.** Период колебаний математического маятника $T = 3,14$ с. Определите длину l его нити подвеса.

■ **925.** Длина нити подвеса математического маятника $l = 9,8$ м. Определите период T и частоту ν его колебаний.

■ **926.** Определите модуль ускорения свободного падения g на некоторой планете, если известно, что математический маятник с нитью подвеса длиной $l = 0,50$ м имеет период колебаний $T = 2,0$ с.

■ **927.** Колебания математического маятника происходят по закону $x(t) = 0,1 \cos\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{4}\right)$ (м). Определите длину l его нити подвеса.

■ **928.** Определите период колебаний T математического маятника, длина l которого равна сумме длин l_1 и l_2 маятников с периодами колебаний $T_1 = 6,0$ с и $T_2 = 8,0$ с соответственно.

■ **929.** Период колебаний одного математического маятника $T_1 = 6,0$ с, другого — $T_2 = 8,0$ с. Определите циклическую частоту ω колебаний маятника, длина которого равна разности длин данных маятников.

■ **930.** Один математический маятник совершил $n_1 = 20$ колебаний за некоторый промежуток времени, а другой за то же время — $n_2 = 16$ колебаний. Разность длин маятников $\Delta l = 10$ см. Определите длину l_2 второго маятника.

■ **931.** Как и во сколько раз изменится период колебаний T математического маятника длиной $l = 1,0$ м при перемещении его точки подвеса: а) вверх с ускорением, модуль которого $a = 1,2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; б) вниз с тем же по модулю ускорением?

■ **932.** Определите период T малых колебаний математического маятника длиной $l = 15$ см, подвешенного к потолку вагона, движущегося горизонтально с ускорением, модуль которого $a = 5,0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

■ **933.** В неподвижном лифте маятник имеет период колебаний $T = 1,0$ с. Определите ускорение \vec{a} , с которым движется лифт, если период колебаний маятника стал $T_1 = 1,2$ с.

■ **934.** Если математический маятник отклонить от вертикали на угол $\alpha = 60^\circ$ и отпустить без начальной скорости, то он пройдет положение равновесия со скоростью, модуль которой $v = 5,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Определите период T малых колебаний этого маятника вблизи положения равновесия.

■ **935.** На какой промежуток времени Δt отстанут за сутки маятниковые часы вследствие вращения Земли, если их перенести с полюса на экватор? Считайте, что на полюсе часы шли точно. Радиус Земли $R_3 = 6380$ км.

■ **936.** Период колебаний маятника на экваторе Земли $T = 4,00$ с. Определите период T_1 этого маятника на Северном полюсе. Радиус Земли $R_3 = 6380$ км.

■ **937.** Определите промежуток времени Δt , на который отстанут маятниковые часы за сутки, если их поднять на высоту $h = 5,0$ км над поверхностью Земли. Радиус Земли $R_3 = 6380$ км.

■ **938.** На какую часть необходимо уменьшить длину l математического маятника, чтобы период его колебаний T на высоте $h = 10$ км над поверхностью Земли был равен периоду его колебаний на поверхности? Радиус Земли $R_3 = 6380$ км.

■ **939.** В кабине аэростата установлены маятниковые часы. Аэростат начинает опускаться без начальной скорости с ускорением, модуль которого $a = 0,25 \frac{m}{c^2}$. Определите, на какую высоту h опустится

аэростат за тот промежуток времени, когда по маятниковым часам пройдет $\Delta t = 120$ с.

■ **940.** Определите, какую часть t периода колебаний T математический маятник находится в пределах $x_0 = \pm 1,0$ см от положения равновесия, если амплитуда его колебаний $A = 2,0$ см.

■ **941.** Определите, какую долю k полной энергии математического маятника составляет потенциальная (кинетическая) энергия в случае, когда его смещение равно половине амплитуды.

■ **942.** При переносе математического маятника с Земли на другую планету период его колебаний увеличился в $n = 4$ раза. Определите отношение масс $\frac{M_1}{M_2}$ Земли и планеты, считая их радиусы одинаковыми.

■ **943.*** Математический маятник представляет собой положительно заряженный металлический шарик, висящий на длинной шелковой нити. Определите, как изменится период колебаний маятника, если поместить отрицательно заряженный шарик: а) внизу, на одной вертикали с точкой подвеса; б) в точке подвеса; в) сбоку, на одном уровне с колеблющимся шариком, так, что он, качаясь, не может прикоснуться к отрицательно заряженному шарик.

Пружинный маятник

Колебательная система, состоящая из тела с прикрепленной к нему пружиной, называется **пружинным маятником**. Его период колебаний:

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

■ **944.** Период колебаний пружинного маятника $T = 0,10$ с. Определите жесткость k невесомой пружины, если масса груза $m = 40$ г.

■ **945.** Определите период колебаний T паутины жесткостью $k = 0,20 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$, если в нее попадет насекомое массой $m = 0,20$ г. Считай-

те, что после попадания в паутину насекомое замирает.

■ **946.** Таракан массой $m = 0,40$ г попался в сеть к пауку. Паутина колеблется с частотой $\nu = 20$ Гц. Определите жесткость k этой паутины. Определите частоту ν_1 колебаний паутины, если в нее попадет насекомое массой $m = 0,10$ г.

■ **947.** Как изменится период T колебаний груза на невесомой пружине, если массу груза уменьшить в $n = 9$ раз?

■ **948.** Как изменится период T колебаний груза на невесомой пружине, если жесткость пружины увеличить в $n = 4$ раза?

■ **949.** Определите жесткость k невесомой пружины, если известно, что при малых колебаниях груза с амплитудой $A = 4,0$ см максимальное значение кинетической энергии груза $W_k = 0,50$ Дж.

■ **950.** К легкой пружине подвешивают поочередно два различных груза. При этом период гармонических колебаний первого груза T_1 , второго — T_2 . Определите период T гармонических колебаний системы, если к пружине подвесить оба груза вместе.

■ **951.** Определите период T колебаний груза массой m на двух невесомых одинаковых пружинах жесткостью k , соединенных последовательно.

■ **952.** Определите период T колебаний груза массой m на двух невесомых одинаковых пружинах жесткостью k , соединенных параллельно.

■ **953.** Груз на конце невесомой пружины колеблется с частотой $\nu_1 = 0,60$ Гц. Когда к нему прикрепляют дополнительный груз массой $\Delta m = 500$ г, частота колебаний становится $\nu_2 = 0,40$ Гц. Определите массу m груза.

■ **954.** При посадке человека массой $m = 70$ кг в автомобиль массой $M = 1,2$ т рессоры «проседают» на $\Delta l = 1,2$ см. Определите частоту ν колебаний кузова автомобиля с пассажиром при наезде на ухаб.

■ **955.** Определите смещение x пружинного маятника в момент, когда его кинетическая энергия равна потенциальной. Амплитуда колебаний маятника A . Пружину считать невесомой.

■ **956.** Полная энергия колебаний первого пружинного маятника в $n = 10$ раз больше, чем второго, а жесткость пружины первого маятника в $p = 4$ раза больше, чем второго. Определите отношение амплитуд $\frac{A_1}{A_2}$ колебаний этих систем. Пружины считать невесомыми.

■ **957.** К легкой пружине подвешен груз. Определите жесткость k пружины, если при колебаниях груза с амплитудой $A = 5,0$ см максимальное значение кинетической энергии груза $W_k = 1,0$ Дж.

■ **958.** К свободному концу легкой вертикальной пружины, прикрепленной к потолку, осторожно подвешивают груз и отпускают без начальной скорости. Амплитуда возникающих колебаний $A = 40$ мм. Определите период T колебаний и модуль максимальной скорости v_{\max} движения груза.

■ **959.** Пружинный маятник, расположенный на гладкой горизонтальной поверхности, вывели из положения равновесия и отпустили. Определите, через какую часть периода колебаний маятника кинетическая энергия подвешенного груза будет равна потенциальной энергии деформированной пружины. Пружину считать невесомой.

■ **960.** Груз массой m подвешен на вертикальной невесомой пружине. Покажите, что длина пружины в состоянии равновесия на $\Delta l = \frac{mg}{k}$

больше, чем в случае, когда система расположена на гладкой горизонтальной поверхности. Докажите, что для возвращающей силы справедлива формула $F_x = -kx$ и в случае вертикально расположенной пружины, где x — смещение груза от положения равновесия.

■ **961.** При пожаре человек массой $m = 60$ кг прыгает из окна с высоты $h = 10$ м на специальную сетку, растягиваемую пожарными. При этом сетка прогибается на $\Delta l = 0,80$ м. Определите прогиб Δl_1

сетки при прыжке с высоты $H = 25$ м. Найдите также прогиб Δl_2 сетки в случае, если человек просто лежит на ней.

■ **962.** К грузу массой m , лежащему на гладком горизонтальном столе, прикреплены с противоположных сторон две легкие пружины жесткостями k_1 и k_2 . Вторые концы пружин закреплены. Груз смещают от положения равновесия и отпускают. В этот момент времени первая пружина оказывается растянутой на Δx_1 , а вторая — сжатой на Δx_2 . Определите период T и амплитуду A колебаний груза.

■ **963.** Для возбуждения колебаний груз массой m прикрепили к нижнему концу недеформированной невесомой пружины жесткостью k и отпустили. Затем к грузу в верхней точке траектории без толчка прикрепили дополнительный груз такой же массой. Определите амплитуду A результирующих колебаний.

■ **964.** Для возбуждения колебаний груз массой m прикрепили к нижнему концу недеформированной невесомой пружины жесткостью k и отпустили. Затем к грузу в нижней точке траектории без толчка прикрепили груз такой же массой. Определите амплитуду A результирующих колебаний.

■ **965.*** Груз массой $m = 0,240$ кг, подвешенный на конце невесомой пружины, выводят из положения равновесия и отпускают без толчка. Он совершает $n = 4$ колебания в секунду с амплитудой $A = 0,24$ м. Определите: а) модуль его скорости v при прохождении положения равновесия; б) модуль его скорости v_1 на расстоянии $l = 0,20$ м от положения равновесия; в) полную энергию W системы; г) координату груза как функцию времени $x(t)$.

■ **966.*** К концу горизонтально расположенной невесомой пружины жесткостью $k = 48 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ прикреплен брусок массой $m = 0,75$ кг, находящийся на гладкой горизонтальной поверхности. В момент времени $t_0 = 0$ по бруску ударяют молотком, сообщая бруску начальную скорость, модуль которой $v = 1,24 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите: а) период T и частоту ν колебаний бруска; б) амплитуду колебаний A бруска; в) модуль максимального ускорения a_{max} бруска; г) координату бруска как функцию времени $x(t)$; д) полную энергию W системы; е) кинетическую энергию $W_{\text{к}}$ бруска при $x = 0,30$ А.

Колебательные системы

Собственные (свободные) колебания — это колебания, происходящие в отсутствие внешних воздействий на систему. Они происходят со строго определенной частотой, называемой **частотой собственных колебаний** системы.

Вынужденными называются колебания системы, вызываемые действием на нее периодических внешних сил.

Резонансом называется явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний, когда частота периодической внешней силы совпадает с собственной частотой колебаний системы.

■ **967.** Математический маятник, представляющий собой железный шарик массой m , висящий на длинной нити, имеет период колебаний T_0 . Если ниже шарика расположить широкий магнит, то период колебаний шарика станет T ($T < T_0$). Определите модуль силы F , действующей на шарик со стороны магнита, считая ее постоянной.

■ **968.** Маятник Галилея представляет собой математический маятник длиной L , совершающий колебания вблизи вертикальной стенки, в которую на расстоянии l под точкой подвеса вбит гвоздь (рис. 138). Определите период T малых колебаний маятника Галилея.

■ **969.** Два маленьких упругих шарика одинаковой массы подвешены на невесомых нитях длинами $2l$ и $\frac{l}{2}$ так, что нити параллельны,

а шарики соприкасаются (рис. 139). Один из шариков отклонили на небольшой угол и отпустили. Сколько раз n шарики столкнутся за достаточно большой промежуток времени Δt ?

■ **970.** Найдите период колебаний T идеальной жидкости плотностью ρ , налитой в U-образную

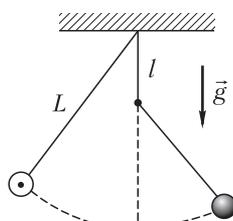


Рис. 138

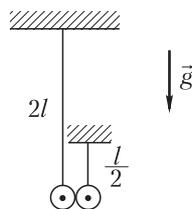


Рис. 139

трубку площадью поперечного сечения S до высоты h . Определите аналог жесткости k пружины в этом случае.

- **971.** Определите период T колебаний шайбы, скользящей с высоты h_0 без трения вниз и вверх по двум гладким наклонным плоскостям, расположенным под углами α и β к горизонту (рис. 140).

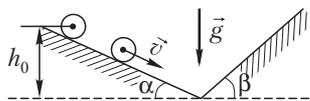


Рис. 140

- **972.** Определите период T колебаний плавающего в воде соснового кубика с ребром $a = 3,0$ см. Плотность сосны $\rho_c = 550 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

- **973.** В открытые сообщающиеся сосуды площадью поперечного сечения S и $2S$ налита ртуть массой m . Столбик ртути в одном из сосудов вывели из положения равновесия, вследствие чего ртуть начала колебаться. Определите период T колебаний ртути. Трением пренебречь.

- **974.** Подставка совершает гармонические колебания в вертикальном направлении с амплитудой $A = 0,30$ м. Определите наименьший период T_{\min} колебаний, при котором тело, лежащее на подставке, еще не будет отрываться от нее.

- **975.** Определите период T малых вертикальных колебаний стакана массой $m = 50$ г и площадью поперечного сечения $S = 10$ см², плавающего в воде. Трением пренебречь.

- **976.** Деревянный плот массой $M = 400$ кг плавает в озере. Когда на него встает человек массой $m = 80$ кг, плот погружается на $d = 6,0$ см. Определите: частоту ν колебаний плота после того, как человек покинет плот; полную энергию W колебаний.

- **977.*** Определите период T колебаний деревянного бруска высотой l , плавающего в вертикальном положении на границе раздела двух жидкостей плотностями ρ_1 и ρ_2 ($\rho_1 > \rho_2$), если он делится этой границей на две равные части. Трением пренебречь.

- **978.*** Найдите периоды T колебаний пружинных маятников, изображенных на рисунке 141 (а – в). Считайте, что в положении равновесия все пружины не деформированы. Трением пренебречь. Пружины считать невесомыми.

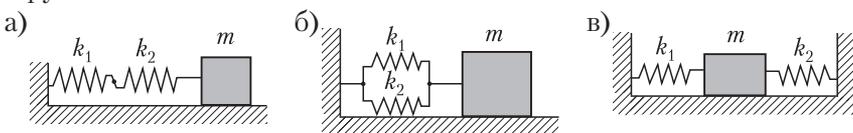


Рис. 141

■ **979.*** Маятник Жуковского представляет собой доску массой m , лежащую на двух катках, вращающихся с достаточно большой угловой скоростью навстречу друг другу. Расстояние между осями катков l (рис. 142). Найдите период T продольных колебаний доски на катках, если коэффициент трения в системе μ .

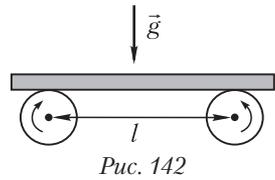


Рис. 142

■ **980.*** Найдите период колебаний T «двойного» математического маятника, изображенного на рисунке 143. Стержень, на котором закреплены грузы массами m_1 и m_2 на расстояниях l_1 и l_2 от оси вращения соответственно, считать невесомым.

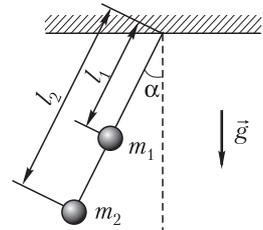


Рис. 143

■ **981.*** Вращательный маятник представляет собой однородное колесо массой M и радиусом R с горизонтально расположенной осью, к ободу которого прикреплен груз массой m (рис. 144). Найдите циклическую частоту ω колебаний вращательного маятника в поле тяжести Земли. Трением пренебречь.

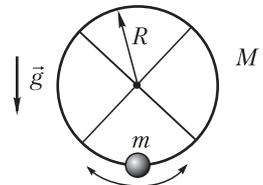


Рис. 144

■ **982.*** Механический осциллятор состоит из груза массой m , пружины жесткостью k и тонкостенного цилиндрического неподвижного блока массой M (рис. 145). Считая нить и пружину невесомыми, найдите период T колебаний груза.

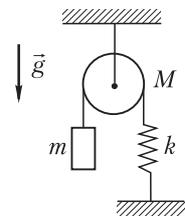


Рис. 145

■ **983.*** Предположим, что сквозь Землю прорыт узкий тоннель от одного ее полюса к другому. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найдите время полета τ камня по этому тоннелю от одного полюса Земли до другого. Радиус Земли $R_3 = 6400$ км.

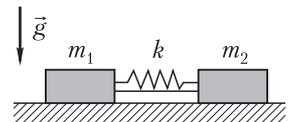


Рис. 146

■ **984.*** «Двойной» пружинный маятник состоит из двух брусков массами m_1 и m_2 , находящихся на гладкой горизонтальной плоскости и соединенных невесомой пружиной жесткостью k и невесомой нитью (рис. 146). Найдите период T колебаний маятника, возникших после пережигания нити.

Механические волны

Механической волной называется процесс распространения колебаний в упругой среде, который сопровождается переносом энергии от одной точки среды к другой.

Длина волны — расстояние, пройденное волной в среде за промежуток времени, равный периоду колебаний частиц:

$$\lambda = vT.$$

Скорость распространения волны — это скорость распространения гребня волны или любой другой точки волны с определенной фазой, модуль которой

$$v = \lambda\nu.$$

Волна называется **продольной**, если колебания частиц среды происходят вдоль направления распространения волн.

Волна называется **поперечной**, если частицы среды колеблются в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения волны.

Упругие волны, вызывающие у человека слуховые ощущения, называются **звуковыми волнами** или просто **звуком**.

■ **985.** Колебания в продольной волне совершаются:

- а) перпендикулярно направлению распространения волны;
- б) в любом направлении;
- в) вдоль направления распространения волны;
- г) под острым углом к направлению распространения волны.

■ **986.** Колебания в поперечной волне совершаются:

- а) перпендикулярно направлению распространения волны;
- б) в любом направлении;
- в) вдоль направления распространения волны;
- г) под острым углом к направлению распространения волны.

■ **987.** Длина волны λ связана с частотой колебаний ν и модулем скорости распространения волны v соотношением:

$$\text{а) } \lambda = \frac{v}{\nu}; \quad \text{б) } \lambda = \frac{v}{\nu}; \quad \text{в) } \lambda = v\nu; \quad \text{г) } \lambda = \frac{v}{2\pi\nu}.$$

■ **988.** Длина волны λ связана с периодом колебаний T и модулем скорости распространения волны v соотношением:

$$\text{а) } \lambda = \frac{T}{v}; \quad \text{б) } \lambda = \frac{v}{T}; \quad \text{в) } \lambda = Tv; \quad \text{г) } \lambda = \frac{v}{2\pi T}.$$

■ **989.** Определите модуль скорости v распространения звуковых волн в воде, если период колебаний источника волн $T = 5,0$ мс, а длина звуковой волны в воде $\lambda = 7,1$ м.

■ **990.** Наблюдатель, находящийся на расстоянии $l = 2,0$ км от орудия, услышал звук выстрела из орудия через промежуток времени $\Delta t = 6,0$ с после вспышки при выстреле. Определите модуль скорости v распространения звука в воздухе.

■ **991.** Определите ширину l реки, если известно, что путешественник услышал эхо своего голоса (после отражения от скалы на противоположном берегу) через промежуток времени $\Delta t = 1,50$ с. Скорость звука $v = 340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

■ **992.** Определите глубину H моря в данной точке, если направленный вертикально вниз сигнал ультразвукового гидролокатора возвратился через промежуток времени $\Delta t = 0,60$ с. Модуль скорости распространения ультразвука в воде $v = 1,5 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

■ **993.** Определите, во сколько раз уменьшится длина звуковой волны при переходе из жидкости в воздух, если модуль скорости распространения звука в жидкости $v_1 = 1360 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

■ **994.** Определите длину λ звуковой волны частотой $\nu = 300$ Гц, модуль скорости распространения которой $v = 340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

■ **995.** Определите длину волны λ , если за промежуток времени, в течение которого частица среды совершает $N = 140$ колебаний, волна проходит расстояние $l = 110$ м.

■ **996.** Всплеск от падения в воду камня, упавшего с вершины скалы без начальной скорости, слышен через промежуток времени $\Delta t = 5,0$ с. Найдите высоту h скалы. Спротивлением воздуха пренебречь.

■ **997.** При взрыве на поверхности моря звук распространяется в воде и в воздухе. Определите разницу во времени Δt между приходами

двух сигналов на расстоянии $l = 1,5$ км от места взрыва. Какой сигнал будет услышан раньше?

■ **998.** Почему человек, впервые услышавший свой голос в записи, как правило, не узнает его, тогда как чужие голоса узнает легко? Слышат ли певцы свой голос таким, каким слышим мы? Почему во время студийной записи альбома певец надевает наушники?

■ **999.** Выстрел произведен вертикально вверх. Определите модуль начальной скорости v_0 пули, если известно, что звук выстрела и пуля достигают высоты $h = 900$ м одновременно. Сопротивлением воздуха пренебречь.

■ **1000.** Органный тон длиной волны $\lambda = 6,71$ м звучит в течение промежутка времени $\Delta t = 2,00$ с. Определите количество N полных колебаний волны, происходящих за это время. Скорость звука в воздухе $v = 340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

■ **1001.** Волна от катера, проходящего по озеру, дошла до берега через промежуток времени $\Delta t = 2,0$ мин, причем расстояние между соседними гребнями оказалось $l = 1,5$ м, а промежуток времени между двумя последовательными ударами о берег $\Delta t_1 = 4,0$ с. Определите, на каком расстоянии L от берега проходил катер.

■ **1002.** При проверке стальной детали ультразвуковым дефектоскопом после излучения ультразвукового сигнала получены два отраженных сигнала — через промежутки времени $\Delta t_1 = 3,0 \cdot 10^{-4}$ с и $\Delta t_2 = 5,0 \cdot 10^{-4}$ с. Определите глубину h расположения дефекта и толщину d детали, если модуль скорости распространения ультразвука в стали $v = 5,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

44

Свободные электромагнитные колебания в контуре

Идеальным колебательным контуром или **LC-контуром** называется электрическая цепь, состоящая из конденсатора и катушки индуктивности.

Период электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре определяется **формулой Томсона**:

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

■ **1003.** Частота ν свободных электромагнитных колебаний в контуре, состоящем из конденсатора емкостью C и катушки индуктивностью L , определяется по формуле:

$$\text{а) } \nu = \sqrt{LC}; \quad \text{в) } \nu = 2\pi\sqrt{LC};$$

$$\text{б) } \nu = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad \text{г) } \nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

■ **1004.** Период T свободных электромагнитных колебаний в контуре, состоящем из конденсатора емкостью C и катушки индуктивностью L , определяется по формуле:

$$\text{а) } T = \sqrt{LC}; \quad \text{в) } T = 2\pi\sqrt{LC};$$

$$\text{б) } T = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad \text{г) } T = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

■ **1005.** Как изменится период T свободных электромагнитных колебаний в колебательном контуре, если емкость C конденсатора увеличить в $k = 4$ раза при неизменной индуктивности катушки?

■ **1006.** Как изменится период T свободных электромагнитных колебаний в колебательном контуре, если индуктивность L катушки уменьшить в $k = 9$ раз при неизменной емкости конденсатора?

■ **1007.** Как изменится энергия W свободных электромагнитных колебаний в колебательном контуре, если емкость C конденсатора увеличить в $k = 4$ раза при постоянной амплитуде колебаний заряда?

■ **1008.** Как изменится энергия W свободных электромагнитных колебаний в колебательном контуре, если индуктивность L катушки увеличить в $k = 16$ раз при неизменной амплитуде колебаний заряда?

■ **1009.** Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 100$ пФ и катушки индуктивностью $L = 10$ мГн. Определите период T и частоту ν свободных электромагнитных колебаний в контуре.

■ **1010.** Колебательный контур содержит конденсатор емкостью $C = 2,6$ пФ и катушку индуктивностью $L = 12$ мкГн. Определите количество N колебаний, произошедших в этом контуре за промежуток времени $\Delta t = 2,0$ мс.

■ **1011.** Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 24$ мГн и конденсатора емкостью $C = 4,0$ мкФ. Определите циклическую частоту ω свободных электромагнитных колебаний в контуре.

■ **1012.** Период свободных электромагнитных колебаний в контуре $T = 0,10$ мс. Определите индуктивность L катушки контура, если емкость конденсатора $C = 0,50$ мкФ.

■ **1013.** Определите, как изменяется частота ν и период T свободных колебаний в колебательном контуре, если индуктивность контура увеличить в $n = 16$ раз, а емкость уменьшить в $k = 4$ раза.

■ **1014.** В радиотехнике используют электромагнитные колебания частотами от $\nu_1 = 100$ кГц до $\nu_2 = 100$ ГГц. Определите диапазон изменения периодов T этих колебаний.

■ **1015.** В каких пределах должна изменяться индуктивность L колебательного контура, чтобы в нем происходили колебания с частотами от $\nu_1 = 200$ Гц до $\nu_2 = 500$ Гц? Емкость конденсатора $C = 100$ мкФ.

■ **1016.** На какой диапазон частот рассчитан колебательный контур, если его индуктивность $L = 3,0$ мГн, а емкость может изменяться от $C_1 = 100$ пФ до $C_2 = 800$ пФ?

■ **1017.** Колебательный контур радиоприемника содержит катушку с переменной индуктивностью от $L_1 = 20$ мкГн до $L_2 = 500$ мкГн и конденсатор с переменной емкостью от $C_1 = 50$ пФ до $C_2 = 2000$ пФ. Определите диапазон частот $\Delta\nu$ радиоволн, которые может принимать данный контур.

■ **1018.** Колебательные контуры содержат конденсаторы емкостями $C_1 = 100$ мкФ и $C_2 = 800$ пФ и катушки индуктивностями $L_1 = 200$ мкГн и $L_2 = 500$ мкГн соответственно. Определите, как необходимо изменить емкость C_1 или индуктивность L_2 , чтобы контуры были настроены в резонанс.

■ **1019.** Колебательный контур содержит катушку индуктивностью $L = 5,0$ мГн и плоский воздушный конденсатор, состоящий из двух пластинок в виде дисков радиусами $R = 1,5$ см, расположенных на одной оси на расстоянии $d = 0,40$ мм друг от друга. Определите период T собственных колебаний контура. Во сколько раз он изменится, если конденсатор заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ ?

■ **1020.** Колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности и конденсатора с воздушным диэлектриком, имеет резонансную частоту $\nu_1 = 41,405$ кГц. После того как контур поместили под вакуумный колпак и откачали воздух, резонансная частота стала $\nu_2 = 41,418$ кГц. Определите по этим данным диэлектрическую проницаемость ϵ воздуха.

■ **1021.** Колебательный контур состоит из соленоида длиной $l = 5,0$ см, содержащего $N = 500$ витков, площадью поперечного сечения $S_1 = 2,5$ см² и плоского конденсатора с площадью пластин $S_2 = 25$ см² каждая и расстоянием между ними $d = 20$ мм. Определите частоту ν собственных колебаний в контуре.

■ **1022.** В колебательном контуре с конденсатором емкостью $C_1 = 100$ мкФ частота собственных колебаний $\nu_1 = 400$ Гц. Определите емкость C_2 конденсатора, подключенного параллельно конденсатору в контуре, если после его подключения частота в контуре стала $\nu_2 = 100$ Гц.

■ **1023.** Частота собственных колебаний в колебательном контуре $\nu_1 = 60$ кГц, а при замене конденсатора — $\nu_2 = 80$ кГц. Определите частоты колебаний ν_3 и ν_4 в контурах при параллельном и последовательном соединении конденсаторов с той же катушкой индуктивности.

■ **1024.** Колебательный контур с конденсатором емкостью $C_1 = 10$ мкФ настроен на частоту $\nu_1 = 200$ Гц. Определите емкость конденсатора C_2 , если при подключении его параллельно первому частота колебаний в контуре становится $\nu_2 = 100$ Гц.

■ **1025.** Определите начальную частоту ν_0 колебаний контура, если при подключении к исходному конденсатору конденсатора емкостью в 4 раза большей частота контура уменьшилась на 200 Гц.

■ **1026.** В колебательный контур последовательно с исходным конденсатором подключили конденсатор, емкость которого в 2 раза меньше емкости первого. Определите, во сколько раз n увеличится частота собственных колебаний контура.

■ **1027.** Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 5,0$ мкГн и двух конденсаторов емкостью $C = 2,5$ мФ каждый. Определите период T колебаний в контуре, если конденсаторы соединены: а) параллельно; б) последовательно.

■ **1028.** В колебательном контуре с конденсатором емкостью C_1 частота собственных колебаний $\nu_1 = 40$ МГц, а с конденсатором емкостью $C_2 - \nu_2 = 60$ МГц. Определите частоту ν колебаний в контуре, если конденсаторы соединены: а) последовательно; б) параллельно.

■ **1029.** Два конденсатора емкостью $C = 5,0$ мкФ каждый соединили параллельно и замкнули на катушку индуктивностью $L = 10$ мкГн. Определите максимальную силу тока I_{\max} в катушке, если в начальный момент времени один из конденсаторов был заряжен до напряжения $U_{\max} = 50$ В.

■ **1030.** Два конденсатора емкостью $C = 10$ мкФ каждый соединили параллельно и замкнули на катушку индуктивностью $L = 5,0$ мкГн. Определите максимальную силу тока I_{\max} в катушке, если в начальный момент времени один из конденсаторов был заряжен до напряжения $U_{\max} = 20$ В.

45

Переменный электрический ток

Действующим (эффективным) значением силы переменного тока называется сила такого постоянного тока, который, проходя по резистору сопротивлением R в электрической цепи, выделяет в единицу времени такое же количество теплоты, что и данный переменный ток:

$$I_d = \frac{I_0}{\sqrt{2}}.$$

Действующее значение напряжения:

$$U_{\text{д}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}.$$

Сопротивление R резистора в цепи переменного тока, на котором происходит превращение электрической энергии во внутреннюю энергию резистора, называется **активным** или **омическим** сопротивлением.

■ **1031.** Действующее значение силы тока $I_{\text{д}}$ связано с амплитудным значением I_0 соотношением:

$$\text{а) } I_{\text{д}} = I_0; \quad \text{б) } I_{\text{д}} = 2I_0; \quad \text{в) } I_{\text{д}} = \sqrt{2}I_0; \quad \text{г) } I_{\text{д}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}.$$

■ **1032.** Сила тока в цепи изменяется со временем по закону $I = 5\sin 10t$ (А). Частота ν электромагнитных колебаний равна:

$$\text{а) } \frac{5}{\pi} \text{ Гц}; \quad \text{б) } 10 \text{ Гц}; \quad \text{в) } 10t \text{ Гц}; \quad \text{г) } 10\pi \text{ Гц}.$$

■ **1033.** Напряжение в цепи изменяется со временем по закону $U = 5\sin 20t$ (В). Частота ν электромагнитных колебаний равна:

$$\text{а) } 5 \text{ Гц}; \quad \text{б) } 10 \text{ Гц}; \quad \text{в) } \frac{10}{\pi} \text{ Гц}; \quad \text{г) } 10\pi \text{ Гц}.$$

■ **1034.*** Напряжение в цепи изменяется по закону $U(t) = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \sin 20t$ (В). Действующее значение напряжения $U_{\text{д}}$ равно:

$$\text{а) } U_0; \quad \text{б) } \sqrt{2}U_0; \quad \text{в) } \frac{U_0}{\sqrt{2}}; \quad \text{г) } \frac{U_0}{2}.$$

■ **1035.** Вольтметр, включенный в цепь переменного тока, показывает $U = 220$ В, а амперметр — $I = 10$ А. Рассчитайте амплитудные значения силы тока I_0 и напряжение U_0 в цепи.

■ **1036.** В медицине применяются переменные токи высокой частоты, периоды колебаний которых лежат в диапазоне от $T_1 = 6,7$ мкс до $T_2 = 33$ нс. Определите диапазон частот $\Delta\nu$ этих токов.

■ **1037.** Сила тока в колебательном контуре изменяется по закону $I(t) = 0,25 \cos 200\pi t$ (А). Индуктивность катушки колебательного контура $L = 25$ мГн. Определите емкость C конденсатора этого контура.

■ **1038.** Конденсатор емкостью C , заряженный до напряжения U , разряжается на катушку индуктивностью L . Какое количество теплоты Q выделится в катушке к тому моменту, когда сила тока в ней достигнет наибольшего значения I_{\max} ?

■ **1039.** Конденсатор емкостью $C = 30$ мкФ зарядили от источника постоянного тока с ЭДС $\mathcal{E} = 4,8$ В и затем, отключив от источника, подсоединили к катушке индуктивностью $L = 4,0$ мГн. Пренебрегая активным сопротивлением катушки, определите действующее значение силы тока I_d в контуре.

■ **1040.** Напряжение в городской электрической сети изменяется со временем по закону $U(t) = 220 \cos 100\pi t$ (В). Определите: частоту ν колебаний тока в сети, амплитудное U_0 и действующее U_d значения напряжения.

■ **1041.** Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 200$ пФ и катушки индуктивностью $L = 5,0$ мГн. Определите амплитуду силы тока I_0 , если амплитуда напряжения $U_0 = 400$ В.

■ **1042.** Почему для освещения не применяют переменный ток частотой 15 Гц?

■ **1043.** Определите количество теплоты Q , которое выделится за промежуток времени $\Delta t = 60$ с в нагревательном элементе электрической плитки активным сопротивлением $R = 40$ Ом, если плитка включена в сеть переменного тока, напряжение которого, измеренное в вольтах, изменяется со временем по закону $U(t) = 180 \sin \omega t$.

■ **1044.** Определите отношение энергии магнитного поля катушки в идеальном колебательном контуре к энергии электростатического поля конденсатора через промежутки времени $\Delta t_1 = \frac{1}{8} T$

и $\Delta t_2 = \frac{3}{4} T$, где T — период электромагнитных колебаний в контуре.

В начальный момент заряд конденсатора максимален.

■ **1045.** В идеальном колебательном контуре, состоящем из конденсатора емкостью C и катушки индуктивностью L , в момент $t_0 = 0$ замыкания ключа напряжение на обкладках конденсатора U_0 . Установите зависимость энергии конденсатора от времени $W_C(t)$. Найдите энергию конденсатора W_{C1} в момент времени $t_1 = \frac{5}{8} T$.

■ **1046.** В идеальном колебательном контуре с конденсатором емкостью $C = 20$ пФ действующее значение напряжения $U_d = 50$ В. Опре-

делите максимальные значения энергии электростатического поля $W_{\text{э max}}$ в конденсаторе и энергии магнитного поля $W_{\text{м max}}$ в катушке.

■ **1047.** Определите период T электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре, если максимальная сила тока в катушке I_0 , а максимальный заряд на обкладках конденсатора q_0 .

■ **1048.** К источнику тока подключены соединенные параллельно конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ и катушка индуктивностью $L = 40$ мГн. В момент отключения источника тока напряжение на конденсаторе $U_0 = 50$ В, а сила тока в катушке $I_0 = 2,0$ А. Определите заряд q на конденсаторе, когда сила тока в катушке $I = 1,0$ А. Потерями на нагревание проводов пренебречь.

46

Трансформаторы

Трансформатор — электромагнитное устройство, преобразующее переменный ток одного напряжения в переменный ток той же частоты, но другого напряжения. Принцип действия трансформатора основан на явлении электромагнитной индукции.

Тип трансформатора определяется **коэффициентом трансформации**, который равен отношению числа витков первичной обмотки к числу витков вторичной обмотки трансформатора:

$$k = \frac{N_1}{N_2}.$$

Если $k > 1$, то трансформатор понижающий, если $k < 1$ — повышающий.

■ **1049.*** Определите напряжение U_1 на концах первичной обмотки трансформатора, имеющей $N_1 = 2000$ витков, если напряжение на концах вторичной обмотки, имеющей $N_2 = 5000$ витков, $U_2 = 50$ В. Активными сопротивлениями обмоток трансформатора пренебречь.

■ **1050.*** Определите силу тока I_2 во вторичной обмотке трансформатора, напряжение на концах которой $U_1 = 220$ В, если сила тока

в первичной обмотке $I_1 = 1,5$ А, а напряжение на ее концах $U_2 = 20$ В. Активными сопротивлениями обмоток трансформатора пренебречь.

■ **1051.*** Выходное напряжение в трансформаторе $U = 12,0$ В, а сила тока в первичной обмотке $I = 10$ А. Определите, какой это трансформатор — повышающий или понижающий. Во сколько раз n изменяется напряжение? Активными сопротивлениями обмоток трансформатора пренебречь. Передаваемая через трансформатор мощность $P = 260$ Вт.

■ **1052.*** Первичная обмотка трансформатора находится под напряжением $U_1 = 220$ В, и по ней проходит ток силой $I_1 = 0,50$ А. Во вторичной обмотке сила тока $I_2 = 11$ А и напряжение $U_2 = 9,5$ В. Определите КПД η трансформатора.

■ **1053.*** Понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации $k = 4,0$ включен в сеть напряжением $U_1 = 220$ В. Определите КПД η трансформатора, если потерями энергии в первичной обмотке можно пренебречь, а напряжение на вторичной обмотке $U_2 = 50$ В.

■ **1054.*** Трансформатор в режиме холостого хода повышает напряжение с $U_1 = 100$ В до $U_2 = 5,6$ кВ. На одну обмотку надели виток провода и присоединили его концы к вольтметру, который показал напряжение $U = 0,40$ В. Сколько витков N_1 и N_2 имеют обмотки трансформатора?

■ **1055.*** Первичная обмотка понижающего трансформатора включена в сеть напряжением $U_1 = 220$ В, и по ней проходит ток силой $I_1 = 0,37$ А. Напряжение на зажимах вторичной обмотки $U_2 = 40$ В, ее сопротивление $R_2 = 1,0$ Ом, сила тока во вторичной цепи $I_2 = 2,0$ А. Определите коэффициент трансформации k и КПД η трансформатора.

■ **1056.*** Первичная обмотка трансформатора имеет $N_1 = 2400$ витков. Определите количество витков N_2 во вторичной обмотке, если при силе тока в ней $I_2 = 1,20$ А необходимо передавать во внешнюю цепь мощность $P_2 = 24,0$ Вт. Напряжение в сети $U_1 = 380$ В. Активными сопротивлениями обмоток трансформатора пренебречь.

■ **1057.*** Трансформатор, первичная обмотка которого содержит $N_1 = 300$ витков, включен в сеть напряжением $U_1 = 220$ В. К вторичной обмотке трансформатора, имеющей $N_2 = 200$ витков, подключен резистор сопротивлением $R = 80$ Ом. Определите силу тока I_2 во вто-

ричной цепи, если напряжение на катушке $U_2 = 80$ В. Сопротивлением первичной обмотки пренебречь.

■ **1058.*** На симметричный железный сердечник намотаны две катушки (рис. 147). При включении первой катушки в сеть переменного тока в режиме холостого хода напряжение на клеммах второй катушки оказывается $U_2 = 14,8$ В. Если в ту же сеть в режиме холостого хода включить вторую катушку, то напряжение на клеммах первой будет $U_1 = 110$ В. Определите отношение витков катушек $\frac{N_1}{N_2}$. Счи-

тайте, что магнитный поток, создаваемый каждой катушкой, не выходит из сердечника и распределяется между его разветвлениями на две равные части.

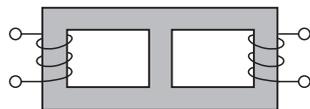


Рис. 147

47

Электромагнитные волны

Электромагнитными волнами называется распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле.

Электромагнитные волны являются поперечными, так как колебания напряженности \vec{E} и индукции \vec{B} происходят в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения волны.

Модуль скорости распространения электромагнитных волн в вакууме равен модулю скорости распространения света:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}.$$

■ **1059.** Метеорологическая радиолокационная станция излучает электромагнитные волны длиной $\lambda = 3,2$ см. Определите частоту ν , на которой работает эта станция.

■ **1060.** На какой частоте ν корабли передают сигнал бедствия SOS, если по международному соглашению длина соответствующей радиоволны должна быть $\lambda = 600$ м?

■ **1061.** Идеальный колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 5,0$ мГн и конденсатора емкостью $C = 1,8$ мкФ. Определите длину волны λ , на которую настроен контур.

■ **1062.** Идеальный колебательный контур радиоприемника настроен на частоту $\nu = 16$ МГц. Как необходимо изменить емкость C конденсатора контура, чтобы он был настроен на длину волны $\lambda = 50$ м?

■ **1063.** Радиоприемник настроен на радиостанцию, работающую на длине волны $\lambda_1 = 25$ м. Во сколько раз необходимо изменить емкость конденсатора в идеальном колебательном контуре радиоприемника, чтобы настроиться на длину волны $\lambda_2 = 31$ м?

■ **1064.** Идеальный колебательный контур, состоящий из воздушного конденсатора с двумя обкладками площадью $S = 100$ см² каждая и катушки индуктивностью $L = 1,0$ мкГн, резонирует на длину волны $\lambda = 20$ м. Определите расстояние d между обкладками конденсатора.

■ **1065.** Определите расстояние l от места удара молнии до места наблюдения грозового разряда, если звук грома раздался через промежуток времени $\Delta t = 6,2$ с после вспышки молнии $\left(v_{\text{зв}} = 340 \frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$.

■ **1066.*** Длительность импульса судовой радиолокационной станции при работе на частоте $\nu = 3,0$ ГГц равна $\tau = 0,40$ мкс. Определите количество N длин волн, содержащихся в излученном волновом цуге («отрезке» волны).

■ **1067.** Судовая радиолокационная станция имеет радиус действия $R = 100$ км. Определите максимальную частоту ν излучаемых такой станцией импульсов. Длительностью импульса пренебречь.

■ **1068.*** Определите максимально возможное число N импульсов, испускаемых радиолокатором за промежуток времени $\Delta t = 1,0$ с при обнаружении цели, находящейся на расстоянии $l = 40$ км. Длительностью импульса пренебречь.

■ **1069.** При изменении силы тока в катушке на величину $\Delta I = 1,0$ А за промежуток времени $\Delta t = 0,40$ с в ней возникает ЭДС $\mathcal{E} = 0,40$ мВ. Определите длину λ волны, излучаемой генератором, контур которого состоит из этой катушки и конденсатора емкостью $C = 14,1$ мкФ.

■ **1070.** Высота излучающей антенны телевизионного центра над уровнем Земли $h_1 = 250$ м. Антенна телевизора находится на высоте $h_2 = 15$ м. Определите максимальное расстояние l от передатчика

до приемника, на котором возможен уверенный прием телепередач. Радиус Земли $R_3 = 6400$ км.

■ **1071.*** Антенна телевизора, расположенная в пункте A , наряду с волной от станции, расположенной в пункте B , принимает электромагнитную волну, отраженную от железной крыши, расположенной в пункте C (рис. 148). Это приводит к раздвоению изображения. Определите расстояние d , на которое сдвинуты друг относительно друга изображения, если расстояние $AB = CB = l_1 = 40$ км, $CA = l_2 = 4,0$ км. Ширина экрана телевизора $h = 50$ см. Изображение содержит $N = 625$ строк, и в секунду передается $n = 25$ кадров.

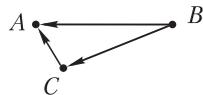


Рис. 148

ОПТИКА

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

48

Свет. Показатель преломления. Интерференция света

Под **светом** понимают электромагнитные волны с частотами от $1,5 \cdot 10^{11}$ Гц до $3 \cdot 10^{16}$ Гц (длины волн изменяются в диапазоне, соответствующем инфракрасному, видимому и ультрафиолетовому излучению).

Электромагнитные волны распространяются в вакууме с максимально возможной в природе скоростью переноса энергии —

$$c = 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Скорость распространения света в веществе определяется соотношением:

$$v = \frac{c}{n}.$$

Абсолютный показатель преломления вещества равен отношению модуля скорости света в вакууме к модулю скорости света в веществе:

$$n = \frac{c}{v}.$$

Длина волны λ_n в веществе определяется соотношением:

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n},$$

где λ — длина волны в вакууме, n — абсолютный показатель преломления вещества.

При переходе световой волны из вакуума в вещество или из одного вещества в другое **частота света остается неизменной**:

$$n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2 = \dots = \lambda,$$

где λ_1, λ_2 — длины световых волн в средах, λ — длина волны в вакууме.

Интерференция света — явление возникновения устойчивой во времени картины чередующихся максимумов и минимумов амплитуд результирующей волны при сложении двух (или нескольких) когерентных волн.

Оптическая разность хода волн $\delta = n_1 l_1 - n_2 l_2 = c \left(\frac{l_1}{v_1} - \frac{l_2}{v_2} \right)$ — раз-

ность расстояний, пройденных волнами с учетом их различных модулей скоростей v_1 и v_2 распространения в этих средах с показателями преломления n_1 и n_2 .

Условие максимумов интерференции:

$$\delta = m\lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Условие минимумов интерференции:

$$\delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Устойчивое во времени распределение амплитуд колебаний в пространстве при интерференции называется **интерференционной картиной**.

■ **1072.** Частота электромагнитного излучения ν , соответствующего желтому свету, при переходе из воздуха в воду:

- а) увеличивается;
- б) уменьшается;
- в) не изменяется;
- г) зависит от показателя преломления воды.

■ **1073.** Для модулей скоростей распространения в воде электромагнитных волн, соответствующих красному (v_k) и зеленому (v_3) свету, справедливо соотношение:

- а) $v_k > v_3$;
- б) $v_k < v_3$;
- в) $v_k = v_3 = c$;
- г) $v_k = v_3 \neq c$.

■ **1074.** Модули скоростей распространения в вакууме электромагнитных волн, соответствующих фиолетовому (v_ϕ) и зеленому (v_3) излучению:

- а) $v_\phi > v_3$;
- б) $v_\phi < v_3$;
- в) $v_\phi = v_3 = c$;
- г) $v_\phi = v_3 \neq c$.

■ **1075.** Какому числу N электромагнитных колебаний в секунду соответствует длина волны в вакууме $\lambda = 700$ нм?

■ **1076.** Определите частоту ν излучения оранжевого света, если длина его волны в вакууме $\lambda = 600$ нм.

■ **1077.** Определите периоды T колебаний электромагнитных волн с длинами от $\lambda_1 = 400$ нм до $\lambda_2 = 800$ нм, воспринимаемых глазом человека.

■ **1078.** Длина волны желтого света в вакууме $\lambda_0 = 590$ нм, а в некоторой жидкости — $\lambda = 442$ нм. Определите абсолютный показатель преломления n жидкости.

■ **1079.** Определите длину волны λ красного света в воде, если длина его волны в вакууме $\lambda_0 = 700$ нм, а показатель преломления $n = 1,33$.

■ **1080.** Определите оптическую разность хода Δ двух когерентных монохроматических волн в веществе, абсолютный показатель преломления которого $n = 1,8$, если геометрическая разность хода лучей $\Delta l = 2,0$ см.

■ **1081.** Монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 440$ нм переходит из стекла в вакуум. Определите увеличение длины волны $\Delta\lambda$, если абсолютный показатель преломления стекла $n = 1,45$.

■ **1082.** Определите отношение толщины одной пластинки к толщине другой $\frac{d_1}{d_2}$ пластинки из алмаза и стекла, если время распространения монохроматического света с одной и той же длиной волны в них одинаково. Показатель преломления стекла $n_2 = 1,60$.

■ **1083.** Длина волны, соответствующая красной линии спектра водорода, в вакууме $\lambda = 656,3$ нм. Определите длину волны λ_1 этого же света в стекле, если показатель преломления стекла $n = 1,60$.

■ **1084.** Установка в опыте Юнга содержит две щели, находящиеся на расстоянии $d = 0,045$ мм друг от друга. Определите расстояние h между интерференционными полосами для света с длиной волны $\lambda = 680$ нм на экране, находящемся от установки на $l = 2,0$ м.

■ **1085.** Найдите все длины волн света в интервале от $\lambda_1 = 600$ нм до $\lambda_2 = 800$ нм, которые будут максимально усилены в результате интерференции при разности хода лучей $\Delta = 1,5$ мкм.

■ **1086.** Найдите все длины волн света в интервале от $\lambda_1 = 400$ нм до $\lambda_2 = 600$ нм, которые будут максимально ослаблены в результате интерференции при разности хода лучей $\Delta = 1,5$ мкм.

■ **1087.** Микроволны с длиной волны $\lambda = 0,50$ мм падают на две щели, расстояние между которыми $d = 25$ мм. Распределение интенсивности излучения исследуется с помощью детектора микроволн, который перемещается вдоль экрана, расположенного на расстоянии $l = 15$ м от щелей. Опишите распределение интенсивности.

■ **1088.** Две узкие щели расположены так близко друг к другу, что расстояние между ними трудно установить прямым измерением. При освещении щелей светом с длиной волны $\lambda = 500$ нм оказалось, что на экране, расположенном на расстоянии $L = 4,0$ м от щелей, соседние светлые линии интерференционной картины отстоят друг от друга на $l = 1,0$ см. Определите расстояние d между щелями.

■ **1089.** В опыте Юнга расстояние между щелями $d = 0,10$ мм. Определите расстояние l между соседними светлыми линиями интерференционной картины на экране, отстоящем на расстоянии $L = 4,0$ м от щелей, при освещении щелей нормально падающим светом с длиной волны $\lambda = 500$ нм.

■ **1090.** Два точечных когерентных монохроматических источника света, находящихся на расстоянии $h = 1,0$ см друг от друга, расположены так, что соединяющая их линия параллельна плоскости экрана и отстоит от него на $l = 4,0$ м. Определите длину λ световой волны, если расстояния между соседними интерференционными максимумами $\Delta x = 0,20$ мм.

■ **1091.** Белый свет, падающий из воздуха нормально на мыльную пленку с показателем преломления $n = 1,33$ и отраженный от нее, дает в видимом спектре интерференционный максимум на длине волны $\lambda_1 = 630$ нм. Известно, что ближайший интерференционный минимум того же порядка находится на длине волны $\lambda_2 = 473$ нм. Определите толщину d мыльной пленки, считая ее постоянной.

■ **1092.** Две узкие щели, расположенные на расстоянии $d = 2,0$ мм друг от друга, освещаются красным светом с длиной волны $\lambda = 750$ нм. Определите расстояние a от центра экрана до первых световых полос, получаемых на экране. Экран отстоит на $l = 2,0$ м от щелей и расположен параллельно им.

■ **1093.*** Собирающую линзу с фокусным расстоянием $F = 40$ см, диаметр которой $D = 4,0$ см, разрезали пополам и раздвинули на $h = 4,0$ мм, а щель между половинками закрыли. Определите, на каком расстоянии l от линзы можно наблюдать интерференционную картину, если точечный источник находится на расстоянии $d = 80$ см от линзы.

Дифракция света

Дифракционной решеткой называют оптический прибор, предназначенный для разложения света в спектр и точного измерения длин волн. Он состоит из большого числа равноотстоящих параллельных штрихов, нанесенных на стеклянную или металлическую поверхность.

При нормальном падении излучения на решетку условие возникновения главных дифракционных максимумов, наблюдаемых под углами θ , имеет вид:

$$d \sin \theta = m\lambda. \quad (1)$$

Здесь d — постоянная решетки, или ее период, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ — порядок максимума или порядок спектра, λ — длина волны падающего излучения.

■ **1094.** Одна дифракционная решетка содержит $20 \frac{\text{штр}}{\text{мм}}$, другая —

$100 \frac{\text{штр}}{\text{мм}}$. При прочих равных условиях спектр на экране:

- а) более узкий дает первая решетка;
- б) более узкий дает вторая решетка;
- в) одинаково узкий дадут обе решетки;
- г) не зависит от числа штрихов.

■ **1095.** Дифракционная решетка с периодом d освещается нормально падающим световым пучком с длиной волны λ . Угол θ , под которым наблюдается второй дифракционный максимум, определяется выражением;

- | | |
|---|---|
| а) $\cos \theta = \frac{2d}{\lambda}$; | в) $\cos \theta = \frac{2\lambda}{d}$; |
| б) $\sin \theta = \frac{\lambda}{2d}$; | г) $\sin \theta = \frac{2\lambda}{d}$. |

■ **1096.** Определите длину волны λ монохроматического излучения, падающего на дифракционную решетку с периодом $d = 0,10$ мм

перпендикулярно ее поверхности, если второй дифракционный максимум наблюдается под углом $\theta = 30^\circ$.

■ **1097.** На экране, расположенном на расстоянии $l = 1,2$ м от дифракционной решетки с периодом $d = 0,020$ мм, первый максимум находится на расстоянии $h = 2,4$ см от центрального. Определите длину λ световой волны.

■ **1098.** Определите наибольший порядок k дифракционного максимума для желтой линии натрия с длиной волны $\lambda = 589$ нм, период решетки $d = 0,020$ мм.

■ **1099.** Найдите наибольший порядок k дифракционного максимума излучения с длиной волны $\lambda = 671$ нм, если период решетки $d = 0,010$ мм.

■ **1100.** Определите угол отклонения θ зеленого света с длиной волны $\lambda = 550$ нм для дифракционного максимума первого порядка, полученного с помощью дифракционной решетки, период которой $d = 0,020$ мм.

■ **1101.** При падении монохроматического излучения на дифракционную решетку с периодом $d = 100$ мкм перпендикулярно ее поверхности четвертый дифракционный максимум наблюдается под углом $\theta = 30^\circ$. Определите длину волны λ падающего на решетку излучения.

■ **1102.** Определите число N максимумов, которое дает дифракционная решетка с периодом $d = 2,0$ мкм при нормальном падении на нее излучения с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Найдите максимальный угол θ_{\max} отклонения лучей дифракционной решеткой.

■ **1103.** Как изменится картина дифракционного спектра, если решетку с периодом $d_1 = 0,01$ мм заменить решеткой с периодом $d_2 = 0,02$ мм?

■ **1104.** Первый дифракционный максимум находится на расстоянии $x = 3,6$ см от центрального и на расстоянии $l = 1,8$ мм от дифракционной решетки с периодом $d = 0,030$ мм. Вычислите длину волны λ монохроматического излучения, падающего на решетку нормально.

■ **1105.** Дифракционная решетка, имеющая $200 \frac{\text{штр}}{\text{мм}}$, помещена

на расстоянии $l = 1,0$ м от экрана и освещается параллельным пучком белого света, падающего нормально. Определите ширину h дифракционного спектра первого порядка, полученного на экране, если длины волн фиолетового и красного света $\lambda_{\text{ф}} = 400$ нм, $\lambda_{\text{к}} = 760$ нм соответственно.

■ **1106.** Первый дифракционный максимум находится на расстоянии $h = 24,6$ см от центрального и на расстоянии $l = 226$ см от дифракционной решетки с периодом $d = 0,0050$ мм. Определите длину λ падающей световой волны.

■ **1107.** Определите длину волны λ монохроматического излучения, если на экране, находящемся на расстоянии $l = 180$ см от решетки с периодом $d = 0,040$ мм, третий дифракционный максимум отстоит от центрального на $h = 12,4$ см.

■ **1108.** Параллельный пучок света содержит излучения красного ($\lambda_1 = 750$ нм) и голубого ($\lambda_2 = 500$ нм) света. При угле дифракции $\theta = 64,0^\circ$ голубая и красная линии совпадают. Определите порядки дифракции k_1 и k_2 , при которых это происходит, если решетка имеет $600 \frac{\text{штр}}{\text{мм}}$.

■ **1109.** Определите ширину h спектра первого порядка, полученного на экране, находящемся на расстоянии $l = 3,0$ м от дифракционной решетки с периодом $d = 0,010$ мм, для белого света с длинами волн от $\lambda_1 = 380$ нм до $\lambda_2 = 760$ нм.

■ **1110.** Найдите длину волны λ монохроматического света, падающего на дифракционную решетку, если угол между максимумами первого порядка $\alpha = 8,0^\circ$. Дифракционная решетка содержит $120 \frac{\text{штр}}{\text{мм}}$.

■ **1111.** Определите длину волны λ монохроматического света, падающего нормально на дифракционную решетку с периодом $d = 3,0$ мкм, если угол между направлениями на максимумы третьего и второго порядков $\Delta\theta = 10^\circ$.

■ **1112.** На дифракционную решетку нормально падает свет. Угол дифракции в спектре первого порядка для линии с длиной волны $\lambda_1 = 600$ нм составляет $\theta_1 = 30,0^\circ$. Определите длину волны λ_2 линии, которая наблюдается в спектре второго порядка под углом дифракции $\theta_2 = 45,0^\circ$, и число штрихов N на 1 мм решетки.

■ **1113.** Определите ширину h дифракционного спектра второго порядка, полученного на экране, находящемся на расстоянии $l = 1,5$ м от решетки, имеющей $200 \frac{\text{штр}}{\text{мм}}$ и освещаемой нормально падающим белым светом, длины волн которого лежат в диапазоне $380 \text{ нм} \leq \lambda \leq 760 \text{ нм}$.

■ **1114.** Длина волны желтого света паров натрия $\lambda = 589$ нм. Третий дифракционный максимум при освещении решетки нормально падающим светом паров натрия оказался расположенным на расстоянии $x = 16,5$ см от центрального изображения и на расстоянии $l = 1,5$ м от решетки. Определите период d решетки.

■ **1115.** Желтый свет излучения паров натрия (длина волны $\lambda = 589$ нм) нормально падает на решетку с периодом $d = 16$ мкм. Какой дифракционный максимум N будет расположен от центрального на расстоянии $h = 33,0$ см, а от решетки — на расстоянии $l = 3,0$ м?

■ **1116.** При нормальном падении на решетку света с длиной волны $\lambda = 400$ нм на экране, находящемся на расстоянии $l = 2,0$ м, максимумы второго порядка отстоят друг от друга на $\Delta x = 20$ см. Найдите период d решетки и число максимумов N , которое она дает.

■ **1117.** На дифракционную решетку с периодом $d = 0,60$ мкм падает нормально пучок света, излучаемый атомарным водородом, с длинами волн в видимом участке спектра $\lambda_1 = 657$ нм, $\lambda_2 = 481$ нм, $\lambda_3 = 434$ нм, $\lambda_4 = 411$ нм. Сколько спектральных линий N и каких можно наблюдать с помощью такой решетки? На каком расстоянии h от центрального максимума наблюдаются в фокальной плоскости наиболее удаленные максимумы, если фокусное расстояние линзы $F = 30$ см?

■ **1118.** Дифракционная решетка содержит $200 \frac{\text{шт}}{\text{мм}}$. Определите длину волны λ_1 монохроматического света, падающего на решетку нормально, если угол между направлениями на максимумы второго порядка, расположенные по обе стороны от центрального, $\Delta\theta = 16^\circ$. Найдите общее число дифракционных максимумов N , даваемых данной решеткой при освещении ее светом с длиной волны $\lambda = 600$ нм.

■ **1119.*** На решетку нормально падает свет в интервале длин волн от $\lambda - \Delta\lambda$ до $\lambda + \Delta\lambda$, где $\lambda = 576$ нм. Определите наибольшее значение интервала длин волн $\Delta\lambda$, при котором нигде не перекрываются дифракционные спектры разных порядков, для решетки с периодом $d = 4,0$ мкм.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

50

Прямолинейное распространение и отражение света

Закон отражения световых лучей (рис. 149): луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости.

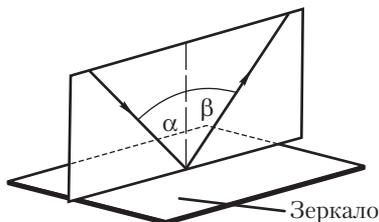


Рис. 149

Угол отражения равен углу падения ($\beta = \alpha$).

Изображение в плоском зеркале — **мнимое прямое, в натуральную величину** предмета, находится на таком же расстоянии за зеркалом, на каком предмет расположен перед зеркалом.

■ **1120.** Непрозрачный предмет дает тень без полутени, когда он освещается:

- а) одним произвольным источником света;
- б) одним мощным источником света;
- в) несколькими точечными источниками света;
- г) одним точечным источником света.

■ **1121.** Луч света падает на границу раздела двух сред в точке O (рис. 150). Углу отражения соответствует угол:

- а) α ;
- б) β ;
- в) γ ;
- г) φ ;
- д) δ ;
- е) θ .

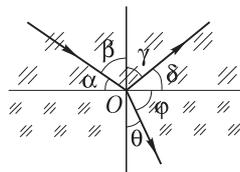


Рис. 150

■ **1122.** Луч света падает на границу раздела двух сред в точке O (рис. 150). Углу падения соответствует угол:

- а) α ; в) γ ; д) δ ;
 б) β ; г) φ ; е) θ .

■ **1123.** На рисунке 151 (а – г) показан ход параллельных лучей, отраженных от плоской поверхности. Зеркальной является поверхность:

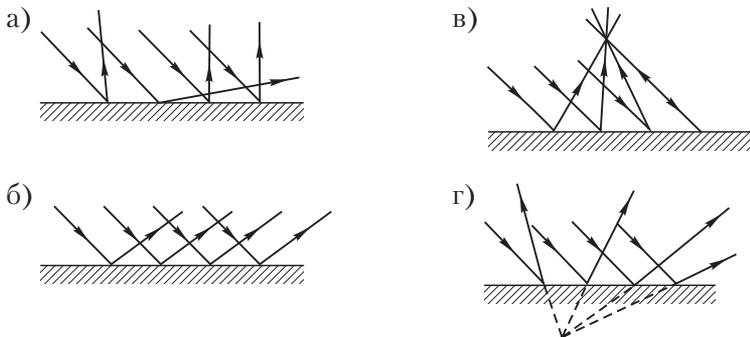


Рис. 151

■ **1124.** На каком из рисунков (рис. 151, а – г) представлена шероховатая поверхность, т. е. поверхность, которая диффузно отражает свет?

■ **1125.** Отражение луча света правильно изображено на рисунке 152 в случае:

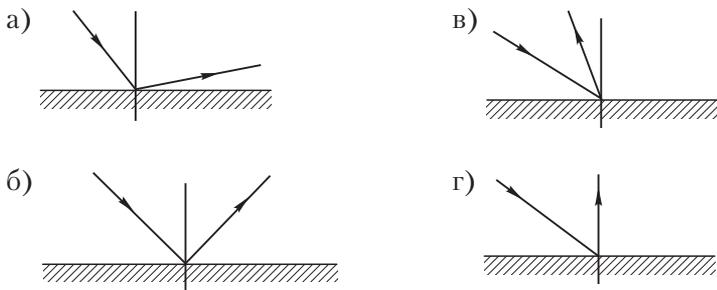


Рис. 152

■ **1126.** Определите угол отражения β , если угол падения $\alpha = 40^\circ$.

■ **1127.** Определите угол падения α , если угол отражения $\beta = 25^\circ$.

■ **1128.** Луч света падает под углом $\alpha = 30^\circ$ на поверхность плоского зеркала. Определите угол φ между падающим и отраженным лучами.

■ **1129.** Чтобы угол между отраженным и падающим лучами света составлял $\varphi = 80^\circ$, луч необходимо направить на зеркало под углом падения:

- а) $\alpha = 20^\circ$; в) $\alpha = 50^\circ$;
б) $\alpha = 40^\circ$; г) $\alpha = 30^\circ$.

■ **1130.** Перед вертикально висящим зеркалом стоит девочка. Определите, как изменится расстояние между девочкой и ее изображением, если она отойдет от зеркала на расстояние $\Delta l = 1,5$ м.

■ **1131.** Определите модуль скорости v , с которой мальчик приближается к своему изображению в плоском зеркале, если он идет к зеркалу со скоростью, модуль которой $v_0 = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

■ **1132.** Определите высоту H столба, если длина его тени на горизонтальной поверхности Земли $l = 3,0$ м. Угол падения солнечных лучей $\alpha = 30^\circ$.

■ **1133.** Определите угловую высоту α Солнца над горизонтом, если тень от предмета в данный момент времени равна половине высоты предмета.

■ **1134.** Вертикально поставленная линейка длиной $l = 1,0$ м отбрасывает тень длиной $l_1 = 0,25$ м. Определите высоту H дерева, если в это же время длина его тени $H_1 = 2,0$ м.

■ **1135.** Как изменится расстояние между предметом и его изображением, если зеркало переместить в то место, где было изображение?

■ **1136.** Определите изменение угла $\Delta\varphi$ между падающим на плоское зеркало и отраженным лучами, если угол падения уменьшить на $\Delta\alpha = 10^\circ$.

■ **1137.** Постройте изображение треугольника в плоском зеркале (рис. 153). Определите графически область полного видения изображения.

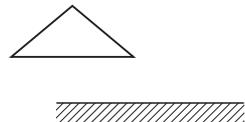


Рис. 153

■ **1138.** Луч света падает на систему из двух взаимно перпендикулярных зеркал. Угол падения на первое зеркало $\alpha_1 = 27^\circ$. Отражаясь от него, луч падает на второе. Определите угол отражения β луча от второго зеркала. Плоскость, в которой лежат падающий и отраженный лучи, перпендикулярна обоим зеркалам.

■ **1139.** По прямому участку шоссе движется автобус со скоростью, модуль которой $v_0 = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите модуль скорости v , с которой

отдаляются изображения придорожных столбов в плоском зеркале водителя относительно: а) наблюдателя на обочине; б) водителя.

■ **1140.** Человек ростом $h = 1,9$ м идет со скоростью, модуль которой $v_0 = 4,8 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите модуль скорости v движения тени от его

головы, которую создает фонарь, находящийся невдалеке на высоте $H = 5,0$ м.

■ **1141.** Под каким углом φ к вертикали необходимо расположить зеркало, чтобы лучи Солнца, падающие под углом $\alpha = 45^\circ$ к земной поверхности, осветили дно узкого вертикального колодца?

■ **1142.** Две лампочки A и B расположены на расстоянии $l_1 = 60$ см друг от друга. Одно плоское зеркало находится на расстоянии $l_2 = 40$ см от лампочки A , а другое — на расстоянии $l_3 = 50$ см от лампочки B . Зеркала расположены так, что изображения A_1 и B_1 лампочек совпадают. Определите угол φ между зеркалами.

■ **1143.** Как следует расположить два плоских зеркала, чтобы светящаяся точка и два ее изображения находились в вершинах равностороннего треугольника? Задачу решите графически.

■ **1144.** На каком наименьшем расстоянии l от экрана необходимо поместить диск радиусом $r = 3$ см, чтобы он давал только полутень? Источник света радиусом $R = 6$ см находится на расстоянии $d = 1$ м от экрана, причем прямая, проходящая через центры источника света и диска, перпендикулярна плоскости экрана.

■ **1145.** В комнате высотой H и длиной L на стене висит плоское зеркало. Человек смотрит в зеркало с расстояния l от этой стены. Какой должна быть минимальная высота h зеркала, чтобы человек мог видеть изображение стены у себя за спиной от пола до потолка?

■ **1146.** Точечный источник света помещен между двумя плоскими зеркалами, расположенными под углом друг к другу. Его изображение в первом зеркале находится на расстоянии $a = 12$ см, а во втором — на расстоянии $b = 16$ см от источника. Расстояние между этими изображениями $l = 20$ см. Определите угол φ между зеркалами.

■ **1147.** Точечный источник света находится посередине плоского экрана. Плоское зеркало в форме равностороннего треугольника со стороной $a = 10$ см расположено параллельно экрану. Центр зеркала находится на расстоянии a от экрана напротив источника. Определите форму и площадь S светового пятна, образованного на экране отраженными от зеркала лучами.

■ **1148.** Круглый бассейн радиусом $r = 10$ м заполнен до краев водой. Над центром бассейна на высоте $H = 5,0$ м от поверхности воды висит лампа. На какое расстояние l от края бассейна может отойти человек ростом $h = 1,7$ м, чтобы все еще видеть отражение лампы в воде?

■ **1149.** На круглом плоском зеркале лежит глобус радиусом R , касаясь центра зеркала Северным полюсом. Определите минимальный радиус r зеркала, при котором в нем можно увидеть отражение: а) любой точки Северного полушария; б) любой точки Северного полушария и части Южного полушария до широты $\varphi = 30^\circ$.

51

Сферические зеркала

Центр сферы O называется **оптическим центром** зеркала, его радиус R — **радиусом** зеркала. Вершина шарового сегмента C называется **полюсом** зеркала (рис. 154). Прямая линия OC , проходящая через оптический центр и полюс зеркала, называется **главной оптической осью**. Точка F — **главный фокус** зеркала.

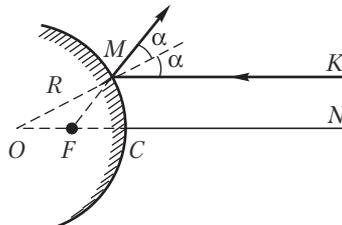


Рис. 154. Отражение луча от выпуклого зеркала

Формула сферического зеркала:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R},$$

где d — расстояние от предмета до зеркала, f — расстояние от изображения до зеркала.

Оптическая сила сферического зеркала:

$$D = \frac{1}{F} = \frac{2}{R}.$$

Поперечное увеличение зеркала:

$$\frac{h}{H} = \frac{f}{d'}$$

где h — высота изображения, H — высота предмета.

■ **1150.** Заполните таблицу.

Расположение предмета	Изображение (мнимое, действительное, прямое, перевернутое)	Расположение изображения	Формула сферического зеркала	Увеличение
Вогнутые сферические зеркала				
$d < F$				
$d = F$				
$F < d < 2F$				
$d = 2F$				
$d > 2F$				
Выпуклые сферические зеркала				
любое				

■ **1151.** Если линейные размеры предмета, помещенного перед вогнутым сферическим зеркалом, совпали с линейными размерами его изображения, предмет расположен:

- а) между полюсом и фокусом зеркала;
- б) в фокусе зеркала;
- в) в оптическом центре зеркала;
- г) за оптическим центром зеркала.

■ **1152.** Если при помощи сферического зеркала получено уменьшенное изображение предмета, то относительно зеркала предмет расположен ...

- а) между полюсом и фокусом зеркала;
- б) в фокусе зеркала;
- в) в оптическом центре зеркала;
- г) за оптическим центром зеркала.

- **1153.** Определите фокусное расстояние F вогнутого сферического зеркала, если предмет и его изображение находятся на расстояниях: а) $d = 20$ см и $f = 0,80$ м; б) $d = 20$ см и $f = 0,30$ м.
- **1154.** Определите положение f изображения предмета в сферическом зеркале радиусом $R = 40$ см, находящегося на расстоянии $d = 20$ см от него, если зеркало: а) вогнутое; б) выпуклое.
- **1155.** Определите положение d предмета, если его изображение в вогнутом сферическом зеркале оптической силой $D = 2,5$ дптр находится на расстоянии $f = 0,80$ м от него.
- **1156.** Определите оптическую силу D сферического зеркала, если изображение источника света, расположенного на расстоянии $d = 40$ см от зеркала, находится на расстоянии $f = 0,20$ м от него.
- **1157.** Точечный источник света и его изображение находятся на расстояниях $d = 60$ см и $f = 0,40$ м от сферического зеркала. Определите радиус R его кривизны, если зеркало: а) вогнутое; б) выпуклое.
- **1158.** В вогнутом сферическом зеркале радиусом кривизны $R = 40$ см получено изображение предмета в четверть натуральной величины. Определите расстояние f от зеркала, на котором получилось его изображение.
- **1159.** Определите, где необходимо расположить предмет и экран, чтобы при помощи вогнутого сферического зеркала радиусом кривизны $R = 40$ см получить действительное изображение предмета натуральной величины.
- **1160.** Определите оптическую силу D вогнутого сферического зеркала, необходимую для получения действительного изображения предмета в треть натуральной величины, расположенного на расстоянии $d = 20$ см от зеркала.
- **1161.** Определите величину изображения Солнца на экране, полученного от сферического рефлектора радиусом кривизны $R = 16$ м, если диаметр Солнца $D = 1,4 \cdot 10^9$ м, а расстояние от Земли до Солнца $a = 1,5 \cdot 10^{11}$ м.
- **1162.** Определите оптическую силу D вогнутого сферического зеркала, если расстояние от предмета до его изображения $l = 20$ см, а величина изображения в три раза больше самого предмета.

■ **1163.** Определите увеличение Γ , даваемое вогнутым сферическим зеркалом радиусом кривизны $R = 120$ см, если лицо человека расположено от него на расстоянии $d = 20$ см.

■ **1164.** Предмет находится на расстоянии $d = \left(\frac{2}{3}\right)F$ от вершины вогнутого сферического зеркала, где F — фокусное расстояние зеркала. Определите положение изображения предмета и его тип.

■ **1165.** Согласно стандартам, радиус кривизны выпуклого сферического зеркала заднего обзора в легковых автомобилях не может быть менее чем $R = 1,2$ м, а для грузовых — $R = 1,5$ м. Пусть данные радиусы принимают максимальное значение. Определите положение f изображения предмета и его увеличение Γ , если предмет расположен на расстоянии $d = 10$ см от зеркала.

■ **1166.** Определите фокусное расстояние F выпуклого сферического зеркала, которое дает увеличение $\Gamma = 0,40$ для предмета, находящегося на расстоянии $d = 4,0$ м от него.

■ **1167.** Определите радиус R вогнутого сферического зеркала, которое фокусирует пучок параллельных лучей в точку на расстоянии $f = 45$ см перед собой.

■ **1168.** Определите расстояние от выпуклого зеркала радиусом кривизны $R = 32$ см до объекта, если его изображение оказалось бесконечно удаленным.

■ **1169.** Определите радиус кривизны сферического зеркала, которым пользуется стоматолог, если при расстоянии до зуба $d = 2,0$ см оно дает увеличение $\Gamma = 5,0$.

■ **1170.** Предмет высотой $h = 2,0$ см находится на расстоянии $d = 25$ см от сферического зеркала, в котором возникает мнимое изображение высотой $H = 4,0$ см. Определите: а) какое это зеркало; б) положение изображения; в) фокусное расстояние зеркала.

■ **1171.** Определите радиус кривизны R вогнутого сферического зеркала, которое дает увеличение в $\Gamma = 2,5$ раза для предмета, находящегося на расстоянии $d = 40$ см от него.

■ **1172.** Определите радиус кривизны R выпуклого сферического зеркала, если изображение девочки ростом $H = 1,7$ м, находящейся на расстоянии $d = 5,0$ м, в два раза меньше, чем при отражении в плоском зеркале.

■ **1173.*** Определите фокусное расстояние F вогнутого сферического зеркала, если расстояние между предметом и его изображением

равно $l = 1,5$ м и изображение находится от полюса зеркала на расстоянии в $n = 4$ раза большем фокусного расстояния зеркала.

■ **1174.*** Определите расстояние d между плоским предметом, установленным перпендикулярно главной оптической оси выпуклого сферического зеркала, и его полюсом, если расстояние между предметом и его изображением равно радиусу кривизны зеркала и составляет $l = 1,2$ м.

■ **1175.*** Определите возможные расстояния d между источником света, находящимся на главной оптической оси вогнутого сферического зеркала, и его полюсом, если расстояние между источником и его изображением равно радиусу кривизны зеркала и составляет $l = 1,6$ м.

■ **1176.*** Определите положение плоского предмета d , установленного перпендикулярно главной оптической оси в вогнутом сферическом зеркале с радиусом кривизны $R = 0,80$ м, и его увеличение Γ , если его действительное изображение находится от полюса зеркала на расстоянии $f = 0,60$ м.

■ **1177.*** Определите главное фокусное расстояние F вогнутого сферического зеркала, если плоский предмет и его действительное изображение находятся от главного фокуса на расстояниях $l_1 = 80$ см и $l_2 = 20$ см соответственно.

■ **1178.*** Плоский предмет находится на расстоянии $l = 10$ см от главного фокуса вогнутого сферического зеркала и на расстоянии $d = 50$ см от его полюса. Определите возможные положения изображения предмета.

■ **1179.*** Определите фокусное расстояние F вогнутого сферического зеркала, если в начальном положении изображение предмета в 3 раза меньше самого предмета, а при его перемещении на расстояние $l = 15$ см ближе к зеркалу его изображение станет в 1,5 раза меньше предмета.

■ **1180.*** Определите положение предмета, если его изображение в вогнутом сферическом зеркале радиусом $R = 80$ см: а) действительное и увеличенное в $\Gamma = 4,0$ раза; б) мнимое и увеличенное в $\Gamma = 4,0$ раза.

■ **1181.*** Определите радиус кривизны вогнутого сферического зеркала и линейное увеличение предмета, если он и его изображение отстоят от главного фокуса на расстояниях $l_1 = 8,0$ см и $l_2 = 72$ см.

■ **1182.*** Определите радиус кривизны сферического зеркала, если расстояние между точечным источником света, находящимся

на главной оптической оси, и фокусом зеркала равно l , а расстояние между источником и его изображением равно L .

■ **1183.*** Определите расстояние f , на котором находится изображение мальчика, который смотрит на посеребренный шар диаметром $h = 80$ см, находящийся от него на расстоянии $d = 30$ см.

■ **1184.*** Луч, падающий на вогнутое сферическое зеркало, пересекает главную оптическую ось в точке M . Определите расстояние от зеркала до точки M , если после отражения от него луч пересекает ось в точке N , находящейся на расстоянии $l = 2F$ от точки M , где F — фокусное расстояние зеркала.

■ **1185.*** Определите оптическую силу D выпуклого сферического зеркала, если точечный источник света расположен на главной оптической оси на расстоянии $d = 50$ см от него, а изображение находится между полюсом и фокусом на расстоянии $f = \frac{3F}{4}$, где F — фокусное расстояние зеркала.

■ **1186.*** Сходящиеся лучи падают на выпуклое сферическое зеркало радиусом $R = 60$ см так, что их продолжения пересекаются на главной оптической оси зеркала за ним на расстоянии $d = 0,80$ м. Определите расстояние f , на котором сойдутся лучи после отражения.

■ **1187.*** Сходящийся пучок света падает на выпуклое сферическое зеркало радиусом кривизны $R = 90$ см. Определите расстояния, на которых будут пересекаться продолжения этих лучей после отражения от зеркала, при условии, что если убрать зеркало, то продолжения всех лучей пересекаются на оси за ним в точке на расстоянии: а) $d = 90$ см; б) $d = 60$ см; в) $d = 45$ см; г) $d = 30$ см.

■ **1188.*** Сходящийся пучок света падает на выпуклое сферическое зеркало таким образом, что продолжения всех лучей пересекаются в точке, лежащей на главной оптической оси за зеркалом на расстоянии $d = 60$ см. Определите радиус кривизны R , если после отражения лучи собираются в точке, находящейся на расстоянии: а) $f = 60$ см; б) $f = 75$ см; в) $f = 80$ см; г) $f = 90$ см.

■ **1189.*** Сходящийся пучок света падает на вогнутое сферическое зеркало с фокусным расстоянием $F = 40$ см. Определите расстояния, на которых будут пересекаться эти лучи после отражения от зеркала, при условии, что если убрать зеркало, то продолжения всех лучей пересекаются на оси зеркала за ним в точке на главной оптической оси на расстоянии: а) $d = 60$ см; б) $d = 80$ см; в) $d = 1,2$ м.

■ **1190.*** Сходящийся пучок света падает на вогнутое сферическое зеркало таким образом, что продолжения лучей пересекаются на главной оптической оси на расстоянии $d = 40$ см за ним. Определите радиус кривизны R зеркала, если после отражения лучи пересекаются на главной оптической оси на расстоянии $f = \frac{F}{4}$, где F — фокусное расстояние зеркала.

■ **1191.** Определите радиус кривизны R вогнутого сферического зеркала, если изображение плоского предмета, установленного перпендикулярно главной оптической оси, находится на расстоянии d от зеркала, его увеличение $\Gamma_1 = 5$. Известно, что при перемещении предмета на расстояние $l = 50$ см вдоль главной оптической оси его увеличение становится равным $\Gamma_2 = \frac{1}{5}$.

■ **1192.** Определите фокусное расстояние F и радиус кривизны R вогнутого сферического зеркала, если оно дает на экране увеличенное изображение предмета в $\Gamma = 16$ раз, когда предмет находится на расстоянии $d = 80$ см от зеркала.

■ **1193.** Определите положение изображения f точечного источника света, расположенного на главной оптической оси в сферическом зеркале радиусом кривизны $R = 60$ см на расстоянии $d = 1,8$ м от него, если: а) зеркало вогнутое; б) зеркало выпуклое.

■ **1194.** Точечный источник света, расположенный на расстоянии $d = 0,90$ м от вогнутого сферического зеркала и на расстоянии $h = 60$ см от главной оптической оси, дает изображение точки, находящейся на расстоянии $H = 30$ см от оси. Определите радиус кривизны R зеркала.

■ **1195.** Определите фокусное расстояние F выпуклого сферического зеркала, если изображение ближайшего к зеркалу конца иглы длиной $l = 5,0$ см, расположенной вдоль главной оптической оси, находится на расстоянии $f_1 = 10$ см, а дальнего — на расстоянии $f_2 = 12,5$ см от зеркала. Найдите длину изображения и его продольное увеличение.

■ **1196.** Ось Ox прямоугольной системы координат xOy совпадает с главной оптической осью вогнутого сферического зеркала, а начало координат — с оптическим полюсом зеркала. Определите радиус

кривизны R зеркала, если падающий на него луч описывается уравнением $y_1 = 2 + 0,4x$ (м), а отраженный — $y_2 = 2$ (м).

■ **1197.** Ось Ox прямоугольной системы координат xOy совпадает с главной оптической осью выпуклого сферического зеркала, а начало координат — с оптическим полюсом зеркала. Определите фокусное расстояние F зеркала, если падающий на него луч описывается уравнением $y_1 = 4 - 0,2x$ (м), а отраженный — $y_2 = 4$ (м).

■ **1198.** Ось Ox прямоугольной системы координат xOy совпадает с главной оптической осью сферического зеркала, а начало координат — с оптическим полюсом зеркала. Определите радиус кривизны R зеркала, если точечному источнику света, находящемуся в точке с координатами $(8; 2)$ (см), соответствует изображение в точке с координатами $(20; 5)$ (см).

■ **1199.** Ось Ox прямоугольной системы координат xOy совпадает с главной оптической осью сферического зеркала, а начало координат — с оптическим полюсом зеркала. Определите фокусное расстояние F зеркала, если точечному источнику света, находящемуся в точке с координатами $(8; -2)$ (см), соответствует действительное изображение в точке с координатами $(20; 5)$ (см).

■ **1200.** Ось Ox прямоугольной системы координат xOy совпадает с главной оптической осью сферического зеркала, а начало координат — с оптическим полюсом зеркала. Определите оптическую силу D зеркала, если точечному источнику света, находящемуся в точке с координатами $(16; 4)$ (см), соответствует изображение в точке с координатами $(-8; 2)$ (см).

■ **1201.** Определите положение изображения точечного источника света, который расположен в фокусе одного из одинаковых вогнутых сферических зеркал, поставленных друг напротив друга на расстоянии $l = 4F$.

Построение изображений в сферических зеркалах

Для построений выбирают два из четырех стандартных лучей: первый (1) — **параллельный главной оптической оси** — отраженный луч проходит через главный фокус (рис. 155);

второй (2) — **через главный фокус** — отраженный луч проходит параллельно главной оптической оси (рис. 155);

третий (3) — **через оптический центр зеркала** — отраженный луч пойдет по тому же направлению в обратную сторону (рис. 156);

четвертый (4) — **падающий на зеркало в его полюсе** — отраженный луч идет симметрично главной оптической оси (рис. 155).

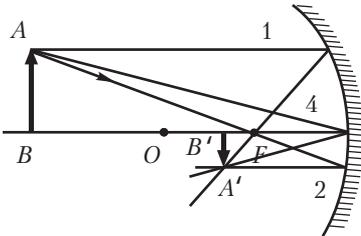


Рис. 155. Построения изображений в вогнутом зеркале

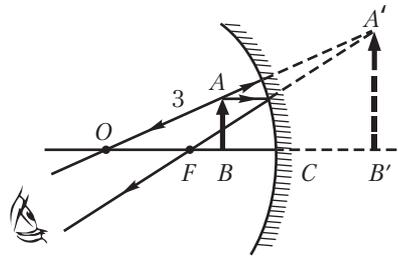


Рис. 156. Построение изображения в вогнутом зеркале

■ **1202.** Постройте изображение предмета в вогнутом сферическом зеркале, если расстояние от предмета до зеркала: а) $d \rightarrow \infty$; б) $d > 2F$; в) $d = 2F$; г) $F < d < 2F$; д) $d = F$; е) $d < F$.

■ **1203.** Постройте изображение предмета в выпуклом сферическом зеркале, если расстояние от предмета до зеркала: а) $d \rightarrow \infty$; б) $d > 2F$; в) $d = 2F$; г) $F < d < 2F$; д) $d = F$; е) $d < F$.

■ **1204.** Постройте ход луча 2 после отражения в вогнутом сферическом зеркале (рис. 157), если известен ход луча 1.

■ **1205.** Постройте ход луча 2 в выпуклом сферическом зеркале до отражения (рис. 158), если известен ход луча 1.

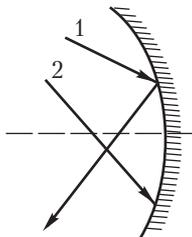


Рис. 157

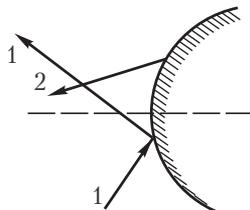


Рис. 158

■ **1206.** Постройте изображение предмета AB в вогнутом сферическом зеркале (рис. 159, а, б).

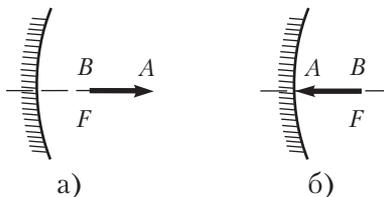


Рис. 159

■ **1207.** Определите построением положение центра кривизны и вершины зеркала, если даны положения главной оптической оси OO_1 , сферического зеркала, точечного источника света S и его изображения S' (рис. 160, а – г).

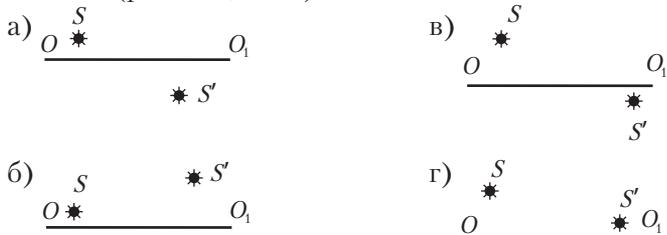


Рис. 160

■ **1208.** На рисунке 161 показаны положения точечного источника света S , его изображения S' и главной оптической оси зеркала OO_1 . Постройте изображение точки B .



Рис. 161

■ **1209.** На рисунке 162 показаны положения точечного источника света S , его изображения S' и главной оптической оси зеркала OO_1 . Постройте изображения точек C и D .

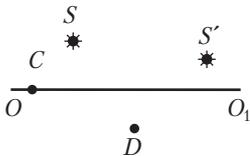


Рис. 162

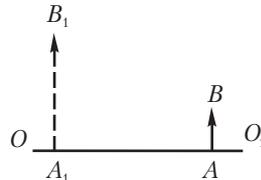


Рис. 163

■ **1211.** Постройте изображение предмета AB в выпуклом сферическом зеркале (рис. 164).

■ **1212.** Главная оптическая ось сферического зеркала OO_1 . Предмет — AB , изображение A_1B_1 (рис. 165). Какое это зеркало? Найдите построением положения полюса зеркала и его центра кривизны.

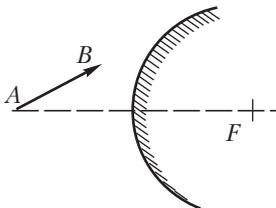


Рис. 164

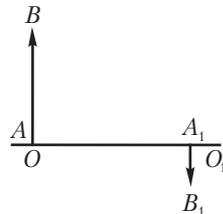


Рис. 165

■ **1213.** Постройте изображения точек B (рис. 166, а, б), если даны положения точечного источника света S , его изображения S' и главной оптической оси OO_1 .

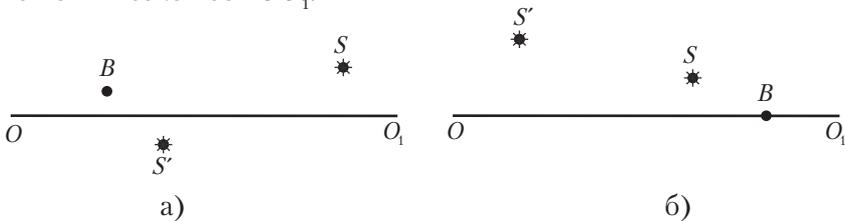


Рис. 166

■ **1214.** Определите построением положения полюса зеркала, его оптического центра и фокус сферического зеркала, если даны по-

ложения предмета AB , изображения A_1B_1 и главной оптической оси OO_1 (рис. 167, а, б). Какое это зеркало — выпуклое или вогнутое?

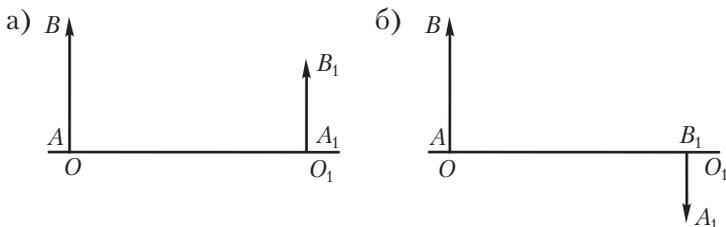


Рис. 167

■ **1215.** Определите построением положения полюса зеркала, его оптического центра и фокуса сферического зеркала, если даны положения точечного источника света S , изображения S' и главной оптической оси OO_1 (рис. 168). Какое это зеркало — выпуклое или вогнутое? Какое изображение — мнимое или действительное? Если поменять местами источник и изображение?

■ **1216.** Определите построением положения полюса зеркала, его фокуса, если на рисунке 169 показаны положения предмета AB и его изображения A_1B_1 .



Рис. 168

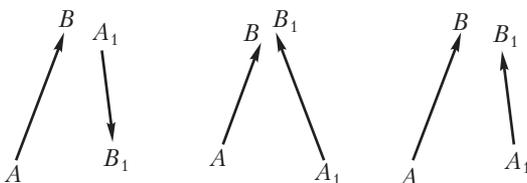


Рис. 169

53

Преломление света

Закон преломления света:

отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух данных сред и равная отношению показателя преломления второй среды относительно первой;

лучи, падающий и преломленный, лежат в одной плоскости с перпендикуляром, проведенным в точке падения луча к плоскости границы раздела двух сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2},$$

где n_1, n_2 — абсолютные показатели преломления сред, v_1, v_2 — скорости света в этих средах.

■ **1217.** На рисунке 170 изображено преломление луча света на границе раздела двух сред. Правильное соотношение между абсолютными показателями преломления веществ:

- а) $n_1 > n_2$; в) $n_1 = n_2$;
 б) $n_1 < n_2$; г) $n_1 \approx n_2$.

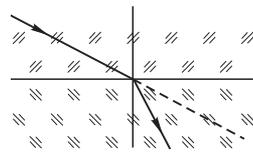


Рис. 170

■ **1218.** На рисунке 171 изображено преломление луча света на границе раздела двух сред. Правильное соотношение между модулями скоростей света:

- а) $v_1 > v_2$; в) $v_1 = v_2$;
 б) $v_1 < v_2$; г) $v_1 \approx v_2$.

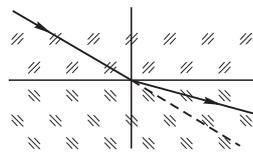


Рис. 171

■ **1219.** Ход преломленного луча при падении на границу стекло — воздух правильно показан на рисунке 172 в случае:

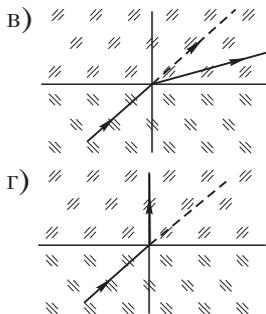
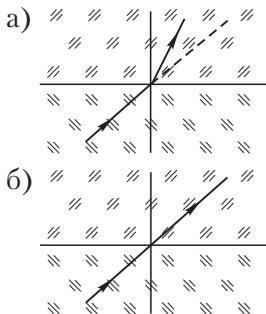


Рис. 172

■ **1220.** Луч света падает на границу раздела двух сред в точке O (рис. 173). Углу преломления соответствует угол:

- а) α ; в) γ ; д) δ ;
 б) β ; г) φ ; е) θ .

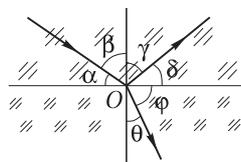


Рис. 173

■ **1221.** Найдите угол падения α луча света, падающего из воздуха на поверхность стекла с показателем преломления $n = 1,6$, если угол преломления светового луча $\beta = 20^\circ$.

■ **1222.** Определите угол преломления β луча, который соответствует углу падения $\alpha = 60^\circ$ луча на границу раздела воздуха и вещества с показателем преломления $n = 1,4$.

■ **1223.** Определите угол падения α , который соответствует углу преломления $\beta = 45^\circ$ луча, падающего на границу раздела глицерина и вещества с показателем преломления $n_2 = 1,8$.

■ **1224.** Луч света падает из воды на стекло под углом $\alpha = 30^\circ$. Определите угол преломления β , если показатель преломления стекла $n_2 = 1,50$.

■ **1225.** Луч света падает из воздуха под углом $\alpha = 25^\circ$ на границу раздела глицерина и воздуха. Определите угол преломления β луча.

■ **1226.** При некотором угле падения α луча света на границу раздела двух сред $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$, где β — угол преломления луча. Как изменится это отношение при увеличении угла падения в $k = 2$ раза?

■ **1227.** Луч света падает из воздуха на плоскую стеклянную поверхность (показатель преломления стекла $n = 1,5$). Определите угол падения α и угол преломления β , если между отраженным и преломленным лучами угол $\gamma = 90^\circ$.

■ **1228.** Высота сваи железнодорожного моста от дна водоема $h = 20$ м. Глубина водоема $h = 10$ м. Определите длину l тени от сваи на дне водоема, если солнечные лучи образуют угол $\alpha = 60^\circ$ с горизонтом.

■ **1229.** Угол падения луча света на плоскую границу раздела вещества $\alpha = 35^\circ$. Определите угол ϕ между отраженным и преломленным лучами, если отношение показателей преломления граничащих сред $\frac{n_2}{n_1} = 1,6$.

■ **1230.** Под каким углом α луч света должен падать на поверхность стекла, показатель преломления которого $n = 1,6$, чтобы угол преломления β был в $k = 2$ раза меньше угла падения?

■ **1231.** Под каким углом α следует направить луч света на поверхность стекла, показатель преломления которого $n = 1,60$, чтобы угол преломления был $\beta = 35^\circ$?

■ **1232.** Определите угол ϕ между отраженным и преломленным лучами, если угол падения α луча на границу раздела двух сред с показателями преломления n_1 и n_2 удовлетворяет условию $\operatorname{tg} \alpha = \frac{n_2}{n_1}$.

■ **1233.** Параллельный пучок света шириной $d = 4,0$ см падает на поверхность воды под углом $\alpha = 45^\circ$. Определите ширину пучка d_1 в воде.

■ **1234.** Под каким углом α должен падать луч света на плоскую границу раздела воздух — стекло (показатель преломления стекла n), чтобы преломленный луч оказался перпендикулярным отраженному?

■ **1235.** При переходе из воздуха в воду луч света отклоняется на угол $\gamma = 30^\circ$. Изменится ли этот угол, если на поверхность воды налить слой масла?

■ **1236.*** На каком расстоянии d от стеклянного шара радиусом R , помещенного наполовину в жидкость, необходимо поместить точечный источник света S , чтобы его изображение S' оказалось с другой стороны шара на расстоянии $2d$ (рис. 174)? Показатель преломления стекла n , а жидкости — n_1 . Изображение создается узким пучком лучей, близких к оптической оси.

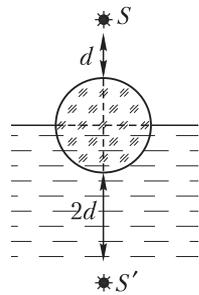


Рис. 174

54

Скорость света в веществе

Скорость распространения света в веществе:

$$v = \frac{c}{n} \quad (n > 1).$$

Для любых сред:

$$n_1 v_1 = n_2 v_2 = \dots = c,$$

где n_1, n_2 — абсолютные показатели преломления сред, v_1, v_2 — модули скоростей распространения света в средах.

■ **1237.** Монета, упавшая в колодец, находится на глубине $H = 4,0$ м. Определите глубину h расположения изображения монеты в воде для наблюдателя, смотрящего вертикально вниз.

■ **1238.** Определите модуль скорости v распространения света в скипидаре, если углу падения светового луча $\alpha = 45^\circ$ из вакуума на поверхность скипидара соответствует угол преломления $\beta = 30^\circ$.

■ **1239.** Модуль скорости распространения света в некотором веществе $v = 2,4 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. На поверхность этого вещества из воздуха падает световой луч под углом $\alpha = 40^\circ$. Определите угол преломления β луча.

■ **1240.** Луч света падает из прозрачной среды на плоскую поверхность раздела с воздухом под углом $\alpha = 20^\circ$. Рассчитайте угол преломления β в воздухе, если модуль скорости распространения света в среде составляет $k = 60\%$ от модуля ее величины в воздухе.

■ **1241.** При переходе лучей света из воздуха в стекло угол падения $\alpha = 50^\circ$, а угол преломления $\beta = 30^\circ$. Определите модуль скорости распространения света v в стекле.

■ **1242.** Монохроматический свет падает нормально на систему, состоящую из двух расположенных вплотную друг к другу плоских пластинок, одна из которых изготовлена из стекла с показателем преломления $n_1 = 1,60$. Отношение толщины одной пластинки к толщине другой $k = 1,5$. Определите показатель преломления n_2 вещества, из которого изготовлена вторая пластинка, если время распространения света в обеих пластинках одинаково.

■ **1243.** На дне бассейна, заполненного водой, лежит плоское зеркало. Мальчик смотрит вертикально вниз с бортика бассейна и видит отражение своего лица. На каком расстоянии d от поверхности воды находится это отражение, если глубина бассейна $h = 2,0$ м, а расстояние от лица мальчика до поверхности воды $l = 1,0$ м?

■ **1244.** На дне стеклянной ванны лежит зеркало, поверх которого налит слой воды толщиной $d = 20$ см. На высоте $h = 35$ см от поверхности воды находится точечный источник света. Определите расстояние l от источника света до его мнимого изображения в зеркале для наблюдателя, смотрящего в ванну сверху.

■ **1245.** На дне стеклянной ванны лежит зеркало, поверх которого налит слой воды толщиной $d = 30$ см. На высоте $h = 40$ см от

поверхности воды висит лампа. На каком расстоянии l от поверхности зеркала смотрящий в воду наблюдатель будет видеть изображение лампы в зеркале?

■ **1246.** На дне аквариума, имеющего форму шара радиусом R и доверху заполненного водой, находится рыбка. На каком расстоянии l от поверхности воды можно увидеть рыбку, если смотреть на нее сверху? Показатель преломления воды n . Толщиной стенок аквариума пренебречь.

55

Полное отражение света

Явление полного отражения падающего луча от границы раздела сред называется **полным отражением света**. Наименьший угол, с которого начинается полное отражение, называется **предельным углом полного отражения** α_0 :

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} \quad (n_2 < n_1).$$

■ **1247.** Предельный угол полного отражения α_0 для луча, который идет из вещества с абсолютным показателем преломления n_1 в вещество с абсолютным показателем преломления n_2 , определяется по формуле:

$$\text{а) } \sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1};$$

$$\text{в) } \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1};$$

$$\text{б) } \cos \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1};$$

$$\text{г) } \operatorname{ctg} \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}.$$

■ **1248.** Найдите предельный угол полного отражения α_0 в веществе с абсолютным показателем преломления $n = 1,8$ на границе с воздухом.

■ **1249.** Под каким углом φ водолаз, находящийся под водой, видит предметы, расположенные на линии горизонта?

■ **1250.** Луч света падает под углом $\alpha = 20^\circ$ на плоскую поверхность некоторой среды и полностью отражается, не выходя в воздух. Рассчитайте модуль скорости распространения света v в среде (в процентах) от модуля скорости распространения света в воздухе.

■ **1251.** Предельный угол полного отражения на границе раздела вода — воздух $\alpha_1 = 49^\circ$, а на границе раздела стекло — воздух — $\alpha_2 = 42^\circ$. Определите предельный угол полного отражения α_3 на границе раздела стекло — вода.

■ **1252.** Водолаз ростом $h = 190$ см стоит на дне озера глубиной $H = 4,0$ м. Определите минимальное расстояние l от места, где стоит водолаз, до тех точек на дне, которые он сможет увидеть вследствие полного отражения света.

■ **1253.** Предельный угол полного отражения для некоторого вещества на границе с воздухом $\alpha_1 = 40^\circ$. Каким будет предельный угол полного отражения α_2 для этого вещества на границе с этиловым спиртом?

■ **1254.** Параллельный пучок света распространяется в воде и падает на плоскую горизонтальную поверхность раздела с воздухом. Модуль скорости распространения света в воде $v = 2,25 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите максимальный угол падения α , при котором пучок не выйдет из воды.

■ **1255.** Из центра круглого пласта на глубину h опущен точечный источник света. При каком минимальном радиусе R пласта свет от источника не может выйти за его пределы? Показатель преломления воды считайте равным n .

■ **1256.** На какой глубине H находится водолаз ростом $h = 1,8$ м, если он видит отраженными от поверхности воды те части горизонтального дна, которые расположены от него на расстоянии $l = 10$ м и более?

■ **1257.** Точечный источник света находится на дне достаточно широкого сосуда с жидкостью, показатель преломления которой $n = 1,8$. Во сколько раз максимальное время, затрачиваемое светом на прохождение слоя жидкости с последующим выходом в воздух, больше минимального времени?

■ **1258.** На шар радиусом R , изготовленный из вещества с показателем преломления n_2 , из окружающей среды с показателем

преломления n_1 ($n_2 < n_1$) падает пучок параллельных лучей. Определите радиус r светового пучка, который может проникнуть в шар.

■ **1259.** Кубик из стекла с показателем преломления n ставят сверху на лист бумаги с текстом. При каком значении n текст нельзя будет увидеть через боковую грань ни при каком угле зрения?

■ **1260.** Световод представляет собой сплошной цилиндр из прозрачного вещества, показатель преломления которого $n = 1,32$. Луч

света падает из воздуха в центр входного торца световода под углом α (рис. 175). Определите максимальное значение угла α_{\max} , при котором луч будет идти внутри световода, не выходя за его пределы.

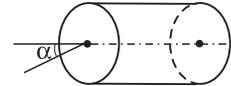


Рис. 175

■ **1261.** Луч света падает из воздуха в центр входного торца стеклянного световода под углом α (рис. 175). Определите минимальный показатель преломления n_{\min} , при котором луч будет идти внутри световода, не выходя за его пределы.

■ **1262.** На горизонтальном дне водоема лежит монета радиусом $r = 1,0$ см. Определите максимальное расстояние l , на которое необходимо поместить в воде плоский экран радиусом $R = 4,0$ см, чтобы монету нельзя было увидеть из воздуха при спокойной поверхности воды.

■ **1263.*** Узкий пучок света падает на горизонтальную водную поверхность под углом α (рис. 176). Под каким минимальным углом φ к поверхности воды необходимо установить в воде зеркало, чтобы лучи, отразившись от него, не могли выйти в воздух? Показатель преломления воды n .

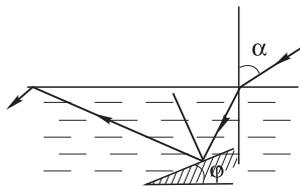


Рис. 176

Распространение света через плоскопараллельную пластинку и призму

Ход светового луча в плоскопараллельной пластинке с показателем преломления n толщиной d , находящейся в воздухе (рис. 177):

$$\alpha = \gamma_1.$$

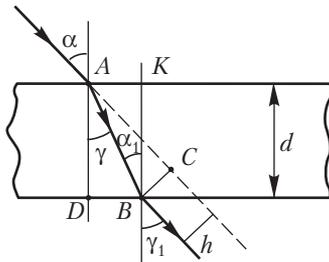


Рис. 177. Ход луча в плоскопараллельной пластинке

Луч света, проходя через плоскопараллельную пластинку, с обеих сторон которой находится одна и та же среда, смещается параллельно своему начальному направлению на некоторое расстояние h .

Призма, изготовленная из вещества с абсолютным показателем преломления n_2 , находится в среде с абсолютным показателем преломления n_1 . Грани призмы, проходя через которые лучи света преломляются, называются **преломляющими**. Грань, лежащая напротив преломляющего угла, называется **основанием призмы**. Угол φ при вершине B треугольника ABC называется **преломляющим углом** призмы.

Угол отклонения луча света тонкой призмой (рис. 178):

$$\delta = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\varphi.$$

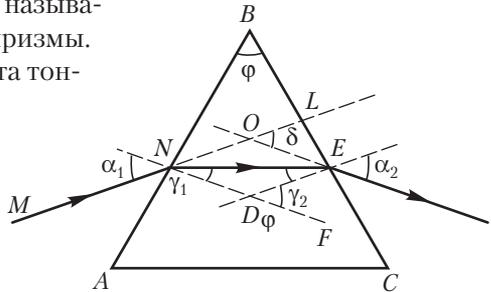


Рис. 178. Ход луча в призме

■ **1264.** Определите смещение h луча на выходе из стеклянной пластинки толщиной $d = 5,0$ мм с показателем преломления $n = 1,6$, если угол падения луча на пластинку равен предельному углу полного отражения на границе стекло — воздух.

■ **1265.** На плоскопараллельную стеклянную пластину толщиной $d = 1,8$ см с показателем преломления $n = 1,7$, находящуюся в этиловом спирте, падает луч света под углом $\alpha = 30^\circ$. Определите смещение h луча на выходе из стеклянной пластинки.

■ **1266.** Луч света падает на стеклянную плоскопараллельную пластинку с показателем преломления $n = 1,55$ под углом $\alpha = 60^\circ$. Определите толщину d пластинки, если на выходе из нее луч сместился на расстояние $h = 1,5$ см.

■ **1267.** Луч света падает из воздуха на плоскопараллельную стеклянную пластинку с показателем преломления $n = 1,6$. Проходя через пластинку, он смещается на расстояние $h = 2,3$ мм. Определите толщину d пластинки, если угол падения луча $\alpha = 45^\circ$.

■ **1268.** Луч света, падающий на плоскопараллельную пластинку под углом $\alpha = 60^\circ$, проходя через нее, смещается на расстояние $h = 1,5$ см. Определите показатель преломления n вещества пластинки, если ее толщина $d = 3,0$ см.

■ **1269.** Нижняя поверхность плоскопараллельной стеклянной пластинки посеребрена (показатель преломления серебра $n = 1,8$). На пластинку сверху падает луч света. В результате от нее отражаются два параллельных луча, идущих на расстоянии $l = 10$ мм друг от друга. Определите толщину d пластинки, если угол падения луча $\alpha = 45^\circ$.

■ **1270.** Свет от источника, висящего над аквариумом высотой h , падает в форме конусообразного пучка с углом раствора 2α на поверхность воды, полностью заполняющую аквариум. На расстоянии H от поверхности воды расположена плоская стеклянная пластинка толщиной d . Определите изменение ΔR радиуса светового пятна на дне аквариума, если убрать стеклянную пластинку и слить воду. Показатели преломления стекла и воды равны соответственно n и n_0 .

■ **1271.*** Падающий на грань призмы луч выходит после преломления через смежную грань. Определите максимально допустимое значение преломляющего угла θ призмы, если она сделана из стекла с показателем преломления $n = 1,6$.

■ **1272.*** Сечение стеклянной призмы имеет форму равнобедренного треугольника. Одна из боковых граней посеребрена. Опреде-

лите углы призмы, если при нормальном падении луча света на не посеребренную грань и после двух отражений от боковых граней луч выходит через основание призмы перпендикулярно ему.

■ **1273.*** Луч света падает нормально на равнобедренную призму (рис. 179) с преломляющим углом $\theta = 30^\circ$. Определите показатель преломления n призмы, если угол отклонения луча призмой $\delta = 25^\circ$.

■ **1274.** Луч света падает нормально на одну из боковых граней стеклянной равнобедренной призмы с преломляющим углом $\theta = 45^\circ$.

Показатель преломления стекла $n = 1,4$. Определите угол δ между направлениями падающего на призму и вышедшего из нее лучей.

■ **1275.*** Определите, при каком угле падения α луча света на одну из граней равнобедренной стеклянной призмы (показатель преломления $n = 1,7$) с преломляющим углом $\theta = 60^\circ$ выход луча из второй грани становится невозможным.

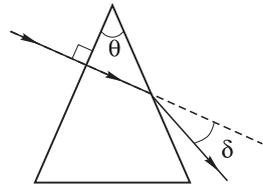


Рис. 179

ТОНКИЕ ЛИНЗЫ

57

Формула тонкой линзы

Формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

Для практического использования формулы линзы следует твердо запомнить **правило знаков**: для собирающей линзы, действительного источника и действительного изображения величины F , d , f считают *положительными*; для рассеивающей линзы,

мнимого источника и мнимого изображения величины F, d, f считают *отрицательными*.

Предмет или источник является *мнимым* только в том случае, если на линзу падает пучок сходящихся лучей.

Таким образом, линза с $F > 0$ является **собирающей** (положительной), а с $F < 0$ — **рассеивающей** (отрицательной).

■ **1276.** Предмет расположен на расстоянии $d = 12$ см от собирающей линзы, фокусное расстояние которой $F = 15$ см. Изображение предмета будет:

- а) действительным увеличенным;
- б) действительным уменьшенным;
- в) мнимым увеличенным;
- г) мнимым уменьшенным.

■ **1277.** Предмет расположен на расстоянии $d = 12$ см от рассеивающей линзы, фокусное расстояние которой $F = 15$ см. Изображение предмета будет:

- а) действительным увеличенным;
- б) действительным уменьшенным;
- в) мнимым увеличенным;
- г) мнимым уменьшенным.

■ **1278.** Чтобы получить действительное уменьшенное изображение предмета, его следует поместить перед собирающей линзой на расстоянии:

- а) $d < F$;
- б) $F < d < 2F$;
- в) $d < 2F$;
- г) $d = F$;
- д) $d = 2F$;
- е) $d > 2F$.

■ **1279.** Чтобы получить действительное увеличенное изображение предмета, его следует поместить перед собирающей линзой на расстоянии:

- а) $d < F$;
- б) $F < d < 2F$;
- в) $d < 2F$;
- г) $d = F$;
- д) $d = 2F$;
- е) $d > 2F$.

■ **1280.** Чтобы получить мнимое увеличенное изображение предмета, его следует поместить перед собирающей линзой на расстоянии:

- а) $d < F$;
- б) $F < d < 2F$;
- в) $d < 2F$;
- г) $d = F$;
- д) $d = 2F$;
- е) $d > 2F$.

■ **1281.** Предмет находится на расстоянии $d = 10$ см от собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 25$ см. Определите расстояние f между линзой и изображением предмета.

- **1282.** Предмет находится на расстоянии $d = 30$ см от собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 25$ см. Определите расстояние f между линзой и изображением предмета.
- **1283.** Предмет находится на расстоянии $d = 60$ см от собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 25$ см. Определите расстояние f между линзой и изображением предмета.
- **1284.** Предмет находится на расстоянии $d = 10$ см от рассеивающей линзы с фокусным расстоянием $F = -30$ см. Определите расстояние f между линзой и изображением предмета.
- **1285.** Определите расстояние f от рассеивающей линзы с фокусным расстоянием $F = -30$ см до изображения предмета, если сам предмет расположен на расстоянии $d = 40$ см от линзы.
- **1286.** Определите расстояние f от рассеивающей линзы с фокусным расстоянием $F = -5,0$ см, на котором получится изображение предмета, если сам предмет расположен на расстоянии $d = 10$ см от линзы.
- **1287.** Определите фокусное расстояние F рассеивающей линзы, если предмет находится на расстоянии $d = 10$ см от линзы, а его изображение — на расстоянии $f = 5,0$ см.
- **1288.** Определите фокусное расстояние F собирающей линзы, если предмет находится на расстоянии $d = 10$ см от линзы, а его изображение — на расстоянии $f = 5,0$ см.
- **1289.** Определите фокусное расстояние F собирающей линзы, если предмет находится на расстоянии $d = 20$ см от линзы, а его действительное изображение — на расстоянии $f = 40$ см.
- **1290.** Определите фокусное расстояние F линзы, если для получения изображения в натуральную величину предмет поместили на расстоянии $d = 24$ см от линзы.
- **1291.** Точечный источник света расположен на расстоянии $d = 20$ см от линзы с оптической силой $D = 5,0$ дптр. Определите, на каком расстоянии f от линзы находится изображение источника.
- **1292.** Точечный источник света расположен на расстоянии $d = 20$ см от линзы с оптической силой $d = -2,0$ дптр. Определите, на каком расстоянии f от линзы находится изображение источника.
- **1293.** Мнимое изображение монеты находится на расстоянии $f = 30$ см от линзы с оптической силой $D = 10$ дптр. Определите, на каком расстоянии d монета находится от линзы.

■ **1294.** Определите оптическую силу D рассеивающей линзы, если известно, что предмет расположен перед линзой на расстоянии $d = 50$ см, а его мнимое изображение находится на расстоянии $f = 20$ см от нее.

■ **1295.** Определите фокусное расстояние F и оптическую силу D линзы, если известно, что предмет помещен на расстоянии $d = 40$ см от линзы, а его изображение находится по другую сторону от нее на таком же расстоянии.

■ **1296.** Определите оптическую силу D рассеивающей линзы, если известно, что предмет находится перед линзой на расстоянии $d = 25$ см, а его мнимое изображение — на расстоянии $f = 5,0$ см от нее.

■ **1297.** Предмет расположен на расстоянии $d = 60$ см от линзы с оптической силой $D = 3,0$ дптр. На какую величину Δf изменится расстояние до изображения предмета, если последний приблизить к линзе на расстояние $\Delta d = 15$ см?

■ **1298.** Действительное изображение предмета, полученное с помощью собирающей линзы, находится на расстоянии $f_1 = 40$ см от нее. Если собирающую линзу заменить рассеивающей с таким же фокусным расстоянием, мнимое изображение предмета будет расположено на расстоянии $f_2 = 10$ см от линзы. Определите фокусное расстояние F линз.

■ **1299.** Расстояние a от предмета до переднего фокуса линзы в $k = 4$ раза меньше, чем расстояние a' от его изображения до заднего фокуса. На какую величину Δl изменится расстояние между предметом и его изображением, если предмет приблизить к линзе на расстояние Δd ? Фокусное расстояние линзы F .

58

Увеличение тонкой линзы

Линейное (поперечное) увеличение Γ тонкой линзы:

$$\Gamma = \frac{h'}{h} = \frac{f}{d},$$

где h' — линейный размер изображения, h — линейный размер предмета, d — расстояние от предмета до линзы, f — расстояние от изображения до линзы.

■ **1300.** Размеры изображения, получаемого с помощью собирающей линзы, при перемещении предмета от фокуса к двойному фокусу:

- а) не изменяются;
- б) уменьшаются;
- в) увеличиваются;
- г) изображение исчезает.

■ **1301.** Размеры изображения, получаемого с помощью собирающей линзы, при перемещении предмета от оптического центра к фокусу:

- а) не изменяются;
- б) уменьшаются;
- в) увеличиваются;
- г) изображение исчезает.

■ **1302.** Размеры изображения, получаемого с помощью собирающей линзы, при перемещении предмета от двойного фокуса к бесконечности:

- а) не изменяются;
- б) уменьшаются;
- в) увеличиваются;
- г) изображение исчезает.

■ **1303.** Размеры изображения, получаемого с помощью рассеивающей линзы, при перемещении предмета от фокуса к двойному фокусу:

- а) не изменяются;
- б) уменьшаются;
- в) увеличиваются;
- г) изображение исчезает.

■ **1304.** Размеры изображения, получаемого с помощью рассеивающей линзы, при перемещении предмета от фокуса к оптическому центру:

- а) не изменяются;
- б) уменьшаются;
- в) увеличиваются;
- г) изображение исчезает.

■ **1305.** Размеры изображения, получаемого с помощью собирающей линзы, при перемещении предмета из бесконечности к двойному фокусу:

- а) не изменяются;
- б) уменьшаются;
- в) увеличиваются;
- г) изображение исчезает.

■ **1306.** Расстояние d от предмета до рассеивающей линзы в k раз больше фокусного расстояния F линзы. Определите, во сколько раз p изображение будет меньше предмета.

■ **1307.** Предмет высотой $h = 20$ см расположен перпендикулярно главной оптической оси на расстоянии $d = 60$ см от линзы с оптической силой $D = 4,0$ дптр. Определите расстояние f от линзы до изображения и высоту H изображения.

■ **1308.** Предмет высотой $h = 10$ см расположен перпендикулярно главной оптической оси на расстоянии $d = 60$ см от линзы с оптической силой $D = -2,0$ дптр. Определите расстояние f от линзы до изображения и высоту H изображения.

■ **1309.** Определите фокусное расстояние F линзы с увеличением $\Gamma = 4,0$, если между предметом и его изображением расстояние $l = 80$ см.

■ **1310.** Определите фокусное расстояние F линзы, если при расстоянии от предмета до линзы $d_1 = 24$ см высота изображения $H_1 = 6,0$ см, а при расстоянии $d_2 = 18$ см высота изображения $H_2 = 12$ см.

■ **1311.** На каком расстоянии d от линзы с оптической силой $D = -4,0$ дптр надо поместить предмет, чтобы его изображение получилось в $k = 5$ раз меньше самого предмета?

■ **1312.** Расстояния от предмета до линзы и от линзы до изображения одинаковы: $d = f = 0,25$ м. Во сколько раз Γ увеличится высота изображения, если переместить предмет на расстояние $\Delta d = 10$ см ближе к линзе?

■ **1313.** Предмет расположен перед линзой, которая дает на экране его изображение высотой $H_1 = 48$ мм. При перемещении линзы на экране получают второе четкое изображение предмета высотой $H_2 = 3,0$ мм. Найдите высоту предмета h .

■ **1314.** Линза дает на экране изображение предмета, которое в $\Gamma = 2,0$ раза больше самого предмета. Расстояние d от предмета до линзы больше фокусного расстояния F линзы на $l = 8,0$ см. Определите расстояние f от линзы до экрана.

■ **1315.** На рассеивающую линзу падает цилиндрический пучок света, параллельный главной оптической оси. Радиус пучка $r = 5,0$ см. За линзой на расстоянии $l = 15$ см поставлен экран, на котором получается круглое световое пятно радиусом $R = 25$ см. Определите фокусное расстояние F линзы.

■ **1316.** На какой максимальный угол φ_{\max} может отклониться луч света, падающий параллельно главной оптической оси на линзу радиусом $R = 2,5$ см с фокусным расстоянием $F = 50$ см?

■ **1317.** Действительное изображение миллиметрового деления шкалы, расположенной перед линзой на расстоянии $d = 25$ см, имеет на экране размер $H = 1,6$ см. Определите расстояние f между линзой и экраном.

■ **1318.** Ось Ox прямоугольной системы координат xOy совпадает с главной оптической осью линзы. Определите оптическую силу D линзы, если падающий на нее луч описывается уравнением $y_1 = 2 + 0,4x$ (м), а преломленный — $y_2 = 2$ (м).

■ **1319.** Ось Ox прямоугольной системы координат xOy совпадает с главной оптической осью линзы. Определите оптическую силу D линзы, если падающий на нее луч описывается уравнением $y_1 = 4 - 0,2x$ (м), а преломленный — $y_2 = 4$ (м).

■ **1320.** Ось Ox прямоугольной системы координат xOy совпадает с главной оптической осью линзы, а начало координат — с оптическим центром линзы. Определите оптическую силу D линзы, если точечному источнику света, находящемуся в точке с координатами $(8; 2)$ (см), соответствует изображение в точке с координатами $(20; 5)$ (см).

■ **1321.** Ось Ox прямоугольной системы координат xOy совпадает с главной оптической осью линзы, а начало координат — с оптическим центром линзы. Определите оптическую силу D линзы, если точечному источнику света, находящемуся в точке с координатами $(-8; -2)$ (см), соответствует действительное изображение в точке с координатами $(20; 5)$ (см).

■ **1322.** Ось Ox прямоугольной системы координат xOy совпадает с главной оптической осью линзы, а начало координат — с оптическим центром линзы. Определите оптическую силу D линзы, если точечному источнику света, находящемуся в точке с координатами $(16; 4)$ (см), соответствует изображение в точке с координатами $(8; 2)$ (см).

■ **1323.** Ось Ox прямоугольной системы координат xOy совпадает с главной оптической осью линзы, а начало координат — с оптическим центром линзы. Определите оптическую силу D тонкой линзы, если точечному источнику света, находящемуся в точке с координатами $(-24; -3)$ (см), соответствует изображение в точке с координатами $(16; 2)$ (см).

■ **1324.** Тонкая линза дает увеличенное в $\Gamma_1 = 5,0$ раза действительное изображение предмета. Каким будет увеличение Γ_2 предмета, если на место первой линзы поставить вторую с оптической силой $D_2 = 3D_1$?

■ **1325.** Тонкая линза дает увеличенное в $\Gamma_1 = 2,0$ раза действительное изображение плоского предмета. Если предмет переместить

на $l = 1,2$ см ближе к линзе, то изображение, оставаясь действительным, будет увеличенным в $\Gamma_2 = 4,0$ раза. Определите фокусное расстояние F линзы.

■ **1326.** Высота предмета $h = 10$ см. Тонкая линза дает на экране изображение предмета высотой $H_1 = 30$ см. Предмет переместили на расстояние $\Delta d = 3,0$ см и, передвинув экран на некоторое расстояние Δl , получили на нем изображение высотой $H_2 = 20$ см. Определите фокусное расстояние F линзы.

■ **1327.** Расстояние между лампочкой и экраном $l = 1,5$ м. При размещении между ними тонкой собирающей линзы на расстоянии $d = 60$ см от лампочки на экране образовалось четкое изображение лампочки. Определите фокусное расстояние F линзы. Какое изображение получилось на экране?

■ **1328.** Тонкая рассеивающая линза вставлена в круглое отверстие радиусом R в непрозрачной стенке. Точечный источник света расположен в фокусе линзы. Определите радиус r освещенной области на экране, расположенном за линзой на расстоянии, равном фокусному расстоянию F .

59

Оптические приборы и системы

Оптическая сила D системы тонких линз, сложенных вместе, равна сумме их оптических сил D_i :

$$D = D_1 + D_2 + \dots + D_n = \sum_{i=1}^n D_i.$$

■ **1329.** Два одинаковых вогнутых сферических зеркала радиусами $R_1 = R_2 = R = 80$ см поставлены друг напротив друга таким образом, что их центры совпадают. Определите положение изображения точечного источника света, находящегося на расстоянии $d = 50$ см от первого зеркала на их общей оси, после отражения лучей сначала от первого, а затем от второго зеркала.

■ **1330.** Определите положение изображения источника света, который помещен в фокусе одного из одинаковых вогнутых сферических зеркал, расположенных напротив друг друга так, что их центры совпадают.

■ **1331.** Два одинаковых вогнутых сферических зеркала расположены напротив друг друга так, что их фокусы совпадают. На общей оптической оси зеркал на расстоянии $d = 50$ см от первого расположен точечный источник света. Определите положение изображения f после отражения от обоих зеркал, если радиус кривизны каждого зеркала $R_1 = R_2 = R = 60$ см.

■ **1332.*** Выпуклое и вогнутое сферические зеркала расположены на одной оптической оси на расстоянии $l = 100$ см так, что их отражающие поверхности обращены друг к другу. На каком расстоянии d от вогнутого зеркала необходимо поместить точечный источник света, чтобы лучи, отраженные вогнутым и выпуклым зеркалами, вернулись обратно в исходную точку? Радиусы кривизны зеркал $R = 50$ см.

■ **1333.** Параллельный пучок света падает на систему, состоящую из линзы и вогнутого сферического зеркала с радиусом кривизны $R = 36$ см. Определите фокусное расстояние F линзы, если расстояние между линзой и зеркалом $l = 24$ см и пучок, отразившись от зеркала, собрался в точке на главной оптической оси на расстоянии $f = 12$ см от него.

■ **1334.** Две тонкие линзы с оптическими силами $D_1 = 3,0$ дптр и $D_2 = 4,0$ дптр находятся на расстоянии $l = 0,60$ м друг от друга. Предмет расположен на расстоянии $d_1 = 30$ см перед первой линзой. На каком расстоянии f_2 от второй линзы будет изображение предмета?

■ **1335.*** Определите увеличение Γ системы собирающих тонких линз с фокусными расстояниями $F_1 = 10$ см и $F_2 = 50$ см, находящихся на расстоянии $l = 80$ см друг от друга, если предмет расположить на расстоянии $d = 20$ см от первой линзы.

■ **1336.*** Определите высоту изображения h предмета высотой $H = 4,0$ см, находящегося на расстоянии $d = 25$ см от первой из линз системы, состоящей из двух собирающих тонких линз с фокусными расстояниями $F_1 = 30$ см и $F_2 = 40$ см. Линзы расположены на расстоянии $l = 60$ см друг от друга.

■ **1337.*** Параллельный пучок света падает на тонкую собирающую линзу с фокусным расстоянием $F_1 = 20$ см. На каком расстоянии l

от собирающей линзы необходимо поместить тонкую рассеивающую линзу с фокусным расстоянием $F_2 = -12$ см, чтобы после прохождения системы линз лучи снова шли параллельным пучком?

■ **1338.*** Две собирающие тонкие линзы с фокусными расстояниями $F_1 = F_2 = F = 20$ см расположены на расстоянии $l = 10$ см друг от друга. Предмет находится на оптической оси линзы. При каких положениях предмета система дает действительное изображение?

■ **1339.*** Тонкая собирающая линза дает четкое изображение предмета на экране. Между линзой и экраном на расстоянии $l = 20$ см от экрана помещают рассеивающую линзу. Изображение предмета оказывается на расстоянии $f_2 = 30$ см от рассеивающей линзы. Определите фокусное расстояние F рассеивающей линзы.

■ **1340.*** Тонкая собирающая линза помещена между лампой и экраном, которые находятся на расстоянии $l = 80$ см друг от друга. Линза дает четкое изображение лампы. Если между лампой и собирающей линзой на расстоянии $a = 30$ см от лампы поместить тонкую рассеивающую линзу, то изображение исчезнет. Если увеличить на $b = 30$ см расстояние между лампой и экраном, то на экране появится новое изображение. Определите фокусное расстояние F рассеивающей линзы.

■ **1341.*** На тонкую собирающую линзу с фокусным расстоянием $F_1 = 40$ см параллельно ее главной оптической оси падает пучок света. За этой линзой соосно с ней на некотором расстоянии l расположена тонкая рассеивающая линза с фокусным расстоянием $F_2 = -40$ см таким образом, что после прохождения через нее свет собирается в некоторой точке S . Определите смещение Δl этой точки, если линзы поменять местами.

■ **1342.*** Сходящийся световой пучок падает на тонкую рассеивающую линзу таким образом, что продолжения всех лучей пересекаются в точке, лежащей на главной оптической оси линзы на расстоянии $f = 10$ см от нее. Определите фокусное расстояние F линзы, если после преломления в ней лучи собираются в точке, находящейся на расстоянии $f_1 = 50$ см от линзы.

■ **1343.*** Сходящийся пучок света падает на тонкую собирающую линзу с фокусным расстоянием $F = 8,0$ см. После преломления в линзе лучи сошлись на расстоянии $f = 4,0$ см от нее. Определите, на каком расстоянии f_0 от того места, где находилась линза, пересекутся лучи, если ее убрать.

■ **1344.*** В главном фокусе тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием F поместили тонкую рассеивающую линзу. Предмет находится по другую сторону от собирающей линзы на расстоянии $4F$ от нее. Определите фокусное расстояние F_x рассеивающей линзы, если данная система дает увеличенное в $\Gamma = 3$ раза действительное изображение предмета.

■ **1345.*** На тонкую собирающую линзу с фокусным расстоянием $F_1 = 30$ см падает параллельный пучок света радиусом $R_1 = 1,5$ см. За этой линзой расположена тонкая рассеивающая линза с фокусным расстоянием $F_2 = -10$ см, причем главные оптические оси линз и ось симметрии пучка совпадают. Определите радиус R_2 пучка, выходящего из второй линзы, если известно, что лучи в нем параллельны.

■ **1346.*** Маленький воздушный пузырек всплывает вдоль оси прямоугольного сосуда, заполненного жидкостью с показателем преломления $n = 1,4$ (рис. 180). С помощью тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см его изображение проецируют на экран. В момент пересечения главной оптической оси линзы перемещение изображения пузырька на экране происходит со скоростью, модуль которой $v = 60 \frac{\text{см}}{\text{с}}$. Определите модуль скорости v_0

пузырька, если ширина сосуда $l = 50$ см, а расстояние от сосуда до линзы $L = 10$ см.

■ **1347.*** На рисунке 181 изображены главная оптическая ось тонкой собирающей линзы, положения ее фокусов и размеры самой линзы, а также точечный источник света S . Определите построением области, в которых: а) одновременно не видны ни источник, ни его изображение в линзе; б) одновременно видны источник и его изображение.

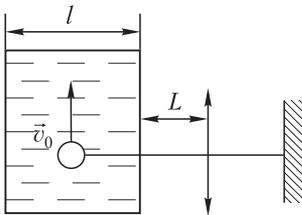


Рис. 180

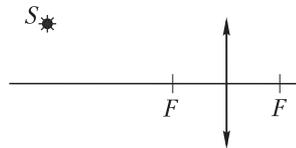


Рис. 181

■ **1348.*** С помощью тонкой собирающей линзы получено изображение трезубца (рис. 182). Основание трезубца ABC находится на главной оптической оси линзы. $AB = BC$. Определите увеличение Γ отрезка BE , если увеличение отрезка CD — Γ_1 , а отрезка AG — Γ_2 .

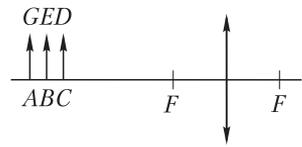


Рис. 182

■ **1349.*** Оптическая система состоит из тонкой рассеивающей линзы и плоского зеркала, расположенного перпендикулярно ее главной оптической оси на расстоянии F от него (рис. 183). Предмет AB расположен в фокальной плоскости перед линзой. Определите построением положение его изображения, даваемого такой системой, и найдите увеличение изображения Γ .

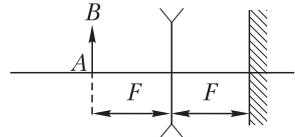


Рис. 183

■ **1350.*** Оптическая система состоит из тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием F и плоского зеркала, расположенного перпендикулярно ее главной оптической оси (рис. 184). Эта оптическая система создает действительное изображение предмета AB , находящегося между линзой и ее фокусом на расстоянии d от линзы, с увеличением $\Gamma = \frac{F}{d}$. Определите расстояние l

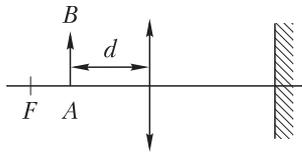


Рис. 184

между линзой и зеркалом.

■ **1351.*** Трапеция $ABCD$ расположена так, что ее параллельные стороны перпендикулярны главной оптической оси (рис. 185). Тонкая линза дает действительное изображение трапеции в виде прямоугольника. Если повернуть трапецию на 180° вокруг стороны AB , то линза даст изображение в виде трапеции с теми же углами. Определите увеличение Γ стороны AB .

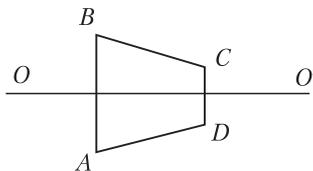


Рис. 185

■ **1352.*** Оптическая система, состоящая из тонких рассеивающей и собирающей линз, расположенных на одной оптической оси на расстоянии $l = 5,0$ см друг от друга, создает действительное изображение предмета, находящегося на расстоянии $d = 8,0$ см от рассеивающей линзы. Поперечное увеличение системы $\Gamma = \frac{1}{6}$. Изображение полу-

чено на экране, находящемся на расстоянии $f = 4,0$ см от собирающей линзы. Определите построением положения главных фокусов обеих линз и найдите их фокусные расстояния F_1 и F_2 .

■ **1353.*** Две тонкие собирающие линзы с одинаковыми фокусными расстояниями $F_1 = F_2 = F$ расположены так, что их главные оптические оси совпадают. Расстояние между линзами $l = 4F$. Эта система линз дает изображение точечного источника света, находящегося на главной оптической оси на расстоянии $d = 2F$ от первой линзы. В какую сторону и на сколько сместится изображение источника, если ближнюю к источнику линзу сместить перпендикулярно главной оптической оси на расстояние $\Delta l = 1,0$ см?

■ **1354.*** Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F и зеркального шарика радиусом R (рис. 186). Определите расстояние d от линзы до источника света, если изображение источника совпадает с ним самим. Расстояние между линзой и центром шарика l .

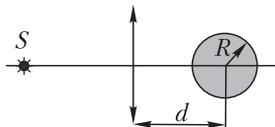


Рис. 186

■ **1355.*** Луч света падает нормально на плоскую поверхность стеклянного полушара (рис. 187). Расстояние между лучом и осью OO' $a = 1,5$ см. На каком расстоянии h от плоской поверхности полушара этот луч, преломившись на сферической поверхности, пересечет ось OO' ? Показатель преломления стекла $n = 1,5$, радиус шара $R = 3,0$ см.

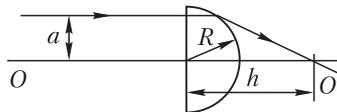


Рис. 187

■ **1356.*** Широкий световой пучок падает нормально на основание стеклянного полушара с показателем преломления $n = 1,43$. Определите максимальный угол φ_{\max} отклонения от начального направления лучей, прошедших через полушар.

■ **1357.*** Жук движется к тонкой собирающей линзе с фокусным расстоянием F и пересекает ее главную оптическую ось на расстоянии $d = 3F$ под малым углом α к оси линзы со скоростью, равной по модулю v . Определите угол β , под которым изображение жука пересекает главную оптическую ось, и модуль скорости v_1 перемещения изображения.

■ **1358.*** Муха движется к тонкой рассеивающей линзе с фокусным расстоянием F и пересекает ее главную оптическую ось на расстоянии $d = 4F$ под малым углом α к оси линзы со скоростью, модуль которой v . Определите угол β , под которым изображение мухи пересекает главную оптическую ось, и модуль скорости v_1 перемещения ее изображения.

60

Построение изображений предметов в тонких линзах и системах тонких линз

Для построений в линзах используют два из трех характерных (стандартных) луча (рис. 188):

луч, идущий через оптический центр линзы, не испытывает преломления;

луч, параллельный главной оптической оси, после преломления проходит через главный фокус;

луч, проходящий через главный фокус, после преломления идет параллельно главной оптической оси.

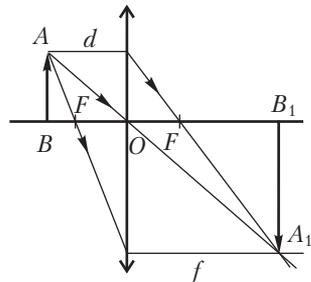


Рис. 188. Стандартные лучи для построения в линзах

■ **1359.** Оптическим центром линзы (рис. 189) является точка:

- а) A ; в) C ;
 б) B ; г) D .

■ **1360.** Главным фокусом линзы (рис. 190) является точка:

- а) A ; в) C ;
 б) B ; г) D .

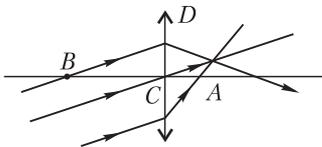


Рис. 189

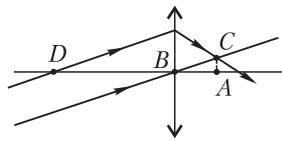


Рис. 190

■ **1361.** Побочным фокусом линзы (рис. 191) является точка:

- а) A ; в) C ;
 б) B ; г) D .

■ **1362.** Фокальной плоскостью линзы (рис. 192) является плоскость:

- а) AA' ; в) CC' ;
 б) BB' ; г) OO' .

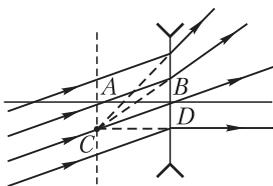


Рис. 191

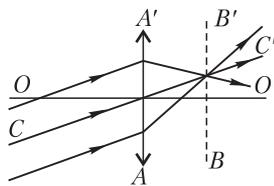


Рис. 192

■ **1363.** Выберите на рисунке 193 луч, который не является основным при построении изображений в тонких линзах.

■ **1364.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 194).

■ **1365.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 195).

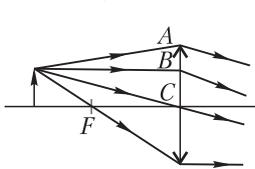


Рис. 193

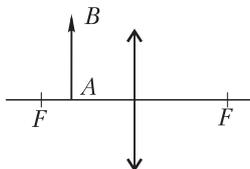


Рис. 194

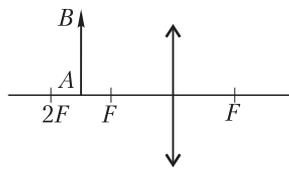


Рис. 195

■ **1366.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 196).

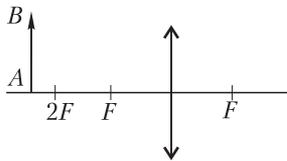


Рис. 196

■ **1367.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 197).

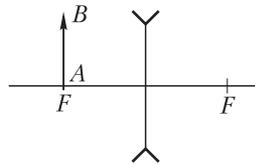


Рис. 197

■ **1368.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 198).

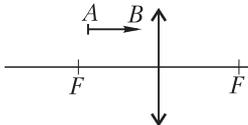


Рис. 198

■ **1369.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 199).

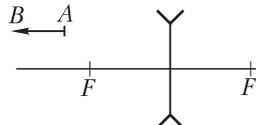


Рис. 199

■ **1370.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 200).

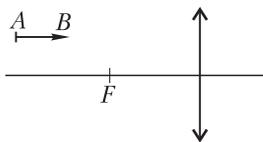


Рис. 200

■ **1371.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 201).

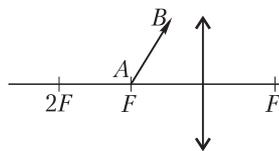


Рис. 201

■ **1372.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 202).

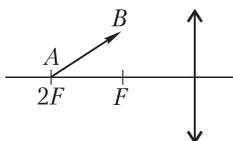


Рис. 202

■ **1373.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 203).

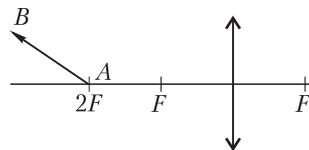


Рис. 203

■ **1374.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 204).

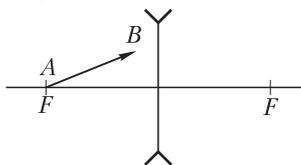


Рис. 204

■ **1375.** Постройте изображение точечного источника в тонкой линзе (рис. 205).

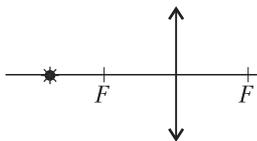


Рис. 205

■ **1376.** Постройте изображение точечного источника в тонкой линзе (рис. 206).

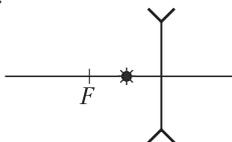


Рис. 206

■ **1377.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 207).

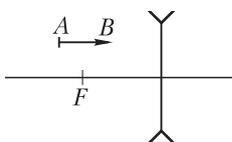


Рис. 207

■ **1378.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 208).

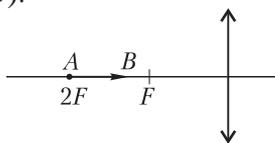


Рис. 208

■ **1379.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 209).

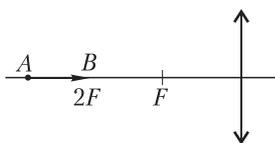


Рис. 209

■ **1380.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 210).

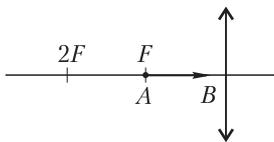


Рис. 210

■ **1381.** Постройте изображение предмета AB в тонкой линзе (рис. 211).

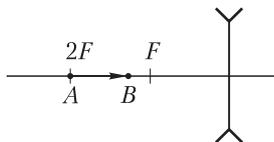


Рис. 211

■ **1382.*** Постройте изображение квадрата в тонкой линзе (рис. 212).

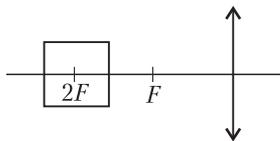


Рис. 212

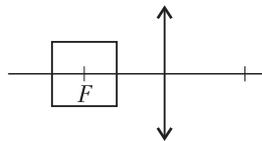


Рис. 213

■ **1384.*** Постройте изображения стрелок в тонкой линзе (рис. 214).

■ **1385.** Постройте ход луча в тонкой линзе (рис. 215).

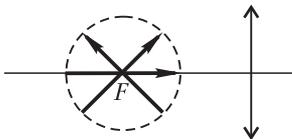


Рис. 214

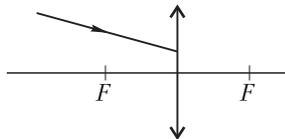


Рис. 215

■ **1386.** Постройте ход луча в тонкой линзе (рис. 216).

■ **1387.** Найдите построением положение фокусов тонкой линзы, если известен ход данного луча и положение ее главной оптической оси (рис. 217).

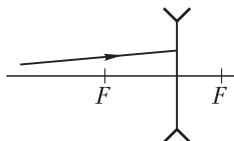


Рис. 216

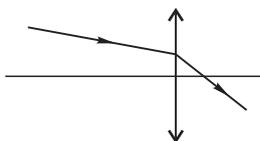


Рис. 217

■ **1388.** Найдите построением положение фокусов тонкой линзы, если известен ход данного луча и положение ее главной оптической оси (рис. 218).

■ **1389.** Постройте ход луча 2 в тонкой линзе (рис. 219).

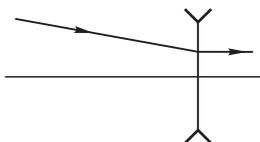


Рис. 218

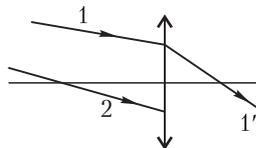


Рис. 219

■ **1390.** Постройте ход луча 2 в тонкой линзе (рис. 220).

■ **1391.** На рисунке 221 представлены положения точечного источника света S , его изображения S' и главной оптической оси тонкой линзы. Найдите построением положения оптического центра и главных фокусов линзы. Определите тип линзы.

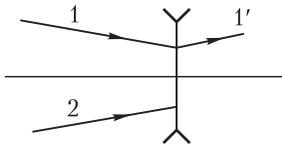


Рис. 220



Рис. 221

■ **1392.** На рисунке 222 представлены положения точечного источника света S , его изображения S' и главной оптической оси тонкой линзы. Найдите построением положения оптического центра и главных фокусов линзы. Определите тип линзы.

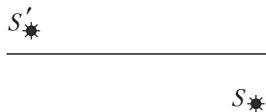


Рис. 222

■ **1393.** На рисунке 223 представлены положения точечного источника света S , его изображения S' и главной оптической оси тонкой линзы. Найдите построением положения оптического центра и главных фокусов линзы. Определите тип линзы.



Рис. 223

■ **1394.** На рисунке 224 представлены положения точечного источника света S , его изображения S' и главной оптической оси тонкой линзы. Найдите построением положения оптического центра и главных фокусов линзы. Определите тип линзы.



Рис. 224

■ **1395.** Определите положение главных фокусов тонкой линзы и определите ее тип, если известны положения оптического центра O и оптической оси линзы, источника S и его изображения S' (рис. 225). Охарактеризуйте данное изображение.



Рис. 225

■ **1396.** Определите положение главных фокусов тонкой линзы и определите ее тип, если известны положения оптического центра O и оптической оси линзы, источника S и его изображения S' (рис. 226). Охарактеризуйте данное изображение.

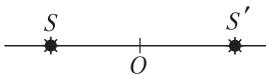


Рис. 226

■ **1397.** Определите положение главных фокусов тонкой линзы и определите ее тип, если известны положения оптического центра O и оптической оси линзы, источника S и его изображения S' (рис. 227). Охарактеризуйте данное изображение.



Рис. 227

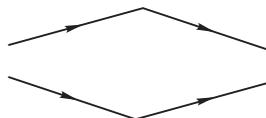


Рис. 228

■ **1399.** Определите построением положение тонкой линзы и ее фокусов для хода лучей, изображенных на рисунке 229.

■ **1400.** Постройте дальнейший ход луча в системе тонких линз, изображенных на рисунке 230.

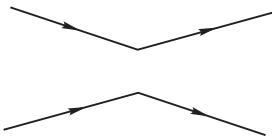


Рис. 229

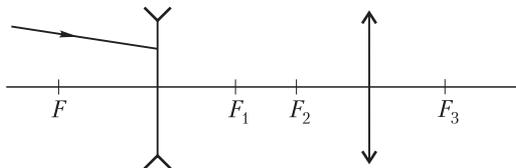


Рис. 230

■ **1401.*** Постройте дальнейший ход луча в системе тонких линз, изображенных на рисунке 231.

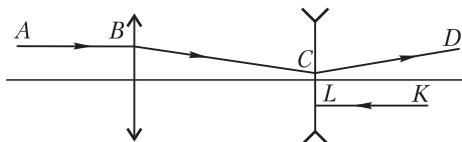


Рис. 231

Оптические приборы. Глаз

Лупа — оптический прибор (собирающая линза), позволяющий увеличить угол зрения.

Увеличение лупы, когда *глаз аккомодирован на бесконечность*:

$$\Gamma = \frac{d_0}{F}, \quad (1)$$

где $d_0 = 25$ см — расстояние наилучшего зрения, F — фокусное расстояние лупы.

В этом случае человек видит предмет через лупу без напряжения, т. е. глазные мышцы достаточно долго не утомляются.

Увеличение лупы, когда *глаз аккомодирован на расстояние наилучшего зрения*:

$$\Gamma = \frac{d_0}{F} + 1.$$

Однако в этом случае глаз находится в напряженном состоянии и довольно быстро устает. Поэтому, когда человек достаточно долго смотрит в лупу, то глаз очень скоро аккомодируется на бесконечность. Таким образом, чаще увеличение лупы определяется формулой (1).

Микроскоп — оптический прибор для получения сильно увеличенных изображений объектов или деталей их структуры, не видимых невооруженным взглядом.

Увеличение микроскопа:

$$\Gamma = \frac{lD}{F_1 F_2},$$

где l — оптическая длина тубуса микроскопа, т. е. расстояние между фокальными точками F_1 и F_2 , $D = 25$ см — расстояние наилучшего зрения для нормального (усредненного) глаза.

Телескопы — астрономические оптические приборы, предназначенные для наблюдения небесных тел. Простейшим телескопом является подзорная труба. Подзорная труба с собирающим окуляром называется **трубой Кеплера**.

Увеличение Γ , даваемое трубой Кеплера:

$$\Gamma = \frac{F_1}{F_2},$$

где F_1 — фокусное расстояние объектива, F_2 — фокусное расстояние окуляра.

- **1402.** Расстояние наилучшего зрения нормального глаза равно:
а) 15 см; б) 25 см; в) 35 см; г) 45 см.
- **1403.** Если человек читает газету, приближая текст к глазам на расстояние $d = 15$ см, то у него:
а) дальновзоркость; в) нормальное зрение;
б) близорукость; г) ответ неоднозначен.
- **1404.** Если человек читает газету, отодвигая текст от глаз на расстоянии $d = 45$ см, то у него:
а) дальновзоркость; в) нормальное зрение;
б) близорукость; г) ответ неоднозначен.
- **1405.** Для исправления дальновзоркости применяют очки, стекла которых имеют оптическую силу D , причем:
а) $D > 0$; б) $D < 0$; в) $D = 0$; г) $D = \infty$.
- **1406.** Для исправления близорукости применяют очки, стекла которых имеют оптическую силу D , причем:
а) $D > 0$; б) $D < 0$; в) $D = 0$; г) $D = \infty$.
- **1407.** Определите увеличение Γ лупы, если ее фокусное расстояние $F = 30$ мм.
- **1408.** Определите фокусное расстояние F лупы, если ее увеличение $\Gamma = 5$.
- **1409.** Определите, на сколько может изменяться фокусное расстояние глаза, если его оптическая сила изменяется от $D_1 = 40$ дптр до $D_2 = 60$ дптр.
- **1410.** На каком расстоянии d от рассматриваемого предмета необходимо расположить лупу для его наблюдения, если на ней указано $10\times$?
- **1411.** Какое максимальное увеличение Γ можно получить, используя лупу с фокусным расстоянием $F = 15$ см для близорукого глаза с расстоянием наилучшего зрения $d_0 = 10$ см? Можно ли использовать эту лупу для такого глаза?
- **1412.** Определите оптическую силу D лупы, которая дает увеличение $\Gamma = 4$.

- **1413.** Определите увеличение Γ лупы, если ее фокусное расстояние $F = 2,5$ см, а расстояние от предмета до его изображения, даваемого лупой, $l = 20$ см.
- **1414.** Какое максимальное увеличение Γ можно получить, используя лупу с фокусным расстоянием $F = 15$ см, если глаз аккомодирован на расстояние наилучшего зрения.
- **1415.** При фотографировании здания с расстояния $l = 30$ м его высота на негативе $h = 5,0$ мм. Определите действительную высоту H здания, если фокусное расстояние объектива $F = 50$ мм.
- **1416.** Определите расстояние d , с которого необходимо фотографировать здание длиной $l = 30$ м, чтобы весь фасад здания поместился в кадре пленки размером 24×36 мм. Фокусное расстояние объектива $F = 50$ мм.
- **1417.** Определите увеличение Γ лупы с фокусным расстоянием $F = 6,0$ см для дальновзоркого, нормального и близорукого глаза с расстояниями наилучшего зрения $d_{01} = 80$ см, $d_{02} = 25$ см и $d_{03} = 15$ см соответственно. Глаз аккомодирован на бесконечность.
- **1418.** Определите увеличение Γ проекционного аппарата, если его объектив имеет фокусное расстояние $F = 10$ см и размещен на расстоянии $f = 4,0$ м от экрана.
- **1419.** Фокусное расстояние объектива фотоаппарата $F = 15$ см. Определите расстояние d от объектива, на котором необходимо поместить предмет, чтобы снимок получился в 8 раз меньше самого предмета.
- **1420.** При фотографировании с расстояния $d = 50$ м высота дерева на снимке оказалась равной $H = 6,0$ мм. Определите высоту h дерева, если фокусное расстояние объектива $F = 30$ мм.
- **1421.** Определите увеличение Γ , даваемое проекционным аппаратом, если его объектив имеет фокусное расстояние $F = 18$ см и размещен на расстоянии $f = 4,5$ м от экрана.
- **1422.** Определите расстояние d , с которого был сделан фотоснимок поезда, если высота вагона на снимке $H = 9,0$ мм, а его действительная высота $h = 3,0$ м. Фокусное расстояние объектива фотоаппарата $F = 15$ см.
- **1423.** Размер диапозитива $8,0 \times 8,0$ мм. Определите фокусное расстояние F объектива проекционного аппарата, если на экране, находящемся на расстоянии $f = 3,0$ м от него, получается изображение размером $1,0 \times 1,0$ м.

■ **1424.** Рисунок на диапозитиве имеет высоту $h = 3,0$ см, а на экране — $H = 120$ см. Определите оптическую силу D объектива проекционного аппарата, если расстояние от объектива до диапозитива $d = 10$ см.

■ **1425.** Фотоаппарат имеет объектив, оптическая сила которого $D = 50$ дптр. Определите расстояние d , на котором должен находиться человек ростом $h = 180$ см, чтобы изображение на фотопластинке получилось высотой $H = 8,0$ см.

■ **1426.** Определите необходимую выдержку τ при фотографировании легкоатлета, бегущего со скоростью, модуль которой $v = 30 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, чтобы размытость изображения составляла $\Delta f \leq 0,15$ мм.

Главное фокусное расстояние объектива $F = 20$ см, расстояние до легкоатлета $d = 15$ м.

■ **1427.** С самолета, летящего на высоте $H = 4$ км, необходимо сфотографировать местность так, чтобы получить снимки в масштабе $1 : 10\,000$. Каким должно быть фокусное расстояние объектива фотоаппарата в этом случае?

■ **1428.*** Определите оптическую силу D очков, если изображение предмета получается на расстоянии $f_1 = 22$ мм от хрусталика глаза. Расстояние от хрусталика до сетчатки глаза $f = 25$ мм.

■ **1429.*** Определите оптическую силу D очков, если изображение предмета получается на расстоянии $f_1 = 30$ мм от хрусталика глаза. Расстояние от хрусталика до сетчатки глаза $f = 25$ мм.

■ **1430.*** Определите изменение оптической силы ΔD хрусталика глаза при переводе взгляда с облаков за окном на страницу книги.

■ **1431.*** Близорукий человек носит очки, в которых видит удаленные предметы так же хорошо, как человек с нормальным зрением. Определите минимальное расстояние d_{\min} , на котором он в очках может рассматривать различные предметы, если ближний и дальний пределы аккомодации его глаз $d_1 = 15$ см и $d_2 = 40$ см.

■ **1432.*** Глаза близорукого человека аккомодируют, не напрягаясь при рассматривании предметов, находящихся на расстоянии не меньше $d = 15$ см. Определите оптическую силу D очков, которые надо надеть, чтобы увеличить это расстояние до $d_0 = 25$ см.

■ **1433.*** Расстояние наилучшего зрения для пожилого человека $d_1 = 80$ см. Определите оптическую силу D очков, способных обеспечить ему уменьшение этого расстояния до $d_0 = 25$ см.

■ **1434.** Можно ли в воде для рассматривания предметов пользоваться лупой?

■ **1435.** При съемке фотоаппаратом с расстояния $d_1 = 2,0$ м высота изображения предмета на пленке $H_1 = 15$ мм, а при съемке с расстояния $d_2 = 3,0$ м — $H_2 = 8,0$ мм. Определите высоту h предмета и фокусное расстояние F объектива фотоаппарата.

■ **1436.** Определите выдержку τ , необходимую для того, чтобы сфотографировать погружение спортсмена в воду при прыжке с вышки высотой $H = 5,0$ м, если допустимая размытость изображения на негативе не должна превышать $\Delta h = 0,10$ мм. Фотоаппарат, фокусное расстояние объектива которого $F = 5,0$ см, установлен на расстоянии $d = 4,0$ м от места погружения. Можно ли сфотографировать погружение спортсмена этим фотоаппаратом?

■ **1437.*** Зритель с нормальным зрением смотрит в театральный бинокль на сцену, находящуюся от него на значительном расстоянии. Оптическая сила объектива $D_{об} = 4,0$ дптр, окуляра — $D_{ок} = -16$ дптр. Определите расстояние l , на котором должны быть расположены объектив и окуляр бинокля, чтобы зритель четко видел сцену.

■ **1438.*** В микроскопе фокусное расстояние объектива $F_{об} = 5,0$ мм, окуляра — $F_{ок} = 25$ мм. Определите увеличение Γ предмета, находящегося на расстоянии $d = 5,2$ мм от объектива, если предмет рассматривает человек с нормальным зрением.

■ **1439.*** В зрительную трубу с фокусными расстояниями объектива и окуляра $F_{об} = 40$ см и $F_{ок} = 4,0$ см соответственно рассматривают удаленный предмет, который невооруженным глазом виден под углом $\alpha = 30'$. Определите угол β , под которым виден этот предмет в трубу, если она установлена так, что далекие предметы наблюдаются в нее глазом, аккомодированным на бесконечность.

■ **1440.*** Объектив и окуляр зрительной трубы Галилея имеют фокусные расстояния $F_{об} = 50$ см и $F_{ок} = -4,0$ см соответственно. Окуляр расположен на расстоянии $f = 10$ см от экрана. Определите, при каком расстоянии l между объективом и окуляром на экране получится четкое изображение Солнца.

ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

62

Элементы теории относительности

Первый постулат (постулат относительности): все законы физики, описывающие любые физические явления, должны иметь одинаковый вид во всех инерциальных системах отсчета (ИСО).

Второй постулат (постулат постоянства скорости света): во всех ИСО скорость света в вакууме одинакова и не зависит от скорости движения источника.

Релятивистское замедление времени. Часы, движущиеся равномерно относительно данной ИСО, идут медленнее неподвижных часов и показывают тем больший промежуток времени, чем больше их скорость движения в соответствии с соотношением:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Релятивистское сокращение длины. Линейный размер движущегося тела сокращается в направлении движения:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

Длина l_0 называется **собственной длиной** стержня, т. е. это длина стержня в ИСО, относительно которой он покоится.

Поперечные размеры тела при движении не изменяются.

Энергия покоя E_0 тела пропорциональна его массе:

$$E_0 = mc^2.$$

Закон взаимосвязи изменений массы и энергии покоя:

$$\Delta m = \frac{\Delta E_0}{c^2}.$$

■ **1441.** Первый постулат теории относительности утверждает, что:
 а) в любых ИСО все волновые процессы при одинаковых начальных условиях протекают одинаково;

б) в любых ИСО все физические явления при одинаковых начальных условиях протекают одинаково;

в) в любых ИСО только световые явления протекают одинаково;

г) в любых ИСО только механические явления протекают одинаково.

■ **1442.** Второй постулат теории относительности утверждает, что:
 а) во всех ИСО скорость звука в веществе одинакова и не зависит от скорости движения как источника, так и приемника света;

б) скорость света зависит от скорости движения приемника света;

в) во всех ИСО скорость света в вакууме одинакова и не зависит от скорости движения как источника, так и приемника света;

г) скорость света зависит от скорости движения источника света.

■ **1443.** Модуль скорости света в вакууме равен:

а) $212\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$;

в) $30 \frac{\text{км}}{\text{с}}$;

б) $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$;

г) $300 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

■ **1444.*** Релятивистский закон сложения параллельных скоростей имеет вид:

а) $v = \frac{v' + V}{1 + \frac{v'V}{c^2}}$;

в) $v' = \frac{v - V}{1 + \frac{vV}{c^2}}$;

б) $v' = v + V$;

г) $v' = \frac{v + V}{1 - \frac{vV}{c^2}}$.

■ **1445.*** Релятивистский импульс вычисляется по формуле¹:

а) $\vec{p} = m\vec{v}$;

б) $\vec{p} = \gamma m\vec{v}$;

в) $\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\gamma}$;

г) $p = \frac{E}{c^2}$.

¹ Множитель γ вычисляется по формуле: $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.

■ **1446.*** Релятивистская энергия вычисляется по формуле:

а) $E = \frac{mv^2}{2}$;

в) $E = \frac{mc^2}{\gamma}$;

б) $E = \frac{mc^2}{2}$;

г) $E = \gamma mc^2$.

■ **1447.** В релятивистской механике энергия покоя тела:

а) $E_0 = 0$;

в) $E_0 = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$;

б) $E_0 = mc^2$;

г) $E_0 = \frac{mv^2}{2}$.

■ **1448.** Согласно закону взаимосвязи энергии и массы увеличение энергии ΔE системы связано с увеличением ее массы Δm формулой:

а) $\Delta E = \Delta mc^2$;

в) $\Delta E = 0$;

б) $\Delta E = \frac{\Delta mv^2}{2}$;

г) $\Delta E = \Delta mc^2 - \Delta mv^2$.

■ **1449.** Чем отличается скорость передачи взаимодействий между телами в классической и релятивистской физике?

■ **1450.** В чем отличие принципа относительности Галилея от принципа относительности Эйнштейна?

■ **1451.*** Линейка, ориентированная вдоль направления движения, имеет скорость, модуль которой составляет 75 % скорости света. Определите длину l линейки для неподвижного наблюдателя, если ее собственная длина $l_0 = 1,0$ м.

■ **1452.*** Мезоны космических лучей достигают поверхности Земли со скоростью, модуль которой $v = 0,8c$ (c — скорость света в вакууме). Найдите отношение $\frac{l}{l_0}$ продольных размеров релятивист-

ского объекта, движущегося с такой же по модулю скоростью, где l_0 — длина покоящегося объекта (собственная длина).

■ **1453.*** Определите модуль скорости v движения тела, при которой его продольные размеры уменьшились в $k = 8$ раз.

■ **1454.*** Определите модуль скорости v движения космического корабля относительно Земли, если течение времени на корабле за-

медлилось в $k = 10,0$ раза относительно наблюдателя, находящегося на Земле.

■ **1455.** Какому изменению массы Δm системы соответствует изменение ее энергии на $\Delta E = 1,0$ кДж?

■ **1456.** Какому изменению массы Δm соответствует энергия, потребляемая лампочкой мощностью $P = 60$ Вт в течение года?

■ **1457.** Определите изменение массы Δm , которому соответствует световая энергия, поглощенная Землей вследствие излучения Солнца в течение года. Известно, что на квадратный метр поверхности, перпендикулярной направлению солнечных лучей, приходится мощность светового излучения $P = 1,4$ кВт.

■ **1458.*** При каком модуле скорости v движения тела сокращение его продольных размеров составит $\eta = 40$ %?

■ **1459.** Почему практически невозможно экспериментально обнаружить увеличение массы тела при его нагревании?

■ **1460.** Как будет изменяться модуль скорости тела под действием постоянной силы при скоростях, модули которых близки к модулю скорости распространения света в вакууме?

■ **1461.** Найдите отношение релятивистской энергии песка массой $m = 1,0$ г и энергии, выделяющейся при сгорании угля массой $m = 1,0$ г.

■ **1462.** При взрыве тринитротолуола $m = 1,0$ т высвобождается энергия $\Delta E = 4,2 \cdot 10^9$ Дж. При какой релятивистской массе ΔM тело обладает такой же энергией?

■ **1463.** Определите модуль скорости v движения частицы относительно ИСО, если ее продольный размер в этой системе отсчета уменьшился в $k = 1,96$ раза.

■ **1464.** Определите отношение значений кинетической энергии электрона, движущегося со скоростью, модуль которой $v = 0,75c$, полученных по формулам релятивистской и классической механики.

■ **1465.** Определите модуль скорости v частицы, при которой ее полная энергия E больше ее энергии покоя E_0 в $k = 4$ раза.

■ **1466.*** Пион (нестабильная частица с временем жизни $\tau = 2,6 \cdot 10^{-8}$ с) движется со скоростью, модуль которой $v = 0,95c$. Определите, во сколько раз k при этом увеличивается время жизни пиона. На какое расстояние Δl он переместится за это время?

■ **1467.*** Среднее время жизни пиона $\tau_0 = 2,60 \cdot 10^{-8}$ с. Определите, с какой по модулю скоростью v должен двигаться пион, чтобы до распада пролететь расстояние $l = 50,0$ м.

■ **1468.*** Определите, на сколько наносекунд отстанут от часов, покоящихся на Земле, часы, находящиеся в движущейся системе отсчета, например на летательном аппарате, если последний пролетит расстояние $l = 60\,000$ км со скоростью, модуль которой $v = 1000 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

■ **1469.*** Релятивистская частица движется со скоростью, модуль которой $v = 0,98c$. Определите, во сколько раз k полная энергия движущейся частицы больше ее энергии покоя.

■ **1470.** Какому изменению массы Δm соответствует энергия, выделяющаяся при взрыве 20-мегатонной водородной бомбы? Энергетический эквивалент тринитротолуола равен $\frac{W}{m} = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{г}}$.

■ **1471.** Вычислите модуль импульса p протона $\left(\text{в } \frac{\text{МэВ}}{c} \right)$, если известно, что его кинетическая энергия $E_k = 500$ МэВ.

■ **1472.** Определите изменение массы Δm , которому соответствует энергия, сообщенная воде объемом $V = 3,0$ л в чайнике при нагревании от температуры $t_1 = 20$ °С до температуры кипения.

■ **1473.** Вычислите модуль ускорения a электрона, движущегося в ускорителе вдоль силовых линий однородного электрического поля, модуль напряженности которого $E = 25 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$, в тот момент, когда его кинетическая энергия $W_k = 0,5 m_e c^2$, где m_e — масса электрона.

■ **1474.** Определите изменение массы Δm , которому соответствует разность энергий воды в озере летом и зимой. Перепад температуры воды в озере $\Delta t = 25$ °С. Объем воды в озере $V = 6,0 \cdot 10^6$ м³.

■ **1475.** С поверхности Солнца каждую секунду излучается энергия $\Delta E = 3,8 \cdot 10^{26}$ Дж. Масса Солнца $M = 2,0 \cdot 10^{30}$ кг. Через сколько лет t масса Солнца уменьшится на один процент?

■ **1476.** Определите модуль импульса p и кинетическую энергию E электрона, движущегося со скоростью, модуль которой

$v = 6,4 \cdot 10^7 \frac{\text{М}}{\text{с}}$. На сколько процентов вы ошибетесь, если примените для расчета классические формулы?

■ **1477.*** Какой промежуток времени Δt человек должен ехать на велосипеде, чтобы затраченной им энергии соответствовало изменение массы $\Delta m = 1,0 \text{ кг}$? Известно, что на велосипеде человек развивает полезную мощность $P = 375 \text{ Вт}$. КПД человеческого организма $\eta \approx 25 \%$, т. е. 75 % пищи сгорает, превращаясь в теплоту, и лишь 25 % переходит в полезную работу. Рассмотрите нерелятивистский и релятивистский случаи. Примите удельную теплоту сгорания пищи $q = 29 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$.

■ **1478.*** Сколько времени τ пройдет на Земле, если в ракете, движущейся относительно Земли со скоростью, модуль которой $v = 0,95c$, пройдет время $\tau_0 = 10$ лет?

■ **1479.*** В точки, расположенные на концах вагона длиной $l_0 = 20 \text{ м}$, движущегося со скоростью, модуль которой $v = 250 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, ударяют молнии. В системе отсчета, связанной с Землей, молнии ударили в оба конца вагона одновременно. Определите разность τ во времени между двумя ударами в системе отсчета, связанной с вагоном. Оцените, может ли пассажир вагона заметить эту разницу во времени.

■ **1480.** Определите период вращения T релятивистской частицы с зарядом q , движущейся со скоростью, модуль которой v , в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B(\vec{v} \perp \vec{B})$.

■ **1481.*** Один близнец в течение $\tau = 40$ лет (по земным часам) совершает космическое путешествие. Модуль скорости космического корабля $v = 0,20c$. Второй близнец находится на Земле. Определите, на сколько лет моложе своего брата окажется космический путешественник.

■ **1482.** Определите модуль скорости v протона, если в течение промежутка времени $\Delta t = 1,0 \text{ с}$ он разгоняется однородным электрическим полем, модуль напряженности которого $E = 10 \frac{\text{В}}{\text{м}}$. Каким был

бы ответ в рамках классической механики?

■ **1483.** При распаде π -мезона на два фотона зарегистрировано, что эти фотоны разлетаются под углами $\alpha = 60^\circ$ и $\beta = 30^\circ$ к направлению движения мезона. Определите модуль скорости v движения мезона до распада.

■ **1484.*** Оцените время τ , необходимое для разгона электрона от скорости, модуль которой $v_0 = 0$, до скорости, модуль которой $v = \frac{c}{2}$, если электрон движется вдоль силовых линий однородного

электрического поля, модуль напряженности которого E .

■ **1485.*** Определите путь l , пройденный до остановки релятивистской частицей массой m и зарядом q , обладающей кинетической энергией W , при ее движении вдоль силовых линий однородного электрического поля, модуль напряженности которого E .

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

63

Фотоны. Действие света

Наименьшая порция (квант) энергии, которую несет излучение частотой ν , определяется по формуле:

$$E = h\nu,$$

где постоянная h — фундаментальная постоянная — **постоянная Планка**. Ее приближенное значение:

$$h \approx 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Модуль импульса фотона определяется соотношением:

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

Постулаты Бора:

I постулат Бора (постулат стационарных состояний): атом может находиться в особых стационарных квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия. В стационарном состоянии атом не излучает.

II постулат Бора (правило частот): атом может переходить из одного стационарного состояния в другое. При этом переходе может испускаться или поглощаться квант электромагнитной энергии, частота которого определяется разностью энергий атома в данных состояниях:

$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h},$$

где ν_{kn} — частота поглощенного или испущенного кванта излучения, E_k, E_n — энергия атома в k -м и n -м стационарном состоянии, h — постоянная Планка.

Условие квантования орбит в атоме:

$$mvr_n = n \frac{h}{2\pi}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

■ **1486.** Энергия фотона с частотой ν равна:

- а) $h\nu$; б) $h\nu c$; в) $h\nu c^2$; г) $\frac{h\nu}{c}$.

■ **1487.** Модуль импульса фотона с частотой ν равен:

- а) $h\nu$; б) $h\nu c$; в) $h\nu c^2$; г) $\frac{h\nu}{c}$.

■ **1488.** Частота ν фотона, поглощаемого атомом при переходе из основного состояния с энергией E_0 в возбужденное состояние с энергией E_1 , равна:

- а) $\frac{E_0 - E_1}{h}$; б) $\frac{E_1}{h}$; в) $\frac{E_1 - E_0}{h}$; г) $\frac{E_0 + E_1}{h}$.

■ **1489.** Энергия фотона, излучаемого при переходе атома из возбужденного состояния с энергией E_2 в возбужденное состояние E_1 , равна:

- а) $E_1 - E_2$; в) $E_1 + E_2$;
б) E_1 ; г) $E_2 - E_1$.

■ **1490.** Сколько различных квантов N может испустить возбужденный атом водорода (рис. 232), если электрон в нем находится на пятом уровне ($n = 5$)?

■ **1491.** Какой серии излучательных переходов в атоме водорода соответствуют переходы в основное состояние ($n = 1$) (рис. 232)?

■ **1492.** Какой серии излучательных переходов в атоме водорода соответствуют переходы в основное состояние ($n = 2$) (рис. 232)?

■ **1493.** Какой серии излучательных переходов в атоме водорода соответствуют переходы в основное состояние ($n = 3$) (рис. 232)?

■ **1494.** Какая стрелка переходов в серии Бальмера (рис. 232) соответствует красной линии наблюдаемого спектра?

■ **1495.** Давление света больше, когда он падает на поверхность:

- а) белую; в) серую;
б) черную; г) зеркальную.

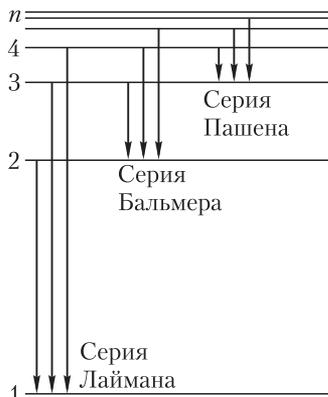


Рис. 232

- **1496.** Определите энергию E фотона длиной волны $\lambda = 600$ нм.
- **1497.** Определите частоту ν фотона с энергией $E = 8,0 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- **1498.** Определите, во сколько раз энергия фотона ультрафиолетового излучения с длиной волны $\lambda_1 = 0,40$ мкм больше энергии фотона света длиной волны $\lambda_2 = 0,80$ мкм.
- **1499.** Определите модуль импульса p фотона частотой $\nu = 400$ ТГц.
- **1500.** Определите модуль импульса p фотона, если соответствующая длина волны монохроматического света $\lambda = 500$ нм.
- **1501.** Определите энергию E и модуль импульса p фотона для излучения с длиной волны $\lambda = 1,0$ мкм.
- **1502.*** Определите длину волны λ нейтрона, движущегося со скоростью, модуль которой $v = 2,50 \cdot 10^4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.
- **1503.*** Определите длину волны λ протона с кинетической энергией $E_{\text{к}} = 1,0$ ГэВ.
- **1504.*** Определите отношение длин волн электрона $\lambda_{\text{э}}$ и фотона $\lambda_{\text{ф}}$ с кинетической энергией $E = 1,0$ эВ.
- **1505.** Найдите длину волны λ фотона, модуль импульса которого $p = 2,0 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. Определите энергию E этого фотона.
- **1506.** Определите энергию E фотона, если в веществе с показателем преломления $n = 1,8$ его длина волны $\lambda = 680$ нм.
- **1507.** Определите абсолютный показатель преломления n вещества, в котором излучение с энергией кванта $E = 2,6 \cdot 10^{-19}$ Дж имеет длину волны $\lambda = 450$ нм.
- **1508.** Определите изменение импульса $\Delta \vec{p}$ фотона при отражении света с частотой $\nu = 1,0 \cdot 10^{15}$ Гц, падающего нормально на плоское зеркало.
- **1509.** Определите длину волны λ излучения, если энергия фотона равна энергии покоя электрона.
- **1510.** Монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 760$ нм падает перпендикулярно поверхности, от которой полностью отражается. Определите давление p света на поверхность, если на ее площадь $S = 1,0$ м² каждую секунду падает $N = 2,0 \cdot 10^{21}$ фотонов.
- **1511.*** Пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 500$ нм, падая нормально на поверхность, производит на нее давление $p = 5,0$ мкПа. Определите количество N квантов света,

падающих каждую секунду на поверхность площадью $S = 1,0 \text{ м}^2$, если коэффициент отражения света $r = 0,40$.

■ **1512.** Определите световое давление p на черную поверхность площадью $S = 100 \text{ см}^2$, если на нее каждую секунду падает свет с энергией $E = 126 \text{ Дж}$.

■ **1513.** Определите минимальную энергию E одного фотона, если каждую секунду на сетчатку глаза попадает $N = 5$ фотонов света, вызывающих световое ощущение. Пороговая чувствительность сетчатки человеческого глаза $P = 1,7 \cdot 10^{-18} \text{ Вт}$.

■ **1514.** Определите количество N фотонов, испускаемых за промежуток времени $\Delta t = 1,0 \text{ с}$ источником света мощностью $P = 100 \text{ Вт}$, если длина волны излучаемого света $\lambda = 2,0 \text{ мкм}$.

■ **1515.** Пороговая чувствительность сетчатки человеческого глаза к желтому свету ($\lambda = 575 \text{ нм}$) $P = 1,7 \cdot 10^{-18} \text{ Вт}$. Определите количество N фотонов, попадающих каждую секунду на сетчатку, соответствующее этому порогу.

■ **1516.** Определите среднюю мощность $\langle P \rangle$ рубинового лазера, излучающего в импульсе $N = 2 \cdot 10^{19}$ фотонов с длиной волны $\lambda = 694 \text{ нм}$, если длительность импульса $\tau = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ с}$.

■ **1517.** Источник света излучает каждую секунду $N = 1,0 \cdot 10^{19}$ фотонов. Длина волны излучения $\lambda = 495 \text{ нм}$. Определите мощность P , потребляемую источником, если в энергию света переходит $\eta = 10 \%$ потребляемой энергии.

■ **1518.** Нейтральная частица, летевшая со скоростью, модуль которой $v = 0,8c$, распадается на два фотона, движущихся затем в противоположных направлениях. Найдите отношение частот $\frac{\nu_1}{\nu_2}$ этих фотонов.

■ **1519.** Фотон находится в прямоугольном параллелепипеде объемом $V = Sh$ с абсолютно отражающими стенками. Пусть фотон, имеющий энергию E и модуль импульса $p = \frac{E}{c}$, движется параллельно высоте h . Найдите: а) модуль импульса p , получаемого стенкой при отражении от нее фотона; б) среднее давление $\langle p \rangle$ на стенку одного фотона; в) произведение $\langle p \rangle V$ через N и E в предположении, что

имеется N фотонов каждый энергией E (параллельно каждой из координатных осей движется $\frac{N}{3}$ фотонов).

■ **1520.** Определите промежуток времени τ , который потребуется для превращения тающей льдинки объемом $V = 0,20$ см³ в каплю воды при температуре $t = 20$ °С, если освещать льдинку светом с длиной волны $\lambda = 0,20$ мкм. Ежесекундно льдинка поглощает $N = 1,0 \cdot 10^{18}$ фотонов. Потерями теплоты в окружающую среду пренебречь.

■ **1521.** Пучок лазерного излучения с длиной волны $\lambda = 650$ нм используют для нагревания воды. Определите промежуток времени τ , который потребуется для нагревания $V = 1,0$ л воды на $\Delta t = 20$ °С, если лазер ежесекундно испускает $N = 4,0 \cdot 10^{20}$ фотонов и все они поглощаются водой.

■ **1522.** Определите изменение температуры Δt капли воды массой $m = 1,0$ г за промежуток времени $\tau = 1,0$ с, если ежесекундно капля поглощает $N = 2,5 \cdot 10^{12}$ фотонов с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Потерями энергии пренебречь.

■ **1523.** Свет с длиной волны $\lambda = 400$ нм, нормально падающий на поверхность площадью $S = 2,5$ см², полностью поглощается. Определите давление p , которое оказывает свет на поверхность. Вычислите модуль импульса, который передан поверхности, если за промежуток времени $\tau = 5,0$ с на нее попало $N = 5,0 \cdot 10^{20}$ фотонов.

■ **1524.** Определите количество N фотонов видимого света с длиной волны $\lambda = 500$ нм, излучаемого лампой мощностью $P = 60$ Вт за промежуток времени $\tau = 20$ с, если тепловая отдача лампы составляет $k = 5,0$ %.

■ **1525.** Определите энергию E фотонов, падающих ежесекундно на сетчатку глаза человека, которая соответствует пороговой чувствительности сетчатки к желтому свету — $P = 1,7 \cdot 10^{-18}$ Вт ($\lambda = 575$ нм).

■ **1526.** Электрическая лампочка мощностью $P = 100$ Вт испускает $k = 3,0$ % потребляемой энергии в диапазоне видимого света равномерно по всем направлениям. Считая среднюю длину волны испускаемого света $\lambda = 600$ нм, определите количество фотонов N , попадающих ежесекундно в зрачок наблюдателя, находящегося на расстоянии $l = 10$ м от лампочки. Диаметр зрачка $d = 4,0$ мм.

■ **1527.*** Считая среднюю длину волны солнечного света $\lambda = 600$ нм, определите количество N фотонов, падающих каждую секунду на площадь $S = 1,0$ см² земной поверхности, если интенсивность достигающего ее солнечного света $I = 1,3 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$.

64

Законы фотоэффекта

Явление испускания электронов веществом под действием падающего на него света получило название **внешнего фотоэффекта**. Испускание веществом каких-либо частиц называется **эмиссией**. Поэтому внешний фотоэффект называют также **фотоэлектронной эмиссией (фотоэмиссией)**, а вылетающие электроны — **фотоэлектронами**.

Формула Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}.$$

Красная граница фотоэффекта — наименьшая частота излучения, при которой наблюдается фотоэффект:

$$\nu_{\text{min}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h},$$

зависит только от работы выхода электронов для данного вещества ($A_{\text{вых}} > 0$), т. е. определяется химической природой вещества и состоянием его поверхности.

■ **1528.** Энергия кванта, вызывающего фотоэффект, должна быть:

- а) больше работы выхода;
- б) меньше работы выхода;
- в) равна работе выхода;
- г) равна кинетической энергии вылетевшего электрона;
- д) больше или равна кинетической энергии вылетевшего электрона.

■ **1529.** При освещении незаряженной пластины ультрафиолетовым светом ее заряд будет:

- а) положительным;
- б) отрицательным;
- в) равен нулю;
- г) разным.

■ **1530.** На основе квантовой теории света впервые получило объяснение явление:

- а) дифракции;
- б) интерференции;
- в) фотоэффекта;
- г) электролиза.

■ **1531.** Напряжение, задерживающее электроны в данном веществе при фотоэффекте, зависит от:

- а) степени когерентности света;
- б) угла падения падающего на вещество излучения;
- в) интенсивности света;
- г) длины волны падающего излучения.

■ **1532.** Максимальная кинетическая энергия электронов, вырванных светом с поверхности металла:

- а) зависит от частоты и от интенсивности света;
- б) прямо пропорциональна интенсивности света и не зависит от его частоты;
- в) зависит от частоты света, но не зависит от его интенсивности;
- г) не зависит ни от частоты, ни от интенсивности света.

■ **1533.** Максимальная кинетическая энергия $E_{\text{к}}^{\text{max}}$ фотоэлектронов при увеличении частоты падающего излучения в $n = 2$ раза:

- а) увеличится в 2 раза;
- б) уменьшится в 2 раза;
- в) не изменится;
- г) увеличится меньше чем в 2 раза.

■ **1534.** При уменьшении интенсивности падающего на поверхность металла излучения в $n = 2$ раза количество фотоэлектронов, которые вырываются светом за секунду:

- а) увеличится в 4 раза;
- б) увеличится в 2 раза;
- в) не изменится;
- г) уменьшится в 2 раза.

■ **1535.** Красная граница фотоэффекта для калия соответствует длине волны $\lambda_{\text{к}} = 577$ нм. Определите минимальную энергию E_{min} фотона, необходимую для выхода электрона из металла.

■ **1536.** Определите частоту ν излучения, падающего на вольфрамовую пластинку, если модуль средней скорости вылетающих фотоэлектронов $\langle v \rangle = 2,0 \cdot 10^3 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

■ **1537.** Будет ли фотоэффект, если на цинковую пластинку падает излучение с длиной волны $\lambda = 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}$?

■ **1538.** Фотоэлектрон вылетает из цезия, обладая кинетической энергией $E_{\text{к}} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Найдите частоту ν падающего излучения.

■ **1539.** Определите величину задерживающего потенциала ϕ для фотоэлектронов, испускаемых при освещении калия светом с длиной волны $\lambda = 500 \text{ нм}$.

■ **1540.** Определите задерживающую разность потенциалов $\Delta\phi$ для фотоэлектронов, вырываемых с поверхности калия при его освещении светом частотой $\nu = 9,0 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$.

■ **1541.** Определите максимальный потенциал ϕ_{max} медного шарика, если он облучается монохроматическим излучением с длиной волны $\lambda = 150 \text{ нм}$. Считайте, что шарик удален от других тел.

■ **1542.** Определите частоту ν света, которым освещается катод, если красная граница фотоэффекта соответствует длине волны $\lambda_{\text{к}} = 540 \text{ нм}$ и модуль максимальной скорости вылета электронов $v_{\text{max}} = 1,00 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

■ **1543.** Определите длину волны λ падающего на поверхность цезия излучения, если фотоэлектроны вылетают со скоростью, модуль которой $v = 6,0 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

■ **1544.** Определите энергию E фотона, поглощенного электроном, если при вылете с поверхности калия он имеет скорость, модуль которой $v = 4,0 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

■ **1545.** Определите длину волны λ , которая соответствует красной границе фотоэффекта для алюминия.

■ **1546.** Длина волны, которая соответствует красной границе фотоэффекта, для некоторого металла $\lambda_{\text{к}} = 220 \text{ нм}$. Определите минимальный модуль импульса p_{min} фотона, вызывающего фотоэффект с поверхности металла.

■ **1547.** Плоский алюминиевый электрод освещается ультрафиолетовым светом с длиной волны $\lambda = 100$ нм. Определите максимальное расстояние d_{\max} от поверхности электрода, на которое может удалиться фотоэлектрон, если вне электрода имеется задерживающее поле, модуль напряженности которого $E = 10 \frac{\text{В}}{\text{см}}$.

■ **1548.** Определите максимальный модуль импульса p_{\max} электронов, вылетающих из цезиевого фотокатода под действием γ -излучения длиной волны $\lambda = 0,0040$ нм.

■ **1549.** При освещении металла монохроматическим светом фотоэлектроны приобретают скорость, модуль которой $v_1 = 3,0 \cdot 10^5 \frac{\text{М}}{\text{с}}$.

Определите модуль скорости v_2 фотоэлектронов, вылетающих из металла при увеличении частоты падающего монохроматического света на $\Delta\nu = 1,0 \cdot 10^{13}$ Гц.

■ **1550.** Фотоэлектроны, вырываемые из металла светом частотой $\nu_1 = 3,9 \cdot 10^{14}$ Гц, полностью задерживаются напряжением $U_1 = 0,50$ В, а вырванные светом частотой $\nu_2 = 7,5 \cdot 10^{14}$ Гц — напряжением $U_2 = 2,0$ В. Определите по этим данным постоянную Планка h .

■ **1551.** При какой длине волны λ света, которым облучают фотоэлемент, задерживающее напряжение $U = 2,0$ В? Длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта, $\lambda_k = 500$ нм.

■ **1552.** На металлическую пластину падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 413$ нм. Поток фотонов, вырываемых этим светом с поверхности металла, полностью задерживается напряжением $U = 1,0$ В. Определите работу выхода $A_{\text{в}}$ электронов из металла и длину волны λ_k света, соответствующую красной границе фотоэффекта. Будет ли наблюдаться фотоэффект, если длина волны падающего света $\lambda_1 = 700$ нм?

■ **1553.** Свет с длиной волны $\lambda = 0,045$ мкм вырвал фотоэлектрон с поверхности медного шара радиусом $R = 1,0$ см и зарядом $q = 1,1 \cdot 10^{-10}$ Кл. Считая, что электрон вылетел в радиальном направлении, определите максимальное расстояние r , на которое удалится электрон от центра шара.

■ **1554.** Определите количество N фотоэлектронов, излучаемых за одну секунду раскаленной нитью электрической лампы мощностью $P = 40$ Вт, если средняя длина волны излучения $\langle \lambda \rangle = 1,0 \cdot 10^{-6}$ м. На излучение идет $k = 5,0$ % от мощности лампы.

■ **1555.** При увеличении частоты $\nu = 1,2 \cdot 10^{15}$ Гц света, падающего на поверхность металла, в $k = 2$ раза задерживающее напряжение для фотоэлектронов увеличивается в $n = 3$ раза. Определите длину волны λ_k света, соответствующую красной границе фотоэффекта для этого металла.

■ **1556.** Под действием фотона с длиной волны $\lambda = 0,232$ мкм с поверхности платинового электрода вылетает фотоэлектрон. Определите модуль импульса p , передаваемый электроду при вылете каждого электрона, если известно, что фотоэлектрон вылетает навстречу падающему фотону со скоростью, модуль которой максимален.

■ **1557.** В сосуд, из которого откачан воздух, помещены два цинковых электрода. К ним подсоединен конденсатор емкостью $C = 3,5$ мкФ. Один из электродов освещается светом с длиной волны $\lambda = 0,30$ мкм. Определите заряд q , который будет на конденсаторе при длительном освещении.

■ **1558.** Фотон с длиной волны $\lambda = 400$ нм вырывает с поверхности металла электрон, который в однородном магнитном поле описывает окружность радиусом $R = 2,0$ мм. Модуль индукции магнитного поля $B = 1,5$ Тл, а линии индукции параллельны поверхности металла. Определите работу выхода A_B электрона из металла.

■ **1559.*** Одна из обкладок незаряженного плоского конденсатора облучается рентгеновским излучением частотой $\nu = 1,5 \cdot 10^{18}$ Гц, вырывающим из нее электроны, которые вылетают со скоростью, модуль которой $v = 2,0 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Оцените промежуток времени τ , через

который фототок между обкладками прекратится, если с площади $S = 1,0$ см² обкладки вырывается ежесекундно $N = 1,0 \cdot 10^{13}$ электронов. Расстояние между обкладками $d = 10$ мм, работа выхода $A_B = 3,5$ эВ.

■ **1560.*** Уединенный металлический шар емкостью $C = 4,0$ мкФ облучают монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Определите количество теплоты q , которое выделится при заземлении шара после прекращения облучения. Работа выхода электронов из металла $A_B = 1,8$ эВ.

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА И ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

65

Ядерные реакции

Ядерными реакциями называют процессы изменения атомных ядер, вызванные их взаимодействиями с элементарными частицами или друг с другом.

Протон и нейтрон являются двумя разными состояниями одной и той же частицы — **нуклона**.

Число протонов в ядре называется **атомным номером** и обозначается Z . Общее число нуклонов называется **массовым числом** и обозначается A . Число нейтронов в ядре $N = A - Z$.

Ядерные силы — короткодействующие силы притяжения действуют только между данным нуклоном и его непосредственными соседями.

■ **1561.** Удельная энергия связи нуклонов в ядрах атомов:

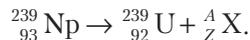
а) линейно возрастает с ростом массового числа;

б) максимальна для элементов с массовыми числами от 50 до 80;

в) уменьшается пропорционально корню квадратному из массового числа;

г) максимальна для ядер, подверженных естественному радиоактивному распаду.

■ **1562.** Впишите недостающие частицы или ядра в схему реакции



■ **1563.** Найдите, какой изотоп образовался в результате α -распада изотопа полония ${}_{84}^{208}\text{Po}$.

■ **1564.** Определите, какой изотоп образовался в результате β -распада ядра изотопа стронция ${}_{39}^{90}\text{Sr}$.

■ **1565.** При бомбардировке нейтронами атома азота $^{14}_7\text{N}$ испускается протон. Определите, в ядро какого изотопа превращается ядро азота. Напишите реакцию.

■ **1566.** Возможна ли ядерная реакция $^{18}_8\text{O} + ^1_1\text{p} \rightarrow ^{18}_9\text{F} + ^1_0\text{n}$?

■ **1567.** Определите частицу, под действием которой протекает реакция $^{24}_{12}\text{Mg} + ? \rightarrow ^{27}_{14}\text{Si} + ^1_0\text{n}$.

■ **1568.** Определите заряд и массовое число ядра элемента, получившегося из ядра изотопа полония $^{215}_{84}\text{Po}$ после одного α -распада и одного β -распада.

■ **1569.** Определите, из какого ядра образуется ядро $^{234}_{84}\text{Po}$ после двух последовательных α -распадов.

■ **1570.** Определите, в какой элемент превращается изотоп тория $^{232}_{90}\text{Th}$, испытав два электронных β -распада и один α -распад.

■ **1571.** Определите, какое ядро образовалось в результате радиоактивных превращений ядра изотопа урана $^{238}_{92}\text{U}$ при восьми α - и шести β -распадах.

■ **1572.** Произошел радиоактивный распад $^{229}_{93}\text{Np} \rightarrow ^{209}_{84}\text{Po}$. Сколько при этом совершилось α - и β -превращений?

■ **1573.** В результате α - и β -распадов ядра $^{238}_{92}\text{U}$ образовалось ядро $^{206}_{82}\text{Pb}$. Вычислите число α -распадов.

■ **1574.** После нескольких радиоактивных распадов ядро изотопа урана $^{238}_{92}\text{U}$ превратилось в ядро изотопа урана $^{234}_{92}\text{U}$. Определите, какие это были распады.

■ **1575.** Ядро $^{237}_{93}\text{Np}$ превратилось в ядро $^{213}_{83}\text{Bi}$, испытав серию α - и β -распадов. Определите число α -распадов.

■ **1576.** При бомбардировке изотопа бора $^{11}_5\text{B}$ быстро движущимися протонами в камере Вильсона наблюдают три одинаковых трека образовавшихся частиц. Напишите ядерную реакцию.

■ **1577.*** В периодической системе элементов рядом расположены три элемента. Условно обозначим их a , b , c . Радиоактивный изотоп элемента a превращается в элемент b , а тот, в свою очередь, — в элемент c . Последний превращается в изотоп исходного элемента a . Какими процессами обусловлены переходы $a \rightarrow b$, $b \rightarrow c$, $c \rightarrow a$?

■ **1578.*** Азот облучался в течение промежутка времени $\tau = 1,0$ ч пучком α -частиц, ускоренных в циклотроне. Определите количество N атомов образовавшегося изотопа $^{17}_8\text{O}$, если сила тока в пучке

$I = 2,0 \cdot 10^{-6}$ А и ядерную реакцию ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$ вызывает одна α -частица из каждых $N_0 = 1,0 \cdot 10^5$ частиц в пучке.

66

Энергия ядерных реакций

Энергия, освобождающаяся при ядерной реакции, т. е. разность энергий покоя ядер и частиц до и после взаимодействия, называется **энергетическим выходом ядерной реакции**.

Под **энергией связи** атомных ядер понимается энергия, необходимая для разделения ядра на отдельные нуклоны:

$$E_{\text{св}} = (Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}})c^2 = \Delta mc^2.$$

Дефект масс — разность между суммарной массой всех нуклонов ядра в свободном состоянии и массой ядра:

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}.$$

Характеристикой прочности (связанности) ядер служит **удельная энергия связи ε ядра**, т. е. энергия связи, приходящаяся на один нуклон:

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{св}}}{A}.$$

Энергия, высвобождающаяся при ядерной реакции, называется **энергетическим выходом** ядерной реакции.

Энергетический выход некоторой ядерной реакции $A + a \rightarrow B + b$. Если сумма масс частиц до реакции $m_A + m_a$, а после реакции — $m_B + m_b$, то разность энергий конечного и исходного состояний частиц:

$$\Delta E = (m_B + m_b)c^2 - (m_A + m_a)c^2 = (m_B + m_b - m_A - m_a)c^2.$$

Если $\Delta E < 0$, то при данной реакции энергия выделяется, а если $\Delta E > 0$, то поглощается.

■ **1579.** Определите удельную энергию связи $\varepsilon_{\text{св}}$ нуклонов ядра атома гелия ${}^4_2\text{He}$.

■ **1580.** Определите удельную энергию связи $\epsilon_{\text{св}}$ нуклонов ядра атома серы ${}_{16}^{32}\text{S}$.

■ **1581.** Искусственный изотоп ${}_{7}^{14}\text{N}$ получается бомбардировкой ядер углерода ${}_{6}^{12}\text{C}$ дейтронами. Напишите уравнение реакции. Определите ее энергетический выход ΔE .

■ **1582.** Определите кинетическую энергию E_{α} α -частиц, способных вызвать в ядрах азота ${}_{7}^{14}\text{N}$ реакцию, продуктом которой являются протоны. Напишите уравнение этой реакции.

■ **1583.** При облучении изотопа ртути ${}_{80}^{198}\text{Hg}$ нейтронами образуются атомы золота ${}_{79}^{198}\text{Au}$. Напишите ядерную реакцию. Выгодно ли таким образом получать золото?

■ **1584.** Определите максимальную кинетическую энергию $E_{\text{к}}$ электронов, испускаемых при β -распаде нейтронов.

■ **1585.** Вычислите энергию E , выделяющуюся в реакции деления ${}_{0}^1n + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{38}^{88}\text{Sr} + {}_{54}^{136}\text{Xe} + 12 {}_{0}^1n$. Считайте, что кинетическая энергия налетающего нейтрона очень мала.

■ **1586.*** Определите кинетическую энергию $E_{\text{к}}$ нейтронов, бомбардирующих литиевую мишень, если известно, что в результате ядерной реакции ${}_{3}^6\text{Li} + {}_{0}^1n \rightarrow {}_{1}^3\text{H} + {}_{2}^4\text{He}$ α -частицы, вылетающие в направлении движения нейтронов, имеют энергию $E = 3,0$ МэВ.

■ **1587.*** Найдите минимальную кинетическую энергию $E_{\text{к}}^{\text{мин}}$ нейтрона, который в результате его захвата ядром урана ${}_{92}^{238}\text{U}$ вызовет деление, если известно, что энергия активации образующегося ядра $E = 6,0$ МэВ.

■ **1588.*** Тяжелое ядро X содержит $N = 204$ нуклона и характеризуется удельной энергией связи $\epsilon_{\text{св}} = 8,0 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$. Найдите энергию

покоя E ядра X , если энергия свободного протона или нейтрона $E_p = 940$ МэВ.

■ **1589.*** Тяжелое ядро X содержит $N = 204$ нуклона и характеризуется удельной энергией связи $\epsilon_{\text{св}1} = 8,0 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$, испускает α -частицу

с энергией связи $E = 28$ МэВ и превращается в ядро с удельной энергией связи $\epsilon_{\text{св}2} = 7,9 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$. Энергия свободного протона или ней-

трона $E_p = 940$ МэВ. Найдите кинетическую энергию E_k , которая выделяется в этом процессе.

■ **1590.** Сколько граммов урана ${}_{92}^{235}\text{U}$ необходимо использовать для производства $P = 1,0$ ГВт электроэнергии в сутки, если КПД преобразования энергии на атомной электростанции $\eta = 30\%$?

■ **1591.** Почему нейтроны являются лучшими снарядами для разрушения ядра по сравнению с другими частицами: α -частицами, протонами, электронами?

■ **1592.** Водород имеет три изотопа: ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$ (дейтерий), ${}^3_1\text{H}$ (трибий). Ионы какого изотопа медленнее других продвигаются к катоду при электролизе подкисленной воды?

■ **1593.** Почему трек частицы в камере Вильсона имеет постоянно уменьшающийся радиус кривизны?

■ **1594.** Препарат полония, находящийся в калориметре теплоемкостью $C = 1,5 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$, испускает $N = 3,7 \cdot 10^9$ α -частиц в секунду с энергией $E = 5,3$ МэВ. Определите увеличение температуры ΔT калориметра за промежуток времени $\Delta t = 60$ мин.

■ **1595.*** Определите энергию реакции ${}^9_4\text{Be} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^6_3\text{Li}$, если известно, что кинетические энергии протона $W_p = 5,45$ МэВ, ядра гелия $W_{\text{He}} = 4,00$ МэВ и что ядро гелия вылетело под углом $\alpha = 90^\circ$ к направлению движения протона. Ядро-мишень ${}^9_4\text{Be}$ неподвижно.

■ **1596.*** Запишите реакцию α -распада ${}^{226}_{88}\text{Ra}$. Определите отношение модулей импульсов и кинетических энергий, получившихся в результате реакции частиц, если ядро ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ до распада покоилось.

■ **1597.** Образец, содержащий радий, испускает α -частицы, модуль импульса которых $p = 1,0 \cdot 10^{-19} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ и модуль скорости

$v = 1,5 \cdot 10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. За полчаса выделяется энергия $E = 450$ Дж. Определите количество α -частиц, испускаемых образцом за промежуток времени $\Delta t = 1,0$ с.

■ **1598.** Среднесуточная потребляемая мощность в некотором доме составляет $P = 300$ Вт. Определите массу m изотопа урана ${}_{92}^{235}\text{U}$, которую необходимо использовать на атомной электростанции, чтобы удовлетворить годовую потребность такого дома в электроэнергии.

Известно, что при делении одного ядра урана выделяется энергия $W = 200$ МэВ. КПД преобразования энергии на электростанции примите $\eta = 60\%$.

■ **1599.** Определите массу m изотопа урана ${}_{92}^{235}\text{U}$, расходуемого в сутки на атомной электростанции мощностью $P = 2000$ кВт, если при каждом акте деления выделяется энергия $E = 200$ МэВ, а КПД электростанции $\eta = 0,200$.

■ **1600.** Термоядерная реакция ${}^2_1\text{H} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{p}$ идет с выделением энергии $E_1 = 18,4$ МэВ. Определите энергию E_2 , которая выделяется в реакции ${}^3_2\text{He} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2{}^1_1\text{p}$, если дефект масс ядра гелия ${}^3_2\text{He}$ на $\Delta m = 0,006$ а. е. м. больше, чем у ядра дейтерия ${}^2_1\text{H}$.

■ **1601.*** В результате термоядерной реакции ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ выделяется энергия. Определите часть k кинетической энергии, уносимой нейтроном. Кинетическую энергию ядер дейтерия и трития не учитывать. Различием масс нейтрона и протона пренебречь.

■ **1602.*** При протекании реакции термоядерного синтеза ${}^6_3\text{Li} + {}^2_1\text{H} \rightarrow 2{}^4_2\text{He}$ выделилось $Q = 2,68 \cdot 10^{13}$ Дж теплоты. Определите массу m использованного при этом ядерного горючего.

■ **1603.** Термоядерная бомба массой $m = 18$ кг может обеспечить выделение энергии, эквивалентное взрыву тринитротолуола (ТНТ) массой $M = 1,0$ млн т. Из ТНТ массой $M = 1,0$ млн т при взрыве высвобождается $Q = 1,0 \cdot 10^{16}$ кал. Определите, сколько граммов термоядерной взрывчатки превращается в энергию.

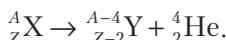
■ **1604.** Известно, что ежегодное потребление энергии в стране $E = 1,0 \cdot 10^{10}$ кВт · ч, а КПД преобразования энергии на электростанциях $\eta = 30\%$. Определите для данной страны: а) массу m угля и нефти, которую необходимо сжечь на тепловых электростанциях в течение года; б) массу m урана ${}_{92}^{235}\text{U}$, потребляемого на атомных электростанциях страны за это же время.

Радиоактивный распад

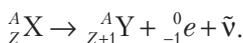
Радиоактивность — явление самопроизвольного превращения ядер, сопровождающееся испусканием частиц или ядер или коротковолновым электромагнитным излучением.

Радиоактивный распад ядер сопровождается испусканием α - и β -частиц и γ -излучения.

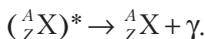
При α -распаде продуктом распада оказывается изотоп с числом протонов $Z - 2$ с испусканием α -частицы:



При β^- -распаде образуется изотоп с атомным номером $Z + 1$:



Испускание γ -излучения не приводит к превращениям элементов:



Закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}.$$

Цепной реакцией называется процесс, в котором продукты определенной реакции вызывают последующие реакции такого же типа.

Критической массой называется минимальная масса ядерного горючего, необходимая для поддержания цепной реакции.

■ **1605.** Можно ли внешним воздействием изменить скорость радиоактивного распада?

■ **1606.** Почему химические элементы, расположенные в конце периодической таблицы Менделеева, являются радиоактивными?

■ **1607.** Определите долю k радиоактивных ядер, распадающихся за промежуток времени, равный половине периода полураспада.

■ **1608.** Определите, какая часть k исходных радиоактивных ядер распадается за промежуток времени, равный двум периодам полураспада.

■ **1609.** Определите период полураспада $T_{1/2}$ радиоактивного элемента, если за промежуток времени $\Delta t = 150$ с распалось $k = \frac{7}{8}$ начального числа радиоактивных ядер.

■ **1610.** Определите долю k образца радия по прошествии промежутка времени $\Delta t = 3200$ лет, если период его полураспада $T_{1/2} = 1600$ лет.

■ **1611.** Изотоп полония ${}^{210}_{84}\text{Po}$ имеет период полураспада $T_{1/2} = 140$ сут. При испускании α -частицы полоний превращается в стабильный изотоп свинца ${}^{206}_{82}\text{Pb}$. Сколько свинца образуется в полонии массой $m = 1,0$ мг за промежуток времени $\Delta t = 280$ сут?

■ **1612.** Определите уменьшение ΔA массового числа ядра тяжелого элемента, если после ряда радиоактивных превращений, включающих пять β -распадов и несколько α -распадов, оно превращается в ядро устойчивого атома, порядковый номер которого меньше начального на 13 единиц.

■ **1613.*** При измерении периода полураспада радиоактивного короткоживущего вещества использован счетчик импульсов. В течение промежутка времени $\tau_1 = 1,0$ мин было зарегистрировано $N_1 = 250$ импульсов, а спустя промежуток времени $\tau_2 = 1,0$ ч после начала первого измерения зарегистрировано $N_2 = 92$ импульса за минуту. Определите период полураспада $T_{1/2}$.

■ **1614.*** Определите промежуток времени Δt_1 , который должен пройти, чтобы число ΔN частиц стронция ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ и цезия ${}^{137}_{55}\text{Cs}$, распадающихся за промежуток времени Δt (активность), уменьшилось в $n = 10$ раз.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Таблица 1

Фундаментальные постоянные и некоторые физические величины

Величина	Обозначение	Приближенное значение
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Универсальная (молярная) постоянная	R	$8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$
Гравитационная постоянная	G	$6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$
Элементарный заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Скорость света в вакууме	c	$3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$
Коэффициент пропорциональности в законе Кулона	$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$	$8,99 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \approx 9,0 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}}$
Постоянная Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Заряд электрона	e	$-1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса электрона	m_e	$9,1094 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 0,511 \frac{\text{МэВ}}{c^2}$
Масса протона	m_p	$1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 938,3 \frac{\text{МэВ}}{c^2}$
Масса нейтрона	m_n	$1,6750 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 939,6 \frac{\text{МэВ}}{c^2}$
Атомная единица массы	а. е. м.	$1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 931,5 \frac{\text{МэВ}}{c^2}$
Ускорение свободного падения ¹	g	$9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

¹ В некоторых задачах g принимается за $10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ (по указанию).

**Плотность ρ различных веществ
при температуре $t = 0^\circ\text{C}$ и давлении $p = 1$ атм**

Вещество	$\rho \cdot 10^{-3}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Бензин	0,70
Керосин	0,80
Нефть	0,80
Спирт	0,80
Лед	0,90
Масло	0,90
Вода	1,0
Алюминий	2,7
Цинк	7,1
Олово	7,3
Железо (сталь)	7,8
Никелин	8,5
Медь	8,9
Никель	8,9
Свинец	11,3
Серебро	10,5
Ртуть	13,6
Вольфрам	19,3
Золото	19,3
Платина	21,5

Таблица 3

Удельная теплоемкость c , температура плавления $t_{пл}$, удельная теплота плавления λ , температура кипения t_k и удельная теплота парообразования L

Вещество	$c, \frac{\text{кДж}}{\text{кгК}}$	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	$\lambda \cdot 10^{-3}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$t_k, ^\circ\text{C}$	$L \cdot 10^{-5}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Алюминий	0,880	660	380	2330	109
Вода (лед)	4,20 (2,10)	0	330	100	22,6
Железо	0,460	1530	270	3050	0,58
Медь	0,380	1080	180	2582	47
Ртуть	0,138	-39	10	357	3,0
Свинец	0,130	327	30	1750	8,6
Спирт	2,40	-114	105	78	8,5
Цинк	0,400	420	120	907	17,6
Эфир	2,35	-123	113	35	3,5

Таблица 4

Удельная теплота сгорания q топлива

Топливо	$q \cdot 10^{-6}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Бензин	46
Каменный уголь	30
Керосин	46
Мазут	42
Нефть	46
Спирт	29,3
Торф	15
Дизельное топливо	42
Природный газ	34

Таблица 5

Поверхностное натяжение σ различных жидкостей

Вещество	$\sigma, \frac{\text{Н}}{\text{м}}$
Вода (0 °С)	0,076
Вода (10 °С)	0,074
Вода (20 °С)	0,073
Вода (100 °С)	0,059
Спирт этиловый (0 °С)	0,023
Бензин (0 °С)	0,029
Кровь (37 °С)	0,058
Ртуть (20 °С)	0,472
Мыльный раствор (20 °С)	0,025
Эфир	0,017
Керосин	0,024

Таблица 6

Плотность ρ и давление p насыщенного водяного пара

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$	$p, \text{кПа}$
-10	2,14	0,260
-5	3,24	0,401
0	4,84	0,611
1	5,20	0,653
2	5,60	0,705
3	6,00	0,760
4	6,40	0,813
5	6,80	0,880
6	7,30	0,934
7	7,80	1,00
8	8,30	1,07
9	8,80	1,15

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$	$p, \text{кПа}$
10	9,41	1,23
11	10,0	1,31
12	10,7	1,40
13	11,4	1,49
14	12,1	1,59
15	12,8	1,71
16	13,6	1,81
17	14,5	1,93
18	15,4	2,06
19	16,3	2,12
20	17,3	2,33
22	19,4	2,64
24	21,8	2,99
25	23,0	3,17
30	30,3	4,24
40	51,2	7,37
50	83,2	12,3
60	130,5	19,9
70	198,4	31,2
80	293,8	47,3
90	424,1	70,1
100	598,0	101
120	1122,0	199

Таблица 7

**Диэлектрические проницаемости ϵ веществ при температуре
 $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$**

Вещество	ϵ
Вакуум	1,0000
Воздух (1 атм)	1,0006
Керосин	2,1
Парафин	2,2
Масло	2,5
Эбонит	2,8
Пластик	2,8–4,5
Бумага	3–7
Кварц	4,3
Стекло	4–7
Фарфор	6–8
Слюда	7
Этиловый спирт	24
Вода	81
Бензин	1,9

Таблица 8

**Удельные сопротивления ρ и температурные коэффициенты
сопротивления α веществ при температуре $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$**

Вещество	$\rho \cdot 10^8, \text{ Ом} \cdot \text{ м}$	$\alpha, \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
Цинк	0,6	0,004
Серебро	1,6	0,004
Медь	1,7	0,0043
Алюминий	2,8	0,004
Вольфрам	5,5	0,005
Латунь	7,1	0,001
Платина	10	0,004
Сталь	12	0,006
Свинец	21	0,004
Никелин	42	0,0001

Окончание табл. 8

Вещество	$\rho \cdot 10^8, \text{ Ом} \cdot \text{ м}$	$\alpha, \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
Графит	1400	—
Манганин	45	0,00003
Константан	48	0,00002
Ртуть	96	0,0009
Нихром	110	0,0001

Таблица 9

Скорости распространения звука v в различных веществах при температуре $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Вещество	$v, \frac{\text{м}}{\text{с}}$
Воздух	340
Гелий	1000
Водород	1300
Вода	1440
Морская вода	1560
Медь	3700
Стекло	≈ 4500
Сталь (железо)	≈ 5000
Алюминий	≈ 5100

Таблица 10

Показатели преломления n веществ на длине волны $\lambda = 589 \text{ нм}$

Вещество	n
Воздух (при нормальных условиях)	1,003
Лед	1,31
Вода	1,33
Этиловый спирт	1,36
Кварц (плавленый)	1,46
Глицерин	1,47
Скипидар	1,47

Вещество	n
Стекло (крон)	1,52
Плексиглас	1,50
Сероуглерод	1,63
Стекло (тяжелый флинт)	1,80
Алмаз	2,42

Таблица 11

**Зависимость показателя преломления n стекла
от длины волны λ светового излучения**

Цвет	λ , нм	n
Фиолетовый	404,7	1,5318
Синий	480,0	1,5235
Зеленый	546,1	1,5191
Желтый	589,3	1,5170
Красный	656,3	1,5145

Таблица 12

Фотоэлектрические характеристики некоторых веществ

Вещество	$A_{\text{в}} \cdot 10^{19}$, Дж	$A_{\text{в}}$, эВ	$\nu_{\text{min}} \cdot 10^{-14}$, Гц	$\lambda_{\text{к}}$, нм
Алюминий	5,9	3,7	8,9	340
Вольфрам	7,2	4,5	11	280
Калий	3,5	2,2	5,3	560
Кальций	4,3	2,7	6,5	460
Литий	3,8	2,4	5,7	531
Медь	7,2	4,5	11	275
Натрий	3,7	2,3	5,6	540
Никель	8,0	5,0	12	250
Платина	8,5	5,3	13	230
Серебро	6,7	4,3	10	260
Цезий	3,0	1,9	4,6	650
Цинк	5,9	3,7	8,9	340

Массы некоторых нуклидов

Элемент	Изотоп	Масса ядра, а. е. м.	Элемент	Изотоп	Масса ядра, а. е. м.
Электрон	${}^0_{-1}e$	0,00055	Неон	${}^{20}_{10}\text{Ne}$	19,99244
Протон	1_1p	1,00728	Алюминий	${}^{27}_{13}\text{Al}$	26,98146
Нейтрон	1_0n	1,00867	Магний	${}^{28}_{12}\text{Mg}$	27,983880
Водород	${}^1_1\text{H}$	1,00783	Кремний	${}^{28}_{14}\text{Si}$	27,98154
Водород	${}^2_1\text{H}$	2,01410	Сера	${}^{32}_{16}\text{S}$	31,972072
Водород	${}^3_1\text{H}$	3,01603	Стронций	${}^{88}_{38}\text{Sr}$	87,905635
Гелий	${}^4_2\text{He}$	4,00260	Ксенон	${}^{136}_{54}\text{Xe}$	135,90722
Литий	${}^6_3\text{Li}$	6,01513	Золото	${}^{197}_{79}\text{Au}$	196,96656
Литий	${}^7_3\text{Li}$	7,01601	Золото	${}^{198}_{79}\text{Au}$	197,968242
Бериллий	${}^8_4\text{Be}$	8,00531	Ртуть	${}^{198}_{80}\text{Hg}$	197,96680
Бериллий	${}^9_4\text{Be}$	9,01219	Ртуть	${}^{202}_{80}\text{Hg}$	201,97063
Бор	${}^{10}_5\text{B}$	10,01294	Свинец	${}^{204}_{82}\text{Pb}$	203,97307
Бор	${}^{11}_5\text{B}$	11,00931	Свинец	${}^{206}_{82}\text{Pb}$	205,97446
Углерод	${}^{11}_6\text{C}$	11,01143	Свинец	${}^{208}_{82}\text{Pb}$	207,97664
Углерод	${}^{12}_6\text{C}$	12,00000	Радий	${}^{223}_{88}\text{Ra}$	223,01857
Азот	${}^{14}_7\text{N}$	14,00307	Радий	${}^{226}_{88}\text{Ra}$	226,025406
Кислород	${}^{16}_8\text{O}$	15,99491	Радий	${}^{228}_{88}\text{Ra}$	228,03123
Кислород	${}^{16}_8\text{O}$	15,99491	Уран	${}^{235}_{92}\text{U}$	235,04393
Кислород	${}^{17}_8\text{O}$	16,99913	Уран	${}^{238}_{92}\text{U}$	238,05079
Фтор	${}^{19}_9\text{F}$	18,99840	Плутоний	${}^{239}_{94}\text{Pu}$	239,05216

Периоды полураспада радиоактивных веществ

Изотоп	Период полураспада
$^{137}_{55}\text{Cs}$	30,17 года
$^{60}_{27}\text{Co}$	5,3 года
$^{131}_{53}\text{I}$	8,04 суток
$^{88}_{38}\text{Sr}$	28 лет
$^{239}_{94}\text{Pu}$	24 390 лет
$^{226}_{88}\text{Ra}$	1600 лет
$^{226}_{88}\text{Rn}$	55,6 секунды
$^{235}_{92}\text{U}$	700 млн лет
$^{238}_{92}\text{U}$	4,5 млрд лет

Электрохимические эквиваленты веществ

Анионы	Электрохимический эквивалент, $\times 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$	Катионы	Электрохимический эквивалент, $\times 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$
Cl^-	0,367	Ag^+	1,118
NO_3^-	0,643	Al^{3+}	0,0932
O^{2-}	0,0829	Au^{3+}	0,681
OH^-	0,177	Cu^{2+}	0,329
S^{2-}	0,167	Fe^{3+}	0,123
SO_4^{2-}	0,499	H^+	0,01045
CO_3^{2-}	0,311	Hg^+	2,079
		Na^+	0,238
		Zn^{2+}	0,339
		Ni^{2+}	0,304

Некоторые сведения из математики

Сумма членов арифметической прогрессии

$$S_n = \frac{a_1 + a_n}{2} \cdot n = \frac{2a_1 + d(n-1)}{2} \cdot n$$

Сумма членов геометрической прогрессии

$$S_n = \frac{b_n q - b_1}{q - 1} = \frac{b_1 (q^n - 1)}{q - 1}$$

Тригонометрия

α	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$\operatorname{tg} \alpha$	$\operatorname{ctg} \alpha$
0	0	1	0	∞
$\frac{\pi}{6}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}$
$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	1	1
$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\sqrt{3}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$
$\frac{\pi}{2}$	1	0	∞	0

Формулы сложения

$$\begin{aligned} \sin(\alpha \pm \beta) &= \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta \\ \cos(\alpha \pm \beta) &= \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta \\ \operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) &= \frac{\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta}{1 \mp \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta} & \operatorname{ctg}(\alpha \pm \beta) &= \frac{\operatorname{ctg} \alpha \operatorname{ctg} \beta \mp 1}{\operatorname{ctg} \beta \pm \operatorname{ctg} \alpha} \end{aligned}$$

Формулы двойного и половинного углов

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}$$

$$\sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1 - \cos \alpha}{2}$$

$$\operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1 - \cos \alpha}{1 + \cos \alpha}$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$$

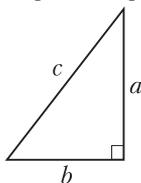
$$\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{\operatorname{ctg}^2 \alpha - 1}{2 \operatorname{ctg} \alpha}$$

$$\cos^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

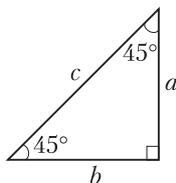
Геометрия

Прямоугольный треугольник

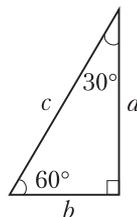
Теорема Пифагора



$$c^2 = a^2 + b^2$$



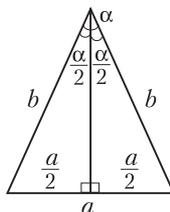
$$a = \frac{\sqrt{2}}{2} c$$



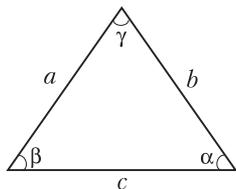
$$a = \frac{\sqrt{3}}{2} c \quad b = \frac{1}{2} c$$

Равнобедренный треугольник

$$a = 2b \sin \frac{\alpha}{2}$$



Произвольный треугольник



Теорема косинусов

Сумма углов треугольника

$$\alpha + \beta + \gamma = \pi$$

Теорема синусов

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos \beta$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$$

Значения некоторых чисел

$$\pi = 3,1415927$$

$$\sqrt{2} = 1,4142136$$

$$\sqrt{3} = 1,7320508$$

$$\ln 2 = 0,6931472$$

$$\ln 10 = 2,3025851$$

$$1 \text{ радиан} = 57,1957795^\circ$$

Формулы приближенного вычисления

При малом x ($x \rightarrow 0$):

$$1. (1 \pm x)^n \approx 1 \pm nx$$

$$2. \sqrt{1 \pm x} \approx 1 \pm \frac{x}{2}$$

$$3. \frac{1}{\sqrt{1 \pm x}} \approx 1 \mp \frac{x}{2}$$

$$4. \sin x \approx x$$

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

Свойства атомов химических элементов, а также состав и свойства их соединений находятся в периодической зависимости от зарядов атомных ядер

	I A		
	1		
1	1,00794		II A
	1 H ВОДОРОД		2
2	6,941	9,01218	
	3 Li ЛИТИЙ	4 Be БЕРИЛЛИЙ	
3	22,9898	24,3050	
	11 Na НАТРИЙ	12 Mg МАГНИЙ	
4	39,0983	40,078	
	19 K КАЛИЙ	20 Ca КАЛЬЦИЙ	
5	85,4678	87,62	
	37 Rb РУБИДИЙ	38 Sr СТРОНЦИЙ	
6	132,905	137,327	*
	55 Cs ЦЕЗИЙ	56 Ba БАРИЙ	
7	[223]	[226]	**
	87 Fr ФРАНЦИЙ	88 Ra РАДИЙ	

III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B	
3	4	5	6	7	8	9
44,9559	47,867	50,9415	51,9961	54,9380	55,845	58,9332
21 Sc СКАНДИЙ	22 Ti ТИТАН	23 V ВАНАДИЙ	24 Cr ХРОМ	25 Mn МАРГАНЕЦ	26 Fe ЖЕЛЕЗО	27 Co КОБАЛЬТ
88,9058	91,224	92,9064	95,96	[98]	101,07	102,905
39 Y ИТРИЙ	40 Zr ЦИРКОНИЙ	41 Nb НИОБИЙ	42 Mo МОЛИБДЕН	43 Tc ТЕХНЕЦИЙ	44 Ru РУТЕНИЙ	45 Rh РОДИЙ
174,967	178,49	180,948	183,84	186,207	190,23	192,217
71 Lu ЛЮТЕЦИЙ	72 Hf ГАФНИЙ	73 Ta ТАНТАЛ	74 W ВОЛЬФРАМ	75 Re РЕНИЙ	76 Os ОСМИЙ	77 Ir ИРИДИЙ
[262]	[261]	[262]	[266]	[271]	[277]	[268]
103 Lr ЛОУРЕНСИЙ	104 Rf РЕЗЕРФОРДИЙ	105 Db ДУБНИЙ	106 Sg СИБОРГИЙ	107 Bh БОРИЙ	108 Hs ХАССИЙ	109 Mt МЕЙТНЕРИЙ

* ЛАНТАНОИДЫ

138,905	140,116	140,908	144,242	[145]	150,36	151,964
57 La ЛАНТАН	58 Ce ЦЕРИЙ	59 Pr ПРАЗЕОДИМ	60 Nd НЕОДИМ	61 Pm ПРОМЕТИЙ	62 Sm САМАРИЙ	63 Eu ЕВРОПИЙ
[227]	232,038	231,036	238,029	[237]	[239]	[243]
89 Ac АКТИНИЙ	90 Th ТОРИЙ	91 Pa ПРОТАКТИНИЙ	92 U УРАН	93 Np НЕПТУНИЙ	94 Pu ПЛУТОНИЙ	95 Am АМЕРИЦИЙ

** АКТИНОИДЫ

								VIII A	
								18	
								4,00260	
								2 He	
								ГЕЛИЙ	
			III A	IV A	V A	VI A	VII A		
			13	14	15	16	17		
			10,811	12,0107	14,0067	15,9994	18,9984	20,1797	
			5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
			БОР	УГЛЕРОД	АЗОТ	КИСЛОРОД	ФТОР	НЕОН	
			26,9815	28,0855	30,9738	32,065	35,453	39,948	
			13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
			АЛЮМИНИЙ	КРЕМНИЙ	ФОСФОР	СЕРА	ХЛОР	АРГОН	
I B	II B								
10	11	12							
58,6934	63,546	65,38	69,723	72,63	74,9216	78,96	79,904	83,798	
28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
НИКЕЛЬ	МЕДЬ	ЦИНК	ГАЛЛИЙ	ГЕРМАНИЙ	МЫШЬЯК	СЕЛЕН	БРОМ	КРИПТОН	
106,42	107,868	112,411	114,818	118,710	121,760	127,60	126,904	131,293	
46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
ПАЛЛАДИЙ	СЕРЕБРО	КАДМИЙ	ИНДИЙ	ОЛОВО	СУРЬМА	ТЕЛЛУР	ИОД	КСЕНОН	
195,084	196,967	200,59	204,383	207,2	208,980	[209]	[211]	[222]	
78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
ПЛАТИНА	ЗОЛОТО	РУТУТЬ	ТАЛЛИЙ	СВИНЕЦ	ВИСМУТ	ПОЛОНИЙ	АСТАТ	РАДОН	
[271]	[282]	[285]	[286]	[289]	[289]	[293]	[294]	[294]	
110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og	
ДАРМШТАДИЙ	РЕНТГЕНИЙ	КОПЕРНИЦИЙ	НИХОНИЙ	ФЛЁРОВИЙ	МОСКОВИЙ	ЛИВЕРМОРИЙ	ТЕННЕСИН	ОГАНЕСОН	

157,25	158,925	162,500	164,930	167,259	168,934	173,054
64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb
ГАДОЛИНИЙ	ТЕРБИЙ	ДИСПРОЗИЙ	ГОЛЬМИЙ	ЭРБИЙ	ТУЛИЙ	ИТТЕРБИЙ
[247]	[247]	[249]	[252]	[257]	[258]	[259]
96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No
КЮРИЙ	БЕРКЛИЙ	КАЛИФОРНИЙ	ЭЙНШТЕЙНИЙ	ФЕРМИЙ	МЕНДЕЛЕВИЙ	НОБЕЛИЙ

ОТВЕТЫ

Молекулярная физика

1. Основные понятия молекулярно-кинетической теории (МКТ).

Основное уравнение МКТ идеального газа

1. б. 2. а. 3. в. 4. а) $m_{\text{CO}_2} = 7,3 \cdot 10^{-26}$ кг; б) $m_{\text{O}_2} = 5,3 \cdot 10^{-26}$ кг;

в) $m_{\text{HNO}_3} = 1,1 \cdot 10^{-25}$ кг. 5. а) $M_{\text{NaCl}} = 58,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$;

б) $M_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 98 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$; в) $M_{\text{HN}_3} = 17 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$. 6. $r = 1,9 \cdot 10^{-10}$ м.

7. а) $N = 3 \cdot 10^{23}$; б) $N = 3 \cdot 10^{22}$; в) $N = 3 \cdot 10^{21}$. 8. $m = 80$ г. 9. $m = 400$ г.

10. $\frac{N_1}{N_2} = 0,17$. 11. $\frac{N_1}{N_2} = 32$. 12. $N = 2,1 \cdot 10^{19}$. 13. $\langle W_{\text{к}} \rangle = 1,5 \cdot 10^{-20}$ Дж.

14. $n = 8,0 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$. 15. $p = 2,1 \cdot 10^{-4}$ Па. 16. $N = 1,7 \cdot 10^{22}$.

17. $N = 1,2 \cdot 10^6$. 18. $W_{\text{к}} = 20$ кДж. 19. а) $v = 9,4 \cdot 10^{-2}$ моль;

б) $N = 5,6 \cdot 10^{22}$; в) $T = 3,9 \cdot 10^2$ К; г) $W_{\text{к}} = 4,5 \cdot 10^2$ Дж.

20. $n = 1,2 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. 21. $N = 4,9 \cdot 10^{24}$. 22. При $T_1 < T$ давление на стенку больше, чем при $T_1 > T$.

2. Средняя квадратичная скорость движения молекул

23. $W_{\text{к}} = 5,7 \cdot 10^{-21}$ Дж. 24. $M = \frac{3RT}{\langle v_{\text{кв}} \rangle^2}$. 25. $T = 1,4 \cdot 10^3$.

26. $V = \frac{m \langle v_{\text{кв}} \rangle^2}{3nkT}$. 27. $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 606 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 28. В 1,3 раза. 29. $t_2 = 2,2 \cdot 10^3$ °С.

30. 44 %. 31. В 2,56 раза. 32. $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 2,6 \cdot 10^2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 33. $m = \frac{3kTN}{\langle v_{\text{кв}} \rangle^2}$.

34. $\Delta T_1 = 964$ К. 35. а) $T_1 = 4T = 1,1 \cdot 10^3$ К; б) $p_1 = 4p = 4,0$ атм; в) $N = 2,7 \cdot 10^{22}$.

3. Закон Дальтона

36.* $p = 15$ Мпа. 37.* $T = 2,5 \cdot 10^2$ К. 38.* $V = 80$ л.

39.* $M_{\text{см}} = 2,8 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$. 40.* $M_{\text{см}} = 13 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.

41.* 28 % кислорода, 72 % азота. 42.* $\rho_{\text{см}} = 0,42 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

43.* $n_{\text{N}} = 6,9 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$. 44.* $p = 2,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$.

45.* $T = 1,2 \cdot 10^2 \text{ К}$. 46.* $\rho_{\text{см}} = 0,44 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. 47.* $V = 20 \text{ л}$. 48.* $m = 11 \text{ г}$.

49.* $n_1 = 2,9 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$. 50.* $p = 8,4 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Законы идеального газа. Изопроцессы

4. Уравнение Клапейрона — Менделеева

51. $T = 380 \text{ К}$. 52. $V = 27,5 \text{ дм}^3$. 53. $M = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$. 54. $m = 1,5 \text{ кг}$.

55. $\Delta m = 6,4 \text{ кг}$. 56. NH_3 . 57. $m = 4,0 \text{ кг}$. 58. $p_1 = 0,10 \text{ МПа}$.

59. $F_{\text{тр}} = 0,23 \text{ кН}$. 60. $\rho = 0,13 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. 61. $v = 6,9 \text{ моль}$. 62. $m_2 = 0,98 \text{ г}$.

63. $n = 0,4$. 64. $\frac{V_2'}{V_1} = 1,8$. 65. $\frac{V_2}{V} = 0,56$. 66.* $\tau = 1,86 \text{ ч}$. 67.* $\Delta F = 1,2 \text{ кН}$.

68.* $p_1 = 900 \text{ мм рт. ст.}$, $p_2 = 100 \text{ мм рт. ст.}$

5. Изотермический процесс

69. а. 70. в. 71. а. 72. $p = 8,4 \cdot 10^4 \text{ Па}$. 73. $p_1 = 6,0 \text{ атм}$. 74. $h = 20 \text{ м}$.

75. $h = 0,15 \text{ м}$. 76. $h_x = 12 \text{ см}$. 77. $p_0 = 3,4 \cdot 10^4 \text{ Па}$. 78. $p_1 = 50 \text{ кПа}$.

6. Изохорный процесс

79. б. 80. а. 81. б. 82. $p_1 = 200 \text{ кПа}$. 83. $T_1 = 5,0 \cdot 10^2 \text{ К}$. 84. $p_1 = 10 \text{ кПа}$.

85.* В 1,2 раза.

7. Изобарный процесс

86. в. 87. б. 88. б. 89. $\Delta T = 600 \text{ К}$. 90. $V_1 = 143 \text{ см}^3$. 91. $\frac{\Delta V}{V_1} \cdot 100 = 17 \%$.

92. $T_2 = 450 \text{ К}$. 93. $\frac{\Delta V}{V} \cdot 100 \% = 20 \%$. 94. На $\frac{\Delta V}{V} \cdot 100 \% = 20 \%$.

8. Объединенный газовый закон (уравнение Клапейрона)

95. $p_2 = 40 \text{ кПа}$. 96. 60 %. 97. $p_1 = 69 \text{ кПа}$. 98. $S = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

99. $T_1 = 4T_0$. 100. 45 %. 101. Увеличится в 3,7 раза. 102.* Уменьшить

до значения $T_2 = \frac{2p_0 - \rho g l}{2p_0 + \rho g l} T_1$. 103.* $\eta_1 = 1,9$.

9. Графическое представление процессов в идеальном газе

104. На рисунке 2. 105. На рисунке 4. 106. На рисунке 3. 107. $V_2 > V_1$. 108. $p_1 < p_2$. 109. Точка 1 на рисунке 233 соответствует наименьшему объему, а точка 2 — наибольшему. 110. На участке 1—3 давление увеличивалось, а на участке 3—2 — уменьшалось (рис. 234). 111. $m_1 < m_2$, т. е. масса газа увеличивается. 112. $m_1 < m_2$, т. е. масса газа уменьшается. 113. См. рис. 235. 114. См. рис. 236. 115. См. рис. 237. 116. См. рис. 238. 117. См. рис. 239. 118. См. рис. 240. 119. а) $p_2 = p$, $V_2 < V_1$, $T_2 < T_1$; б) $p_2 = p_1$, $V_2 < V_1$, $T_2 < T_1$; в) $p_2 < p_1$, $V_2 > V_1$, $T_2 = T_1$; г) $p_2 = p_1$, $V_2 > V_1$, $T_2 > T_1$; д) $p_2 = p_1$, $V_2 > V_1$, $T_2 > T_1$; е) $p_2 > p_1$, $V_2 < V_1$, $T_2 = T_1$. 120. 1 → 2 — изобарное расширение; 2 → 3 — изотермическое расширение; 3 → 4 — изохорное охлаждение; 4 → 5 — изобарное сжатие; 5 → 1 — изотермическое сжатие.

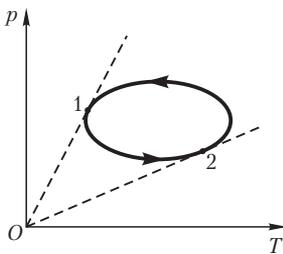


Рис. 233

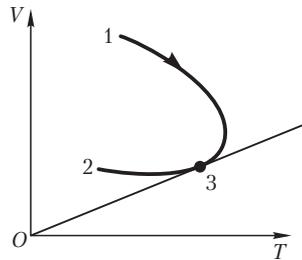


Рис. 234

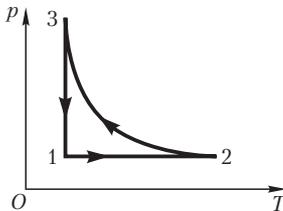


Рис. 235

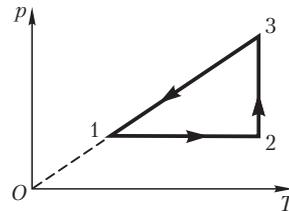
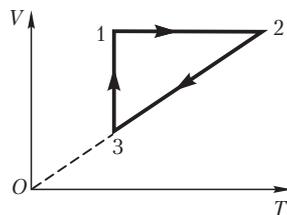
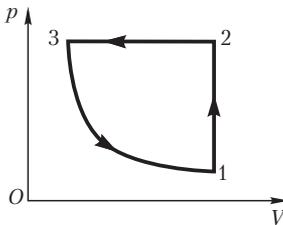
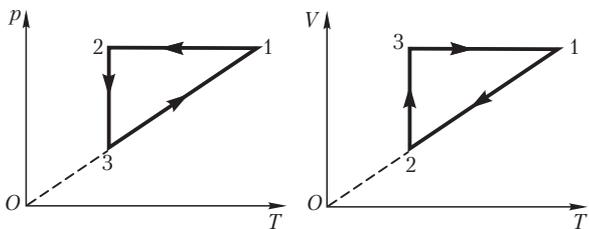
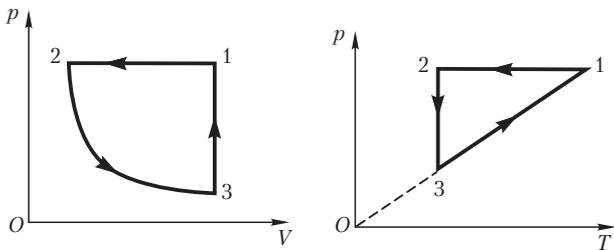


Рис. 236

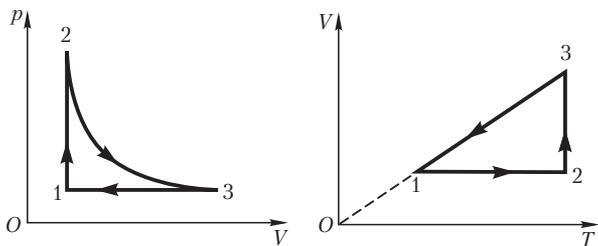




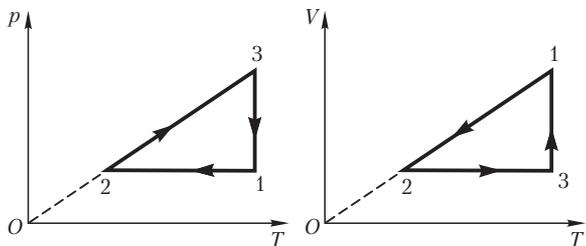
Puc. 237



Puc. 238



Puc. 239



Puc. 240

121. См. рис. 241. 122. См. рис. 242. 123. См. рис. 243. 124. См. рис. 244.
 125. См. рис. 245.

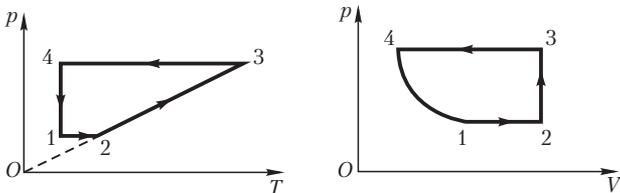


Рис. 241

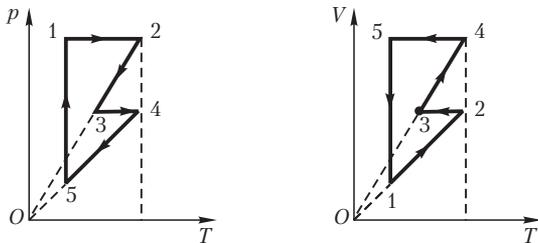


Рис. 242

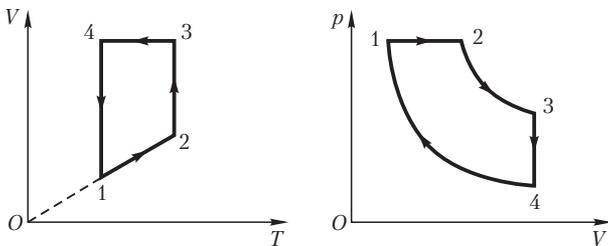


Рис. 243

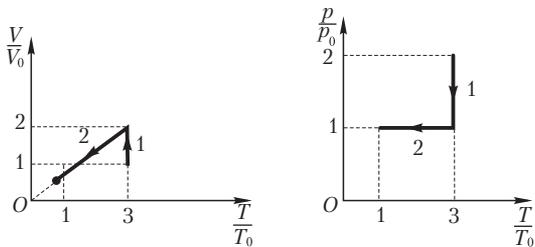


Рис. 244

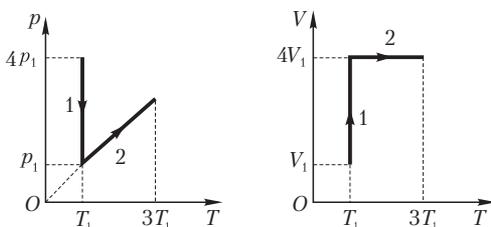


Рис. 245

10. Поверхностное натяжение жидкостей. Свойства жидкостей

126.* $\sigma = 20 \frac{\text{МН}}{\text{М}}$. 127.* $m = 19 \text{ мг}$. 128.* $N = 128$. 129.* Да. 130.* $F = 56 \text{ мН}$.

131.* $A = 0,11 \text{ МДж}$. 132.* $E = 3,8 \text{ МДж}$. 133.* $E = 6,7 \cdot 10^{11} \text{ Дж}$.

134.* $d = 0,45 \text{ мм}$. 135.* $\sigma = 23 \frac{\text{МН}}{\text{М}}$. 136.* $l = 1,7 \text{ м}$. 137.* $m = 10 \text{ мг}$.

138.* $\sigma = 23 \frac{\text{МН}}{\text{М}}$. 139.* $d_1 = 1,2 \text{ мм}$; $d_2 = 0,58 \text{ мм}$; $d_3 = 0,37 \text{ мм}$.

140.* $h_1 = 6,0 \text{ см}$; $h_2 = 15 \text{ см}$; $h_3 = 7,1 \text{ см}$. 141.* $r = 0,29 \text{ мкм}$.

142.* $h = 9,7 \text{ см}$. 143.* $Q = 3,3 \text{ мкДж}$, не изменится. 144.* $h = 11 \text{ мм}$.

145.* $H = h + \frac{2\sigma}{\rho g r}$, $\Delta H = \frac{2\sigma}{\rho g r}$.

11. Испарение и конденсация. Насыщенный пар. Влажность воздуха

146. Нет. 147. $m = 0,92 \text{ кг}$. 148. $m = 1,3 \text{ г}$. 149. $\rho_{\text{н}} = 25 \frac{\text{г}}{\text{М}^3}$.

150. $m = 5,3 \cdot 10^2 \text{ г}$. 151. $\rho = 4,0 \frac{\text{г}}{\text{М}^3}$. 152. $\varphi = 36 \%$. 153. $m = 0,1 \text{ кг}$,

$\varphi = 30 \%$. 154. $\Delta V = 8,7 \text{ л}$. 155. $\frac{\rho_{\text{с}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{p}{p - \varphi p_{\text{н}} (1 - M_{\text{н}} / M_{\text{в}})} = 1,005$.

156. $\frac{\rho}{\rho_{\text{в}}} = 6,1 \cdot 10^{-4}$. 157. $\varphi = 70 \%$. 158.* $p_1 = 2,3 \text{ кПа}$;

а) $p_2 = \frac{m_{\text{в}} R T_2}{M V} = 34 \text{ кПа}$; б) $p_3 = 2,3 \text{ кПа}$. 159.* Уровни воды в сосудах сравниваются, и пар станет насыщенным у обеих поверхностей.

12. Строение и свойства твердых тел

160. Вследствие анизотропии кристаллы при нагревании расширяются неодинаково по различным направлениям. **161.** Крупинка является монокристаллом, кусок — поликристалл. **162.** Характерная форма кристаллов. **163.** Потому что при ходьбе по снегу разрушаются кристаллы снежинок. **164.** В нагретом воске часть межмолекулярных связей уже разрушена. **165.** Потому что аморфные тела не имеют точки плавления. **166.** Для увеличения прочности на изгиб. **167.** Бутылка лопнет вследствие расширения воды при замерзании. **168.** При резком нагревании (охлаждении) эмаль зуба может треснуть. **169.** Нарушится. Нагретое плечо коромысла опустится.

Основы термодинамики

13. Количество теплоты. Агрегатные превращения веществ

170. а. **171.** б. **172.** б. **173.** $Q = 2,5 \cdot 10^5$ Дж. **174.** $Q = 9,9 \cdot 10^5$ Дж.

175. $\Delta t = 2,1$ °С. **176.** $t_0 = 94$ °С. **177.** $c_1 = 2,5 \cdot 10^2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$,

$c_2 = 5,0 \cdot 10^2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. **178.** $V_1 = 80$ л, $V_2 = 1,2 \cdot 10^2$ л. **179.** $t = 19,5$ °С.

180. $t_0 = 215$ °С. **181.** $Q = 1,6$ Дж. **182.** $Q = 0,58$ Дж. **183.** $\frac{m_x}{m} = 0,16$.

184. В кипяченой воде содержится меньше растворенных газов. Закипит. **185.** $n = 24$. **186.** $t = 88$ °С. **187.** $m = 3,6$ кг. **188.** $\lambda = 3,4 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

189. $\tau = 25$ мин. **190.** $t_0 = 56$ °С. **191.** Повысится на 53 %.

192. $\frac{m_1}{m_2} = 0,43$. **193.** $t_0 = 30$ °С. **194.** $m = 0,13$ кг. **195.** $t_0 = 66$ °С.

196. $t_0 = 80$ °С. **197.** Увеличилась на 32 %. **198.** $M = 0,20$ кг.

199. $\frac{m_1}{m_2} = 0,62$. **200.** $\eta = 52$ %. **201.** $m = 0,60$ кг. **202.** $m = 0,60$ кг.

203. $\Delta t = 57$ °С. **204.** $t = 55$ °С. **205.** $t = 56$ °С.

14. Работа в термодинамике

206. $A = 96$ Дж. **207.** $\Delta V = 5,0$ м³. **208.** $V_0 = 0,60$ м³. **209.** $A = 0,83$ кДж.

210. $\Delta T = 265$ К. **211.** $\frac{A_1}{A_2} = 1,2$. **212.** $T_0 = 5,0 \cdot 10^2$ К. **213.** $A = 24$ кДж.

214. $A = 400$ кДж. 215. $A = 220$ Дж.

216. $A = 0,83$ кДж. 217. $A = \frac{m}{M} RT \left(\frac{n-1}{n} \right)$

(см. рис. 246). 218. $A = 1,7$ кДж.

219. $A = -303$ Дж. 220.* $A = 1,0$ кДж.

221.* $A = R \frac{m}{M} \frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2)$. 222.* В изобарном

(больше площадь под графиком).

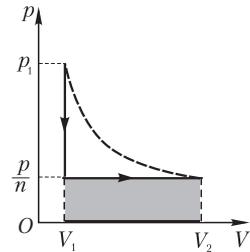


Рис. 246

15. Внутренняя энергия. Первый закон термодинамики

223. в. 224. $U = 37$ кДж. 225. Внутренняя энергия расплавленного

свинца на 18 кДж больше. 226. $\Delta U = 12$ кДж. 227. $A = 1,0$ кДж.

228. $U = 300$ кДж. 229. $p = 3,5$ кПа. 230. $\Delta U = 1,8 \cdot 10^2$ Дж.

231. $\Delta U = -1,8$ кДж. 232. Увеличится в 1,5 раза. 233. $A = 5,2$ кДж,

$Q = 13$ кДж. 234. $U_1 = 100$ Дж. 235. $V = 0,35$ м³. 236. $M = 4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.

237. $\Delta Q = 75$ кДж. 238. $Q = \frac{3}{2} p_1 V_1 \left(\frac{p_1}{p_2} - 1 \right)$. 239. $Q = -374$ Дж.

240. $v = 374 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 241. $U = 14$ кДж. 242. $\Delta U = 0,62$ кДж.

243.* $c_{\text{см}} = 2,2 \cdot 10^2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. 244.* $Q_p - Q_v = \frac{m}{M} R \Delta T$, $c_p - c_v = \frac{R}{M}$.

16. Циклические процессы. Тепловые двигатели

245. $\eta = 80$ %. 246. $A = 108$ Дж. 247. $A = 133$ Дж. 248.* В 4 раза.

249.* В 1,6 раза. 250.* $Q_2 = 600$ Дж. 251.* $T_1 = 400$ К. 252. $\eta = 29$ %.

253. $\eta = 47$ %. 254. $A = 5,4 \cdot 10^5$ Дж. 255. $A = 1,8$ МДж.

256.* $\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{(T_1 - T_2) m q}{T_1 E} = 1,7$. 257.* $Q = 19$ кДж.

258.* $\eta = \frac{(\alpha - 1)(\beta - 1)}{\frac{3}{2}(\alpha\beta - 1) + \alpha(\beta - 1)}$, $\eta_{\text{max}} = 40$ % при $\alpha \rightarrow \infty$, $\beta \rightarrow \infty$.

259.* $P_{\text{max}} = 0,27$ МВт. 260.* $\eta = 9,5$ %. 261.* $\eta = 22$ %.

262.* $Q = 2,49$ кДж. 263.* $Q = 1,97$ кДж. 264.* Большую работу

газ совершает в процессе 1-2-3-1. 265.* $A = \nu R (\sqrt{T_1} - \sqrt{T_3})^2$.

266.* $V_3 = \frac{V_2}{V_1}$. 267.* $Q = 8,3$ кДж.

Электростатика

17. Электрический заряд. Закон сохранения заряда. Закон Кулона

268. б. 269. а. 270. а. 271. б. 272. $N = 1,25 \cdot 10^{15}$. 273. $q = +3,0$ нКл.
274. $q = -5,4 \cdot 10^4$ Кл. 275. $F = 9,0$ кН. 276. $F = 6,5 \cdot 10^3$ Н. 277. $r = 2,2$ м.
278. $q = 1,7 \cdot 10^{-5}$ Кл. 279. Можно, используя явление электростатической индукции. 280. В $4,2 \cdot 10^{42}$ раза. 281. В 256 раз. 282. Увеличить в 3 раза. 283. $r_1 = 1,1$ мм. 284. $r_1 = 5,45$ мм. 285. $\epsilon = 7,5$.
286. Заряд $q_3 = -\frac{4}{9}q$ располагается между зарядами q_1 и q_2 на

соединяющей их прямой линии на расстоянии $x = l \frac{q_2 - \sqrt{q_1 q_2}}{q_2 - q_1} = \frac{2}{3}l$

- от заряда q_2 . 287. $q = 2 \cdot 10^{-13}$ Кл. 288. $q = 2,1 \cdot 10^{-17}$ Кл. 289. $r = 1,0$ см.
290. $F = 12$ мН. 291. $F = 2,2 \cdot 10^{-4}$ Н. 292. $\alpha = 56^\circ$. 293.* Указание:
используйте свойства параболы. а) $q_1 = q_2 = \frac{q}{2}$; б) $q_1 = 0$ или $q_2 = 0$.

294. $q_1 = \frac{q_2(2n^2 + p) \pm 2nq_2\sqrt{n^2 + p}}{p}$. 295.* $\Delta l = 4,5$ см. 296.* $F = 3,3k \frac{q^2}{a^2}$.

297. $\epsilon = \frac{\rho_1}{\rho_1 - \rho_2}$. 298.* $\operatorname{ctg} \alpha_1 = 1 - 2\sqrt{2} + \frac{2\sqrt{2}mga^2}{kqq_0}$. 299. $q = l\sqrt{8\pi\epsilon_0 mg}$.

300.* $q = \sqrt{5}q_0 = 2,2q_0$. 301.* $q = 3\sqrt{3}q_0$. 302.* $\omega = q\sqrt{\frac{3\sqrt{2} - 4}{8\pi\epsilon_0 ml^3}}$.

303.* $k = \frac{q^2\sqrt{a^2 + l^2}}{32\pi\epsilon_0 a^3(\sqrt{a^2 + l^2} - l)}$. 304.* $q_{\min} = \frac{32\pi\epsilon_0 mgR^2}{q}$.

18. Напряженность электростатического поля.

Принцип суперпозиции

305. б. 306. б. 307. б. 308. Противоположно направлению силовых линий вектора \vec{E} . 309. $F = 0,4$ мкН. 310. $r = 30$ м. 311. $q = 25$ мКл.
312. $E = 2,0 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$. 313. $\alpha_2 = 48^\circ$. 314. $n = \frac{1}{4}$. 315. $\alpha = 169^\circ$. 316. $r = 1,5$ м.
317. $E = 6,8 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$; нет. 318. $E = 1,3 \cdot 10^5 \frac{\text{В}}{\text{м}}$. 319. а) отклонится;

б) не отклонится. **320.** $E = 6,5 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$. **321.*** $E_1 = 0, E_2 = 2,5 \cdot 10^9 \frac{\text{В}}{\text{м}}$.

$$\mathbf{322.*} \quad k = \frac{mg}{\Delta x} + \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0\Delta x(l - \Delta x)^2}.$$

19. Потенциал электростатического поля. Разность потенциалов (напряжение)

323. б. **324.** $\varphi = 3 \cdot 10^3 \text{ В}$. **325.** $q = 2 \text{ пКл}$. **326.** $\varphi = -1,1 \cdot 10^6 \text{ В}$.

327. $R = 2,0 \text{ м}$. **328.** $l = 12 \text{ м}$. **329.** $\varphi = 18 \text{ кВ}$. **330.** $q = 0,67 \text{ пКл}$.

331. $\varphi = 2,3 \cdot 10^2 \text{ В}$. **332.** На расстоянии $l = 0,35 \text{ м}$ от заряда q_1 .

333. $q = 8,3 \cdot 10^{-13} \text{ Кл}$. **334.** $\varphi = 0,11 \text{ МВ}$. **335.** $q'_1 = 26 \text{ мКл}, q'_2 = 64 \text{ мКл}$.

336. $q = 14 \text{ мКл}$. **337.** $q = 5,6 \text{ нКл}, R = 25 \text{ см}$. **338.** $q = -q_2, \varphi = k \frac{q_1 + q_2}{5R}$.

339. $\varphi = k \frac{q_1 + q_2}{R}$. **340.** $\varphi = k \frac{q_1 + q_2}{4R}$. **341.** $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$. **342.** $\varphi_1 = 5,4 \cdot 10^6 \text{ В}$,

$\varphi_2 = 0$. **343.*** $q_1 = -\frac{3R\varphi}{2k}, q_2 = \frac{9R\varphi}{2k}$. **344.*** Потенциал не изменится.

345. $\varphi = k \frac{q}{a}$. **346.*** а) не изменится; б) уменьшится на $\Delta\varphi = 2,5 \text{ кВ}$.

347.* $\Delta\varphi_3 = 5,0 \text{ В}$.

20. Связь между напряжением и модулем напряженности однородного электростатического поля

348. в. **349.** $d = 4,0 \text{ мм}$; не может. **350.** $U_{\text{max}} = 40 \text{ В}$. **351.** $q = 2,4 \text{ мКл}$.

352. $F = 1,0 \text{ мкН}$. **353.** $q_{\text{max}} = 15 \text{ нКл}, R_{\text{min}} = 6,7 \text{ мм}$. **354.** $A = 0,58 \text{ Дж}$.

355. $U_{\text{max}} = 48 \text{ МВ}$. **356.** $\alpha = 48^\circ$. **357.** $\epsilon = 3,3 \cdot 10^2 \text{ В}$. **358.** $U = 5,6 \cdot 10^{-12} \text{ В}$.

359. $N = 2,1 \cdot 10^8$. **360.** $A = 0,7 \text{ мДж}$. **361.** $q_{\text{max}} = 3,3 \text{ мкКл}$. **362.** $U = 0$, так как все точки проводящего куба эквипотенциальны.

363.* $F = \frac{4q^2}{\epsilon_0 S}; U_1 = \frac{4qd}{\epsilon_0 S}; U_3 = \frac{2qd}{\epsilon S}$. **364.*** $A = 18 \text{ мДж}$.

21. Движение заряженных тел в электростатическом поле

365. $E = 40 \frac{\text{мкВ}}{\text{м}}$. **366.** $\Delta t = 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ с}$. **367.** $t_1 = 1,2 \text{ с}$. **368.** $r = 0,52 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

369. $l = 22 \text{ м}$, если $\vec{E} \uparrow \uparrow \vec{g}$; $l = 87 \text{ м}$, если $\vec{E} \uparrow \downarrow \vec{g}$. **370.** $\rho = 0,98 \cdot 10^{14} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

371. а) $a_1 = 0,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$; $a_2 = 19 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$; б) $a_1 = a_2 = 13 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$. **372.** При движении

вверх по наклонной плоскости $a = 8,4 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$. **373.** $q = 1,3 \text{ мКл}$.

374. $m = 0,36 \text{ кг}$. **375.** $h = d \sin \alpha \cos^2 \alpha + k \frac{q^2 \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha}{mgl(l + 2d \cos \alpha)}$ при $kq^2 > mgd \operatorname{tg} \alpha (l + 2d \cos \alpha)$. **376.** $q_1 = q_2 = 35 \text{ нКл}$.

377.* $\Delta t = 2 \frac{\Delta t_1 \Delta t_2}{\Delta t_1 - \Delta t_2}$. **378.** а) $q_1 q_2 = \sqrt{3} \frac{mgR^2}{k}$; б) $q_1 q_2 = 3\sqrt{3} \frac{mgR^2}{k}$.

379. $v_1 = q \sqrt{\frac{km^2}{m_1(m_1 + m_2)r}}$; $v_2 = q \sqrt{\frac{km_1}{m_2(m_1 + m_2)r}}$; $p = n$.

380. $v_{\min} = 1,19 \cdot 10^7 \frac{\text{М}}{\text{с}}$. **381.** $A = 2qER$. **382.** $v = 5,9 \cdot 10^6 \frac{\text{М}}{\text{с}}$.

383. $l = 0,758 \text{ мм}$; $U = 114 \text{ мВ}$. **384.** Работа сил поля положительна,

$A = 9k \frac{q^2}{a}$; $v \approx 2,4q \sqrt{\frac{k}{ma}}$. **385.*** $v_{\min} = \sqrt{\frac{2kqQ(M+m)}{Mmr}}$.

386.* $v_{\max} = \left(k \frac{q^2}{em} - 2q \sqrt{k \frac{\mu g}{m}} + \mu g l \right)^{\frac{1}{2}}$. **387.** $W_{\kappa}(\Delta t) = \frac{m}{2} \left(v^2 + \left(\frac{eE}{m} \Delta t \right)^2 \right)$;

$A = \frac{(eEt)^2}{2m}$. **388.** $\Delta y = \frac{eUl^2}{2mdv_0^2} = 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. **389.** $\Delta y = \frac{eUl}{4dW_{\kappa}} (l + 2H)$.

390. $v_0 > \sqrt{\frac{2eU}{m \cos^2 \alpha}}$. **391.** $v = \sqrt{2gh + \frac{2kq_1 q_2}{mh} (1 - \operatorname{tg} \alpha)}$.

392. $\omega = \sqrt{\frac{kq}{mR^3} \left(q_0 - \frac{q}{4} \right)}$. **393.*** $r_{\min} = \frac{4ke^2}{m(v_1 - v_2)^2}$.

394.* а) $h_1 = \frac{mv_0^2 \sin^2 \alpha}{2qE_1}$, $h_2 = \frac{mv_0^2 \sin^2 \alpha}{2qE_2}$; б) $\langle v \rangle = v_0 \cos \alpha$.

395.* $v = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2kq^2}{m} \left(\frac{1}{q} \sqrt{\frac{F_{\text{н}}}{k}} - \frac{1}{10r} \right)}$, если $F_{\text{н}} < k \frac{q^2}{4r^2}$; $v = q \sqrt{\frac{0,2k}{mr}}$, если

$F_{\text{н}} > k \frac{q^2}{4r^2}$. **396.*** $v_{\max} = 2,0 \frac{\text{М}}{\text{с}}$.

22. Электроемкость. Конденсаторы

397. б. 398. в. 399. б. 400. $U = 0,5$ В. 401. $C_1 = 0,41$ мкФ. 402. $C_1 = 23$ нФ.
403. $U = 2,4$ В. 404. $S = 1,7 \cdot 10^{-3}$ м². 405. Останется. 406. Уменьшится в 2 раза. 407. $U_2 = 100$ В. 408. $U_2 = 20$ В. 409. $C = 0,71$ мФ, $q = 2,1$ Кл.
410. $q = 5,7$ нКл. 411. $q_1 = 1,2 \cdot 10^{-4}$ Кл. 412. $q = 86$ нКл. 413. $q = 0,20$ нКл.
414.* $C = C_0 \frac{d}{d-l}$. 415. Увеличится в $n = \frac{(q_1 + q_2)^2}{q_1 q_2} \cdot \frac{C_1 C_2}{(C_1 + C_2)^2} = 1,1$ раза.
416.* $l < d \sqrt{\frac{2W_{\text{к}} C}{q_0 q}}$. 417.* $I = 8,0$ нА.

23. Батареи конденсаторов

418. в. 419.* $C = 9,2$ пФ. 420.* $C = 84$ пФ. 421.* $C_1 = 66$ нФ.
422.* Большая в первом случае. 423.* Увеличится на $\Delta C = 110$ мкФ.
424.* а. 425.* $W = 9,8$ мДж; $W_1 = 5,4$ мДж; $W_2 = 2,7$ мДж;
 $W_3 = 1,7$ мДж. 426.* $C = 10$ пФ. 427.* $q_1 = 1,9$ мкКл; $q_2 = 2,9$ мкКл.
428.* Параллельно подключить конденсатор $C_3 = 1,0$ мкФ.
429.* Последовательно подключить конденсатор $C_3 = 1,5$ мкФ.
430.* $q = 80$ мкКл. 431.* Увеличится на $\Delta W = 1,1$ мДж.
432.* Уменьшится на $\Delta W = 84$ мкДж. 433.* $C = 1,5$ мкФ; $U_1 = 55$ В;
 $U_2 = 165$ В. 434.* $U_1 = 40$ В; $U_2 = 10$ В. 435.* $C_{\text{max}} = 12$ мкФ (параллельно);
 $C_{\text{min}} = 0,73$ мкФ (последовательно). 436.* $C_2 = 6,0$ мкФ;
 $C_3 = 2,0$ мкФ. 437.* $C = \frac{d}{d-l} C_0$. 438.* $U_1 = \frac{3qd}{\epsilon_0 S(1+2\epsilon)}$; $U_2 = \frac{qd(2+\epsilon)}{\epsilon_0 S 3\epsilon}$.
439.* $q_1 = \frac{14}{6} CU$; $q_1 = \frac{28}{6} CU$; $q_1 = \frac{42}{6} CU$. 440.* $C' = \frac{C}{4}$.
441.* $\Delta q = U \frac{\epsilon_0 S}{d} \frac{4(\epsilon-1)}{4+\epsilon}$. 442.* $C = 3,3$ мкФ. 443.* $C = 8,0$ мкФ.
444.* $C = 2,3$ мкФ. 445.* $C = 5,7$ мкФ. 446.* $C_6 = 2C$. 447.* $C_6 = 1,2C$.
448.* $C_6 = 0,62C$. 449.* $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2 S}{\epsilon_1 d_2 + \epsilon_2 d_1}$. 450.* $W_1 = 11$ мДж; $W_2 = 5,6$ мДж;
 $W_3 = 13$ мДж. 451.* Три конденсатора последовательно и параллельно им четвертый. 452.* $U_1 = 9,3$ В; $U_2 = 2,7$ В; $W_1 = 0,17$ мДж;
 $W_2 = 0,050$ мДж; $W_3 = 0,022$ мДж. 453.* $C_6 = 19$ мкФ.
454.* $C_6 = 7,2$ мкФ. 455.* $C_1 = 6,1$ мкФ.

24. Работа сил электростатического поля

456. а. 457. в. 458. а) $W_e = -8,0 \cdot 10^{-17}$ Дж; б) $W_p = 8,0 \cdot 10^{-17}$ Дж.

459. $A = \frac{4kq^2}{r_1}$. 460. $A = 54$ мкДж. 461. $q = 2,4$ мКл. 462. $v = 5,9 \cdot 10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

463. $A = 2k \frac{q_0 q}{a} (\sqrt{2} - 1)$. 464. $Q = 2,2 \cdot 10^{-7}$ Дж. 465. $A_1 = 8 \cdot 10^{-18}$ Дж,

$A_2 = -A_1$. 466. $A = 21$ мДж. 467. $A = 7,2$ Дж. 468. $\varphi = \frac{A(R+a)}{qR}$.

469. $W = 4,2 \cdot 10^9$ Дж; $m = 10$ т. 470. $A = 11$ нДж. 471. $A = 0,72$ Дж.

472.* $U = 9,4$ МВ. 473.* $W = 3k \frac{q^2}{a}$; $A = -\frac{13}{6} k \frac{q^2}{a}$.

25. Энергия электростатического поля конденсатора

474. б. 475. в. 476. $W = 1,4 \cdot 10^{-5}$ Дж. 477. $q = 1,0$ мКл. 478. $C = 2,5$ мкФ.

479. $C = 0,44$ мкФ. 480. $U = 3,2 \cdot 10^2$ В. 481. Уменьшится в 2 раза.

482. $W = 6,4$ мкДж. 483. $A = \frac{CU^2}{2} \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} = 90$ мДж. 484. $A = 58$ мДж.

485.* $\Delta W = 3,5$ мкДж, $A = 7,1$ мкДж; $A' = -3,5$ мкДж, $\Delta W_1 = -1,8$ мкДж.

Постоянный электрический ток

26. Электрический ток. Электрическое сопротивление. Напряжение. Закон Ома для участка цепи

486. г. 487. г. 488. б. 489. б. 490. $R = 2,2 \cdot 10^{-2}$ Ом. 491. $d_2 = 1,4$ мм.

492. $R_2 = 6,0$ Ом. 493. $l = 1,4 \cdot 10^2$ м, $d = 1,1$ мм. 494. Стальной резистор тяжелее медного в $k = 6,2$ раза. 495. $R_{\max} = 2,6$ мкОм, $R_{\min} = 0,28$ мкОм. 496. $R_1 = 80$ Ом. 497. $S = 5,80 \cdot 10^{-8}$ м², $r = 0,136$ мм, $l = 159$ м. 498. Сопротивление медной проволоки в $k = 50$ раз больше. 499. $I = 4,0$ А. 500. $q = 35$ кКл. 501. $N = 1,3 \cdot 10^{19}$.

502. $N = 3,9 \cdot 10^{26}$. 503. Можно. 504. $U = 12$ В. 505. $U = 0,80$ МВ, опасное напряжение для жизни птицы. 506. $I = 0,94$ А.

507. $I = 1,1 \cdot 10^{-3}$ А. 508.* $q = 2I\Delta t$. 509.* $q = \frac{5I_1 + 3I_2}{4} \Delta t$.

27. Соединения резисторов

510. а. 511. в. 512. а. 513. б. 514. б. 515. $R_0 = 6,7$ Ом. 516. Осуществить невозможно. 517. K_2 и K_4 . 518. K_1 и K_5 ; K_1 и K_4 ; K_2 , K_3 и K_4 .

- 519.** K_1, K_3 и K_5 ; K_2 и K_5 . **520.** K_2 . **521.** K_1 и K_2 . **522.** K_3 . **523.** $R_0 = 3,3$ Ом.
524. K_1, K_2, K_3 . **525.** K_1, K_2, K_3 и K_4 ; K_1, K_4 и K_5 . **526.** K_1, K_2, K_3 и K_5 .
527. K_1, K_3 и K_5 ; K_2 и K_5 . **528.** K_1, K_2, K_3 и K_4 ; K_1, K_4 и K_5 . **529.** K_2 и K_4 .
530. $U_3 = 15$ В. **531.** $R_{\max} = 6,8$ мкОм. **532.** Уменьшится в 1,9 раза.
533. Увеличилась на 11 %. **534.** Уменьшилась на 10 %.
535. $I = 9,6$ А. **536.** $R = 0,80$ Ом. **537.** $R = 1,2$ Ом. **538.** $R_3 = 40$ Ом.
539. Уменьшится в $\frac{4}{3}$ раза. **540.** Уменьшится в 1,3 раза.
541. Уменьшится в 1,4 раза. **542.** $U_2 = 1,2$ В. **543.** $U_3 = 6,0$ В.
544. $R_x = 20$ Ом. **545.** $R_x = 18$ Ом. **546.** $R = 24$ Ом. **547.** $R_0 = 0,88R$.
548. $R_0 = 2,7R$. **549.** $r = 4,1$ Ом. **550.** $R_x = 2,0$ Ом. **551.** $U_1 = 12$ В.
552. $U_4 = 32$ В. **553.** $U_3 = 6,0$ В. **554.** $U_3 = 2,0$ В. **555.** $I_3 = 1,0$ А.
556. $I_3 = 2,0$ А. **557.** $I_3 = 0,70$ А. **558.** $\frac{U_2}{U_1} = 1$. **559.** $\frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{2}$. **560.** $U_3 = 10$ В.
561. $I = 0,88$ А. **562.** $U_1 = 120$ В; $U_2 = 100$ В. **563.** $I = 3,3$ А.
564. $q = 13,2 \cdot 10^3$ Кл. **565.** $U = 30$ В. **566.** $R = 2,5$ Ом. **567.** $R = 1,6$ Ом.
568. $I = 3,0$ А, $R_3 = 3,3$ Ом, $U_1 = 12$ В, $U_2 = 18$ В. **569.** R_2 параллельно R_3 и последовательно к ним R_1 . **570.** $R_0 = R$. **571.** Между контактами длина проволоки $x = 11$ см или $l - x = 89$ см. **572.** $R_2 = 15$ Ом, $R_3 = 10$ Ом или наоборот. **573.** $I_{ad} = 25$ А. **574.** * а) $R_0 = R$; б) $R_0 = 2R$.
575. * а) $R_0 = \frac{2r}{3}$; б) $R_0 = \frac{r}{2}$; в) $R_0 = \frac{4r}{5}$; г) $R_0 = \frac{7r}{15}$. **576.** $R_0 = \frac{3R}{2}$.
577. $R_0 = R$.

28. Закон Джоуля — Ленца

- 578.** б. **579.** в. **580.** г. **581.** $q = 455$ Кл. **582.** $I = 3,7$ А. **583.** $Q = 6,0 \cdot 10^5$ Дж.
584. $Q = 302$ кДж. **585.** $l = 3,5$ м. **586.** $P_{\max} = 4,8$ Вт. **587.** K_1, K_2, K_3 и K_4 ; K_1, K_4 и K_5 . **588.** K_2 и K_4 . **589.** $P_{\max} = 180$ Вт. **590.** $P_{\min} = 30$ Вт.
591. $Q = 1,4$ кДж. **592.** K_1 и K_2 ; $P = 2,9$ кВт. **593.** K_3 ; $P = 0,48$ кВт.
594. $l = 2,0 \cdot 10^2$ м. **595.** $P_2 = 2,5$ Вт. **596.** $m = 1,7$ кг. **597.** $m = 0,64$ кг.
598. $t = 6,6$ мин. **599.** На R_3 . **600.** $P = 360$ Вт. **601.** $n = 3,4$. **602.** $P = 10$ Вт.
603. $R = 807$ Ом, $I = 0,273$ А. **604.** $\Delta P = 142$ Вт. **605.** K_1, K_2, K_3 ; $I = 36$ А; $U_1 = U_2 = U_3 = 120$ В; $P = 4,3$ кВт. **606.** $Q_2 = 17$ кДж, $Q_3 = 10$ кДж.
607. $Q = 6,00$ кДж. **608.** $P_1 = 900$ кВт. **609.** $d_{\min} = 5,6$ мм. **610.** Не будет.

611. $\frac{\Delta m}{\Delta \tau} = 1,1 \cdot 10^2 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$. 612. $\tau = 6,4$ мин. 613. $S = 0,50$ см². 614. Увеличивается в 1,25 раза. 615. $t = 38$ °С. 616. $\Delta t = 10$ °С. 617. $l = \frac{Q\pi d^2}{4\rho I^2 \tau}$.
618. $P = 1,9$ кВт. 619. $\tau = 0,98$ ч. 620. $P = 1,2$ кВт. 621. $l = 54$ км.
622. $\tau_1 = 7$ ч 50 мин. 623. $\frac{\Delta P}{\Delta l} = 3,0 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$. 624. а) $\tau = 36$ мин; б) $\tau = 8,0$ мин.
625. $\eta = 29,5$ %. 626. $P = 1,3$ кВт. 627. $m = 33,3$ т. 628. $P_2 = 122$ Вт.
629. $\eta = \frac{(mg \sin \alpha + F_c)v}{IU} \cdot 100$ %. 630. * $P = 1,2$ кВт.

29. Источник тока. Электродвижущая сила (ЭДС) источника тока. Закон Ома для полной электрической цепи

631. а. 632. в. 633. б. 634. б. 635. $I = 0,39$ А. 636. $\mathcal{E} = 11$ В.
637. $r = 0,067$ Ом. 638. $U = 7,6$ В. 639. $\mathcal{E} = 22$ В. 640. $\mathcal{E} = 53$ В;
- $r = 2,6$ Ом. 641. В $\frac{k+1}{k}$ раз. 642. $R = 8,0$ Ом, $r = 2,0$ Ом. 643. $R = 1,5$ Ом.
644. $\mathcal{E} = U_1 U_2 \frac{k-1}{kU_1 - U_2}$. 645. $I_{\text{кз}} = \frac{I_1 U_2 + I_2 U_1}{U_1 - U_2} = 50$ А. 646. $r = 0,050$ Ом.
647. Увеличатся в $p = 1 + \frac{(k-1)n}{n-k} = 2\frac{2}{3}$ раза. 648. $R = 2,2$ кОм,
- $U_r = 5,0$ В. 649. $\varepsilon = 6,0 \cdot 10^{-2}$ %. 650. а) $R_{\text{д}} = 19$ кОм; б) $R_{\text{д}} = 29$ кОм;
- в) $R_{\text{д}} = 39$ кОм. 651. $\mathcal{E} = \frac{U_1 U_2}{2U_1 - U_2} = 20$ В, $r = R \frac{U_2 - U_1}{2U_1 - U_2} = 2,0$ Ом.
652. $R_2 = 21$ Ом. 653. $I = 2,5$ мА, $U = 4,2$ В. 654. $I_0 = 1,26$ А.
655. $r_0 = 2,0$ кОм. 656. $C = 47$ мкФ. 657. $R = 1,00$ Ом. 658. $q = 0,11$ мкКл.
659. * $N_1 = 40$. 660. * $U_i = 0,85$ В. 661. $R_1 = 1,0$ Ом, $R_2 = 1,5$ Ом.
662. * $N = 50$; последовательно.

30. Мощность электрического тока. Коэффициент полезного действия (КПД) источника электрического тока

663. г. 664. в. 665. $\eta = 83$ %. 666. $\mathcal{E} = 1,6$ В. 667. $P = 0,21$ кВт.
668. $Q = 102$ Дж. 669. $R_0 = 0,20$ Ом. 670. * $\mathcal{E} = 10$ В. 671. $n = 1,003$, $\eta_1 = 1,056\eta$. 672. $\Delta \varphi = 10$ В. 673. * $k = 2,4$. 674. $r = 7,7$ Ом. 675. * $R = 1,0$ Ом;
- $W = 2,6 \cdot 10^5$ Дж; $Q = 11$ кДж. 676. $\mathcal{E} = \sqrt{P} (\sqrt{R_1} + \sqrt{R_2})$.
677. * $\frac{\Delta m}{\Delta t} = 0,32 \frac{\text{г}}{\text{с}}$. 678. $Q_2 = 1,1$ мДж.

31. Электрический ток в различных средах

679. б. 680. а. 681. б. 682. б. 683. в. 684. * $\Delta R = 7,3$ Ом. 685. * $t = 2,3 \cdot 10^3$ °С.

686. * $t_2 = 43$ °С. 687. * $t = 2,5 \cdot 10^3$ °С. 688. * $E = 1,8 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$.

689. * $\alpha_{\text{послед}} = \frac{R_{01}\alpha_1 + R_{02}\alpha_2}{R_{01} + R_{02}}$; $\alpha_{\text{паралл}} = \frac{R_{01}\alpha_2 + R_{02}\alpha_1}{R_{01} + R_{02}}$. 690. * $t = 1,9 \cdot 10^3$ °С.

691. * $t_{\text{max}} = t_0 + \frac{R_0 I^2}{k - I^2 R_0 \alpha}$ при $k > I^2 R_0 \alpha$; $t_{\text{max}} \rightarrow \infty$ при $k < I^2 R_0 \alpha$. 692. б.

693. в. 694. $I = 1,6$ А. 695. * $n = \frac{1}{2}$. 696. * $K_2 = 2,0 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кГ}}{\text{Кл}}$. 697. * $\tau = 98$ мин.

698. * $R = 0,21$ Ом. 699. * $\tau = 6,0 \cdot 10^3$ с. 700. * $m = 0,24$ кг. 701. * $U = 11$ В.

702. $W = 4,2$ кВт·ч. 703. $\Delta l = 0,71$ А. 704. $\tau = 1,5 \cdot 10^2$ ч, $W = 1,1 \cdot 10^{11}$ Дж.

705. $\tau = 1,15 \cdot 10^4$ с. 706. $\tau = 1,13 \cdot 10^5$ с. 707. $S = 5,0$ дм². 708. $m = 4,2$ мг.

709. $d = 9,8$ мкм. 710. $d = 5,0$ мкм. 711. $t = 22$ °С. 712. * $V = \frac{1}{p} \frac{KI\tau}{M} RT$.

713. * $q = 3,6 \cdot 10^9$ Кл. 714. * $I = 4,1$ кА. 715. * $\tau = 2,8$ ч. 716. * $I = 6,4$ А.

717. * $I = 0,50$ А, $d = 1,6$ мкм. 718. * $m = 0,23$ г. 719. * $P = 0,12$ кВт.

720. * $m = 2,47$ г. 721. * $T = 3,5 \cdot 10^2$ °С. 722. Из-за увеличения

концентрации свободных носителей. 723. Нет, так как олово

четырёхвалентно. 724. Подвижность электронов больше подвижности дырок.

725. а) n -типа; б) p -типа. 726. Электронным, так как

валентность примеси больше, чем валентность германия.

727. * $\alpha = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$. 728. * $\Delta l = 15$ А. 729. * $P_0 = 1,3$ кВт.

730. * $t = 1,2 \cdot 10^2$ °С. 731. * $\frac{R}{R_0} = 16$. 732. * $\alpha = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$.

Магнитное поле. Электромагнитная индукция

32. Сила Ампера (закон Ампера)

733. г. 734. г. 735. г. 736. $F = 4,0$ Н. 737. $B = 0,20$ Тл. 738. $F = 2,0$ Н.

739. $l = 0,46$ м. 740. $a = 8,0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. 741. $I = 23$ А. 742. $B = 39$ мТл.

743. $I = 1,3$ А. 744. $U = 24$ В. 745. $A = 15$ мДж. 746. $A = 0,30$ мДж.

747. $|\Delta F_{\text{н}}| = 5,0$ мН. 748. $I = 17$ А. 749. $I_2 = 70$ А. 750. $I = 93$ А.

751. $d = 2,1$ м. 752. $F_{\text{н}} = 50$ мН. 753. $N = 5,6 \cdot 10^{25}$. 754. $B = 0,52$ Тл.

755.* $I = 0,62$ А. 756.* $\alpha_0 = 39^\circ$, $\alpha_{\max} = 78^\circ$. 757. $B_1 = 11$ Тл; $B_2 = 0,36$ Тл.
 758.* $B = 0,19$ мТл.

33. Принцип суперпозиции магнитных полей

759. б. 760. а) $B = 1,7 \cdot 10^{-5}$ Тл; б) $B = 10$ мкТл. 761. $\vec{B} = \vec{0}$.
 762. Не существует; $F^* = 0,13$ мН. 763. а) $B = 31$ мкТл; б) $B = 6,3$ мкТл.
 764. $B = 7,4$ мкТл; $B_1 = 55$ мкТл. 765.* $B = 0$. 766.* $B = 0,80$ мкТл.

34. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле

767. б. 768. в. 769. б. 770. в. 771. $F = 8 \cdot 10^{-8}$ Н. 772. $B = 0,29$ мТл.

773. $v = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{М}}{\text{с}}$. 774. $q = 1,3 \cdot 10^{-7}$ Кл. 775. $B = 3,6$ Тл. 776. Под

углом $\alpha = 24^\circ$ к вектору \vec{B} . 777. $v = 1,6 \frac{\text{КМ}}{\text{с}}$. 778. $R = 1,0$ мм.

779. $\frac{R_1}{R_2} = \frac{q_2}{q_1} = \frac{1}{2}$. 780. Для электрона $R_e = \frac{m_e v}{eB}$; для протона $R_p = \frac{m_p v}{eB}$;

для нейтрона $R_n \rightarrow \infty$. 781. $E = 1,3 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}$. 782. $\frac{q}{m} = 5,6 \cdot 10^4 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$.

783. $v = 1,8 \cdot 10^6 \frac{\text{М}}{\text{с}}$; $R = 4,3$ мм. 784. $B = 0,19$ мТл. 785. $T = \frac{2\pi}{B} \cdot \frac{m}{q}$.

786. $B = 0,46$ Тл. 787. $R = \frac{4}{3} R_0$. 788.* $v = 1,0 \cdot 10^6 \frac{\text{М}}{\text{с}}$. 789. $F_{\max} = 6,7 \cdot 10^{-11}$ Н

при $\vec{v} \perp \vec{B}$; $F_{\min} = 0$ при $\vec{v} \parallel \vec{B}$. 790. $B = 0,14$ Тл. 791. $d = 20$ см.

792. $W_2 = 0,80$ МэВ. 793. $F = 5,9 \cdot 10^{-16}$ Н; перпендикулярно проводу.

794. а) и б) — частица вернется обратно; в) частица пройдет через область магнитного поля. 795. $\frac{q}{m} = 8,9 \cdot 10^7 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$. 796.* $l = \frac{\pi}{qB} \sqrt{8mW}$.

797.* $\frac{q}{m} = \frac{2U}{B^2 R^2}$. 798.* $p = 3,0 \cdot 10^{-23} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$. 799.* $l = 0,54$ м.

800.* $l = 0,88$ м. 801.* $v = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{q^2 B^2 l^2 + 4m^2 gl} + qBl}{2m} \right)^2 + 4gl}$.

802. 3,3 мм. 803. $\frac{q}{m} = 6,75 \cdot 10^{12} \frac{\text{КЛ}}{\text{КГ}}$. 804. $B_{\min} = 2,5 \cdot 10^{-4}$ Тл. 805. $B =$

$= 2,0$ мТл. 806. $a = 2,5 \cdot 10^{14} \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$. 807.* $y_n = \frac{2\pi^2 m E n^2}{qB^2}$; $\text{tg } \alpha = \frac{v_0 B}{2\pi E n}$.

$$808.* P = \frac{F(F - \mu mg)}{\mu qB} \text{ при } F > \mu mg; P = 0 \text{ при } F < \mu mg.$$

$$809.* v = \frac{mg}{qB\mu} (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \text{ при } \mu < \operatorname{tg} \alpha; v = 0 \text{ при } \mu > \operatorname{tg} \alpha.$$

35. Электромагнитная индукция

$$810. \text{ г. } 811. \text{ б. } 812. \text{ б. } 813. L = 4 \text{ Гн. } 814. \mathcal{E} = 1,5 \text{ В. } 815. \Phi = 4,0 \text{ мВб.}$$

$$816. N = 250. 817. \langle \mathcal{E} \rangle = 13 \text{ мВ. } 818. B = 11 \text{ мТл. } 819. \frac{\Delta B}{\Delta t} = 25 \frac{\text{Тл}}{\text{с}}.$$

$$820. \text{ В любой момент времени } \mathcal{E} = 60 \text{ мВ. } 821. \mathcal{E}_0 = 0,26 \text{ В; } \mathcal{E} = 0,17 \text{ В.}$$

$$822. q = 1,8 \text{ Кл. } 823. B = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ Тл. } 824. q = 0,25 \text{ мКл.}$$

$$825. U = k\pi(R^2 + r^2) \text{ в случае восьмерки без перекручивания;} \\ U = k\pi(R^2 - r^2) \text{ в случае восьмерки с перекручиванием.}$$

$$826. \langle \mathcal{E} \rangle \approx 3,9 \text{ В; } q = 0,15 \text{ Кл. } 827. q = 10 \text{ пКл. } 828. S_2 = 0,055 \text{ м}^2.$$

$$829.* P = \frac{\pi k^2 R^3}{2\rho} S. 830.* F_{\text{н}} = 18 \text{ мН. } 831.* B(t) = \alpha t \left(1 + \frac{r^2}{r_0^2} \right) + \text{const.}$$

$$832.* q = \frac{Ba^2}{R} \frac{4 - \pi}{\pi}.$$

36. Движение проводника в магнитном поле

$$833. \mathcal{E} = 5,25 \text{ В. } 834. \mathcal{E} = 0. 835. \langle \mathcal{E} \rangle = 0,12 \text{ В. } 836. \varphi_1 - \varphi_2 = 4,0 \text{ мВ.}$$

$$837. \mathcal{E} = 56 \text{ мВ; } I = 1,9 \text{ мА. } 838. U = 0,42 \text{ В; } U_{\text{max}} = 0,45 \text{ В.}$$

$$839. Q = 15 \text{ мкДж. } 840. a = 16 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}. 841. \langle \mathcal{E} \rangle = 0,63 \text{ мВ. } 842. \Delta t = 0,63 \text{ с.}$$

$$843. R = 31 \text{ Ом. } 844. v = 3,8 \frac{\text{М}}{\text{с}}; \text{ ток силой } I = 4,9 \text{ А будет проходить}$$

по перемычке справа налево. 845. $\mu = 0,061$.

$$846. v = U \sqrt{\frac{C}{m + CB^2 l^2}} = 0,16 \frac{\text{М}}{\text{с}}; U_1 = U \sqrt{\frac{CB^2 l^2}{m + CB^2 l^2}} = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ В.}$$

$$847. \text{ Перемещать влево со скоростью, модуль которой } v = 10 \frac{\text{М}}{\text{с}}.$$

$$848. F = 12 \text{ мН. } 849. \text{ а) } v = \frac{U_0}{Bl}; \text{ б) } v(t) = \frac{IBl}{m} t. 850. v = 4,0 \cdot 10^4 \frac{\text{М}}{\text{с}}.$$

$$851. I = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ А. } 852.* Q = \frac{B^2 l^2 v(t) \operatorname{tg} \alpha}{2\rho}. 853. \mathcal{E} = \frac{\omega B l^2}{2}.$$

854. Проводник будет двигаться с установившейся скоростью, модуль которой $v = \frac{mgR}{B^2 l^2}$. 855. $\mathcal{E} = \frac{\omega BR^2}{2}$. 856. $U = \frac{\omega Bl^2}{6} = 0,15 \text{ В}$.

857. $q = \frac{\pi n Br^2}{R}$, $Q = \frac{\pi n \omega B^2 r^2}{2R}$. 858. $h = 24 \text{ см}$. 859. $F = 0,10 \text{ Н}$.

860. $v = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 861.* $q = \frac{BS}{R}$; прошедший заряд не зависит от

скорости поворота. 862. $\omega = \frac{q}{2m} B(t)$. 863.* $U_{AB} = \frac{\omega Bl^2 \sin^2 \alpha}{2}$.

864. Уменьшилось в $k = 2$ раза. 865.* $v = \frac{mgR}{k^2 a^4}$.

37. Явление самоиндукции. Индуктивность

866. г. 867. а. 868. $\mathcal{E} = 4,0 \text{ В}$. 869. $\Delta t = 17 \text{ мс}$. 870. $L = 0,30 \text{ Гн}$.

871. $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 10 \frac{\text{А}}{\text{с}}$. 872. $I = 1,3 \text{ А}$. 873. $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 2,0 \frac{\text{А}}{\text{с}}$. 874. $\langle \mathcal{E} \rangle = 7,5 \text{ В}$.

875. $\Delta t = 50 \text{ с}$. 876. $\Delta t = \frac{2\mu_0 N^2 SI_0}{l\epsilon}$. 877. $I(t) = \left(\frac{t^2}{2} + \frac{5}{2}t \right) (\text{А})$.

38. Энергия магнитного поля

878. в. 879. б. 880. $W = 4,8 \text{ Дж}$. 881. $I = 1,0 \text{ А}$. 882. $W_2 = 31 \text{ Дж}$.

883. $I = 0,80 \text{ А}$. 884. $W = 0,23 \text{ Дж}$. 885. $\langle \mathcal{E} \rangle = 24 \text{ В}$. 886. $\mathcal{E} = 0,20 \text{ кВ}$.

887.* $I(t) = \mathcal{E} \frac{t}{L}$; $A = \frac{\Delta t^2}{2L} \mathcal{E}^2$; в энергию магнитного поля катушки.

Колебания и волны

Механические колебания и волны

39. Гармонические колебания

888. в. 889. а. 890. $T = 0,40 \text{ с}$. 891. $\nu = 3,0 \text{ Гц}$. 892. $T = 5,9 \text{ мс}$.

893. $n = 1,2 \cdot 10^3$. 894. а) $T = 0,4 \text{ с}$, $\nu = 2,5 \text{ Гц}$, $A = 0,02 \text{ м}$;

б) $x = 0,02 \cos(5\pi t)$ (м); в) $x_1 = -0,02 \text{ м}$. 895. а) $T = 1,6 \text{ с}$, $\omega = 1,25\pi \frac{\text{рад}}{\text{с}}$,

$A = 0,4 \text{ м}$; б) $x = 0,4 \cos(1,25\pi t)$ (м); в) $x_1 = 0,4 \text{ м}$. 896. $T = 17 \text{ мс}$;

$\nu = 60 \text{ Гц}$; $\omega = 3,8 \cdot 10^2 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. 897. $\Delta t_1 = 13 \text{ мс}$.

898. $x(t) = 0,04 \sin\left(10\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$ (м). **899.** $A = 0,40$ м; $v = 0,50$ Гц;

$\omega = 3,1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, $\varphi_0 = 0$. **900.** $\Delta t = 29$ мс. **901.** $x = -0,14$ см. **902.** $T = 8,0$ с.

903. $x = 0,11$ м. **904.** $v = 7,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **905.** $x(t) = 5,0 \sin(3\pi t + 0,41)$ (см).

906. $x(t) = 1,8 \cos(\pi t + 1,2)$ (см); $A_1 = A_2 = 1,0$ см; $T_1 = T_2 = 2,0$ с;

$\varphi_1 = \frac{\pi}{4}$, $\varphi_2 = \frac{\pi}{2}$. **907.** $W = 2m\pi^2 v^2 A^2$. **908.** а) $\langle v \rangle = 8,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\langle v \rangle = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

$\langle v \rangle = 6,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **909.** $x = \frac{v_{\text{max}}^2}{a_{\text{max}}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{v_{\text{max}}^2}}\right)$. **910.** а) $\Delta t_1 = 19$ мс, $\Delta t_2 = 9,3$ мс;

б) $\langle v_1 \rangle = 22 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $\langle v_2 \rangle = 43 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; в) $\langle a_1 \rangle = 2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $\langle a_2 \rangle = 0,65 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

911. $F_{\text{д max}} = 10$ кН. **912.** $\varphi = 78^\circ$; $W_{\text{к}} = 2,4$ мДж. **913.** а) $F_{\text{max}} = 6,3$ Н;

б) $W = 63$ мДж; в) $F_1 = 3,2$ Н; г) $W_{\text{к}} = 47$ мДж.

40. Математический маятник

914. г. **915.** б. **916.** г. **917.** б. **918.** $v = 0,50$ Гц; $\omega = 3,1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. **919.** Увели-

чится в 2 раза. **920.** Увеличится в 3 раза. **921.** Уменьшить в 9 раз.

922. $\frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{3}$. **923.** $T = 1,3$ с; $v = 0,80$ Гц. **924.** $l = 2,5$ м. **925.** $T = 6,3$ с;

$v = 0,16$ Гц. **926.** $g = 4,9 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **927.** $l = 4,0$ м. **928.** $T = 10$ с. **929.** $\omega = 1,2 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

930. $l_2 = 28$ см. **931.** а) уменьшится в $\sqrt{1 + \frac{a}{g}}$ раз; б) увеличится

в $\sqrt{\frac{g}{g-a}}$ раз. **932.** $T = 0,73$ с. **933.** $a = 3,0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, направлено вниз.

934. $T = 3,2$ с. **935.** $\Delta t = 2$ мин 30 с. **936.** $T_1 = 3,99$ с. **937.** $\Delta t = 68$ с.

938. На 0,3 %. **939.** $h = 1,8$ км. **940.** $t = \frac{T}{3}$. **941.** $k = 0,25$ для потенци-

альной энергии; $k = 0,75$ для кинетической энергии. **942.** $\frac{M_1}{M_2} = 16$.

943.* а) уменьшится; б) увеличится; в) уменьшится.

41. Пружинный маятник

944. $k = 1,6 \cdot 10^2 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. 945. $T = 0,20 \text{ с}$. 946. $k = 6,3 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$; $\nu_1 = 40 \text{ Гц}$.

947. Уменьшится в 3 раза. 948. Уменьшится в 2 раза.

949. $k = 6,3 \cdot 10^2 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. 950. $T = \sqrt{T_1^2 + T_2^2}$. 951. $T = 2\pi\sqrt{\frac{2m}{k}}$.

952. $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}$. 953. $m = 0,40 \text{ кг}$. 954. $\nu = 1,1 \text{ Гц}$. 955. $x = \frac{A}{\sqrt{2}}$.

956. $\frac{A_1}{A_2} = 1,6$. 957. $k = 8,0 \cdot 10^2 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. 958. $T = 0,40 \text{ с}$, $\nu_{\max} = 0,63 \frac{\text{М}}{\text{с}}$.

959. $n = \frac{1}{8}$. 960. Указание: воспользуйтесь условием равновесия

и законом Гука. 961. $\Delta l_1 = 1,3 \text{ м}$, $\Delta l_2 = 3,0 \text{ см}$. 962. $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_1 + k_2}}$,

$A = \sqrt{\frac{k_1 \Delta x_1^2 + k_2 \Delta x_2^2}{k_1 + k_2}}$. 963. $A = \frac{2mg}{k}$. 964. $A = 0$. 965. * а) $\nu = 6,0 \frac{\text{М}}{\text{с}}$;

б) $\nu_1 = 3,3 \frac{\text{М}}{\text{с}}$; в) $W = 4,4 \text{ Дж}$; г) $x(t) = 0,24 \cos(25t) \text{ (м)}$.

966. * а) $T = 0,79 \text{ с}$; $\nu = 1,3 \text{ Гц}$; б) $A = 0,16 \text{ м}$; в) $a_{\max} = 9,9 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$;

г) $x(t) = 0,16 \sin(8t) \text{ (м)}$; д) $W = 0,58 \text{ Дж}$; е) $W_{\kappa} = 0,52 \text{ Дж}$.

42. Колебательные системы

967. $F = mg\left(\frac{T_0^2 - T^2}{T^2}\right)$. 968. $T = \frac{\pi}{\sqrt{g}}(\sqrt{L} + \sqrt{L-l})$. 969. $n = \frac{2}{3} \frac{\Delta t}{\pi} \sqrt{\frac{2g}{l}}$.

970. $T = 2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$; $k = 2\rho gS$. 971. $T = 2\sqrt{\frac{2h_0}{g}}\left(\frac{1}{\sin\alpha} + \frac{1}{\sin\beta}\right)$.

972. $T = 2\pi\sqrt{\frac{a}{g} \cdot \frac{\rho_c}{\rho_b}} = 0,26 \text{ с}$. 973. $T = 2\pi\sqrt{\frac{2m}{3\rho gS}}$. 974. $T_{\min} = 1,1 \text{ с}$.

975. $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\rho gS}} = 0,45 \text{ с}$. 976. $\nu = 0,91 \text{ Гц}$; $W = 24 \text{ Дж}$.

$$977.* T = 2\pi \sqrt{\frac{(\rho_1 + \rho_2)l}{2g(\rho_1 - \rho_2)}}. \quad 978.* \text{ а) } T = 2\pi \sqrt{m \frac{k_1 + k_2}{k_1 k_2}},$$

$$\text{б) и в) } T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_1 + k_2}}. \quad 979.* T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{2\mu g}}. \quad 980.* T = 2\pi \sqrt{\frac{m_1 l_1^2 + m_2 l_2^2}{m_1 l_1 + m_2 l_2} \frac{1}{g}}.$$

$$981.* \omega = \sqrt{\frac{gm}{R(M+m)}}. \quad 982.* T = 2\pi \sqrt{\frac{m+M}{k}}. \quad 983.* \tau = 42 \text{ мин.}$$

$$984.* T = 2\pi \sqrt{\frac{m_1 m_2}{k(m_1 + m_2)}}.$$

43. Механические волны

$$985. \text{ в. } 986. \text{ а. } 987. \text{ б. } 988. \text{ в. } 989. v = 1,4 \frac{\text{км}}{\text{с}}. \quad 990. v = 3,3 \cdot 10^2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$991. l = 255. \quad 992. H = 0,45 \text{ км. } 993. \text{ В } 4 \text{ раза. } 994. \lambda = 1,13 \text{ м.}$$

$$995. \lambda = 0,786 \text{ м. } 996. h = 108 \text{ м. } 997. \Delta t = 3,4 \text{ с; сигнал в воде.}$$

998. Эффекты обусловлены звуковыми волнами, распространяю-

$$\text{щимися по телу человека. } 999. v_0 = 353 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad 1000. N = 101.$$

$$1001. L = 45 \text{ м. } 1002. h = 0,78 \text{ м, } d = 1,3 \text{ м.}$$

Электромагнитные колебания и волны

44. Свободные электромагнитные колебания в контуре

1003. г. 1004. в. 1005. Увеличится в 2 раза. 1006. Уменьшится

в 3 раза. 1007. Уменьшится в 4 раза. 1008. Не изменится.

$$1009. T = 6,3 \cdot 10^{-6} \text{ с, } \nu = 1,6 \cdot 10^5 \text{ Гц. } 1010. N = 5,7 \cdot 10^4.$$

$$1011. \omega = 3,2 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad 1012. L = 0,51 \text{ мГн. } 1013. \text{ Частота } \nu \text{ умень-$$

шится в 2 раза, период T увеличится в 2 раза.

$$1014. 1,0 \cdot 10^{-11} \text{ с} \leq T \leq 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ с. } 1015. 1,0 \text{ мГн} \leq L \leq 6,3 \text{ мГн.}$$

$$1016. 0,10 \text{ МГц} \leq \nu \leq 0,29 \text{ МГц. } 1017. 0,16 \text{ МГц} \leq \Delta \nu \leq 5,0 \text{ МГц.}$$

1018. Уменьшить C_1 или увеличить L_2 в $5 \cdot 10^4$ раз. 1019. $T = 1,8$ мкс;

увеличится в $\sqrt{\epsilon}$ раз. 1020. $\epsilon = 1,0006$. 1021. $\nu = 3,8$ МГц.

$$1022. C_2 = 1,6 \text{ мФ. } 1023. \nu_3 = 48 \text{ кГц; } \nu_4 = 100 \text{ кГц.}$$

$$1024. C_2 = 30 \text{ мкФ. } 1025. \nu_0 = 400 \text{ Гц. } 1026. \text{ В } n = 1,7 \text{ раза.}$$

1027. $T_1 = 0,99$ мс; $T_2 = 0,50$ мс. 1028. $\nu_3 = 72$ кГц; $\nu_4 = 33$ кГц.

1029. $I_{\max} = 25$ А. 1030. $I_{\max} = 20$ А.

45. Переменный электрический ток

1031. г. 1032. а. 1033. в. 1034.* г. 1035. $U_0 = 3,1 \cdot 10^2$ В, $I_0 = 14$ А.

1036. $1,5 \cdot 10^5$ Гц $\leq \Delta\nu \leq 3,0 \cdot 10^7$ Гц. 1037. $C = 0,10$ мФ.

1038. $Q = \frac{CU^2 - LI_{\max}^2}{2}$. 1039. $I_d = 0,29$ А. 1040. $\nu = 50$ Гц, $U_0 = 220$ В,

$U_d = 156$ В. 1041. $I_0 = 80$ мА. 1042. Потому что при такой частоте глаз человека видит мерцание лампы. 1043. $Q = 24$ кДж.

1044. $k_1 = 1, k_2 = \infty$. 1045. $W_C = \frac{CU_0^2}{2} \cos^2\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$; $W_1 = \frac{CU_0^2}{4}$.

1046. $W_{\text{э max}} = W_{\text{м max}} = 50$ нДж. 1047. $T = \frac{2\pi}{I_0} q_0$. 1048. $q = 3,0$ мКл.

46. Трансформаторы

1049.* $U_1 = 20$ В. 1050.* $I_2 = 17$ А. 1051.* Трансформатор понижающий; $n = 2,2$. 1052.* $\eta = 95\%$. 1053.* $\eta = 91\%$. 1054.* $N_1 = 250$,
 $N_2 = 1,4 \cdot 10^4$. 1055.* $k = 5,2, \eta = 98\%$. 1056.* $N_2 = 126$. 1057.* $I_2 = 0,83$ А.

1058.* $\frac{N_1}{N_2} = 2,7$.

47. Электромагнитные волны

1059. $\nu = 9,4$ ГГц. 1060. $\nu = 0,5$ МГц. 1061. $\lambda = 1,8 \cdot 10^5$ м. 1062. Увеличить емкость в 7,1 раза. 1063. Увеличить емкость в 1,5 раза.

1064. $d = 0,79$ мм. 1065. $l = 2,1$ км. 1066.* $N = 1200$. 1067. $\nu = 1,50$ кГц.

1068.* $N = 3750$. 1069. $\lambda = 90$ км. 1070. $l = 70$ км. 1071.* $d = 10$ см.

Оптика

Волновая оптика

48. Свет. Показатель преломления. Интерференция света

1072. в. 1073. а. 1074. в. 1075. $N = 4,29 \cdot 10^{14}$. 1076. $\nu = 5,00 \cdot 10^{14}$ Гц.

1077. $1,33 \cdot 10^{-15}$ с $\leq T \leq 2,67 \cdot 10^{-15}$ с. 1078. $n = 1,33$. 1079. $\lambda = 526$ нм.

1080. $\Delta = 3,6$ см. 1081. $\Delta\lambda = 137$ нм. 1082. $\frac{d_1}{d_2} = 0,661$. 1083. $\lambda_1 = 410$ нм.

1084. $h = 3,0$ см. **1085.** $\lambda = 750$ нм. **1086.** $\lambda = 429$ нм; $\lambda = 600$ нм.

1087. На экране образуются эквидистантные интерференционные полосы на расстоянии $a = 30$ см. **1088.** $d = 0,20$ мм. **1089.** $l = 2,0$ см.

1090. $\lambda = 500$ нм. **1091.** $d = 356$ нм. **1092.** $a = 0,75$ мм.

1093.* $l = \frac{(D+h)Fd}{D(d-F)-hF} = 98$ см.

49. Дифракция света

1094. а. **1095.** г. **1096.** $\lambda = 25$ мкм. **1097.** $\lambda = 4,0 \cdot 10^2$ нм. **1098.** $k = 34$.

1099. $k = 14$. **1100.** $\theta = 1,6^\circ$. **1101.** $\lambda = 12,5$ мкм. **1102.** $N = 7$; $\theta_{\max} = 64^\circ$.

1103. Дифракционные максимумы приблизятся к центральному;

например, для первого $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_1^0} = \frac{d_2}{d_1} = 2$. **1104.** $\lambda = 6,0 \cdot 10^{-7}$ м.

1105. $h = l \frac{\sin \theta_k - \sin \theta_\phi}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta_k}} = 7,4$ см. **1106.** $\lambda = 544$ нм. **1107.** $\lambda = 687$ нм.

1108. $k_1 = 2, k_2 = 3$. **1109.** $h = 11$ см. **1110.** $\lambda = 580$ нм. **1111.** $\lambda = 5,2 \cdot 10^{-7}$ м.

1112. $\lambda_2 = 424$ нм; $N = 833$. **1113.** $h = 23$ см. **1114.** $d = 16$ мкм.

1115. $N = 3$. **1116.** $d = 16$ мкм. **1117.** $N = 4$; линии $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ первого порядка и линия нулевого порядка; $h = 40$ см. **1118.** $\lambda_1 = 348$ нм, $N = 17$. **1119.*** $\Delta \lambda = 52$ нм.

Геометрическая оптика

50. Прямолинейное распространение и отражение света

1120. г. **1121.** в. **1122.** б. **1123.** б. **1124.** а. **1125.** б. **1126.** $\beta = 40^\circ$.

1127. $\alpha = 25^\circ$. **1128.** $\varphi = 60^\circ$. **1129.** б. **1130.** Увеличится на 3,0 м.

1131. $v = 3,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **1132.** $H = 5,2$ м. **1133.** $\alpha = 63^\circ$. **1134.** $H = 8,0$ м.

1135. Увеличится в 2 раза. **1136.** $\Delta \varphi = 20^\circ$. **1138.** $\beta = 63^\circ$.

1139. а) $v = 120 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$; б) $v = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **1140.** $v = 7,7 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **1141.** $\varphi = 22,5^\circ$.

1142. $\varphi = 37^\circ$. **1143.** Под углом 120° . **1144.** $l = 0,5$ м. **1145.** $h = H \frac{l}{l+L}$.

1146. $\varphi = 90^\circ$. **1147.** Правильный треугольник площадью

$S = 1,7 \cdot 10^2 \text{ см}^2$. **1148.** $l = 3,4$ м. **1149.** а) $r = R$; б) $r = R(\cos \varphi + \text{tg} \varphi(1 + \sin \varphi)) = 1,7R$.

51. Сферические зеркала

- 1151.** в. **1152.** г. **1153.** $F = 16$ см. **1154.** Вогнутое: $f = \infty$; выпуклое: $f = 10$ см (мнимое). **1155.** $d = 80$ см. **1156.** $D = 7,5$ дптр. **1157.** Вогнутое: $R = 48$ см; выпуклое: $R = 2,4$ м (мнимое). **1158.** $f = 25$ см. **1159.** $d = f = R = 40$ см. **1160.** $D = 20$ дптр. **1161.** $H = 74$ мм. **1162.** $D = 13$ дптр. **1163.** $\Gamma = 1,5$. **1164.** $f = -2F$, мнимое, увеличенное. **1165.** $f_1 = 8,6$ см; $f_2 = 8,8$ см; $\Gamma_1 = 0,86$; $\Gamma_2 = 0,88$. **1166.** $F = -2,7$ см. **1167.** $R = 90$ см. **1168.** $d = -16$ см; предмет мнимый. **1169.** $R = 3,3$ м. **1170.** Вогнутое; $f = -50$ см; $F = 50$ см. **1171.** $R = 57$ см. **1172.** $R = 10$ м. **1173.*** $F = 56$ см. **1174.*** $d_1 = 1,6$ м. **1175.*** $d_1 = 2,7$ м; $d_2 = 0,47$ м. **1176.*** $d = 1,2$ м; $\Gamma = 0,50$. **1177.*** $F = 40$ см. **1178.*** $f_1 = 2,0$ м (действительное); $f_2 = -3,0$ м (мнимое). **1179.*** $F = 10$ см. **1180.*** $d_1 = 50$ см (действительное); $d_2 = 30$ см (мнимое). **1181.*** $R = 48$ см; $\Gamma = 6,0$. **1182.*** $R = 2\sqrt{l(L-l)}$. **1183.*** $f = 60$ см. **1184.*** $a = 3,41F$. **1185.*** $D = -6,0$ дптр. **1186.*** $f = -48$ см (мнимое). **1187.*** $f_1 = -90$ см; $f_2 = -180$ см; $f_3 = -\infty$; $f_4 = 90$ см. **1188.*** $R_1 = \infty$; $R_2 = 6,0$ м; $R_3 = 2,4$ м; $R_4 = 3,6$ м. **1189.*** $f_1 = 27$ см; $f_2 = 30$ см; $f_3 = 24$ см. **1190.*** $R = 2,4$ м. **1191.** $R = 21$ см. **1192.** $F = 75$ см; $R = 1,5$ м. **1193.** а) $f = 36$ см; б) $f = -26$ см (мнимое). **1194.** $R = 30$ см. **1195.** $F = -38,5$ см; $l = 2,5$ см, $\Gamma = 0,5$. **1196.** $R = 10$ м. **1197.** $R = 40$ м. **1198.** $R = 27$ см. **1199.** $F = 5,7$ см. **1200.** $D = -6,3$ дптр. **1201.** На расстоянии $3F$ от источника света.

53. Преломление света

- 1217.** б. **1218.** б. **1219.** в. **1220.** е. **1221.** $\alpha = 33^\circ$. **1222.** $\beta = 38^\circ$. **1223.** $\alpha = 60^\circ$. **1224.** $\beta = 26^\circ$. **1225.** $\beta = 17^\circ$. **1226.** $n' = n$. **1227.** $\alpha = 56^\circ$, $\beta = 34^\circ$. **1228.** $l = 9,8$ м. **1229.** $\varphi = 124^\circ$. **1230.** $\alpha = 74^\circ$. **1231.** $\alpha = 67^\circ$. **1232.** $\varphi = 90^\circ$. **1233.** $d_1 = 4,8$ см. **1234.** $\alpha = \arctg n$. **1235.** Не изменится. **1236.*** $d = \frac{2Rn_1}{n - n_1}$.

54. Скорость света в веществе

- 1237.** $h = 3,0$ м. **1238.** $v = 2,1 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **1239.** $\beta = 31^\circ$. **1240.** $\beta = 35^\circ$. **1241.** $v = 2,0 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **1242.** $n_2 = 2,42$. **1243.** $d = 4,0$ м. **1244.** $l = 1,0$ м. **1245.** $l = 63$ см. **1246.** $l = \frac{2R}{n}$.

55. Полное отражение света

1247. а. 1248. $\alpha_0 = 33^\circ$. 1249. $\varphi = 49^\circ$. 1250. $\frac{v}{c} = 34\%$. 1251. $\alpha_3 = 62^\circ$.

1252. $l = 7,0$ м. 1253. $\alpha_2 = 61^\circ$. 1254. $\alpha = 49^\circ$. 1255. $R = \frac{h}{\sqrt{n^2 - 1}}$.

1256. $H = 5,3$ м. 1257. В 1,2 раза. 1258. $r = R \frac{n_2}{n_1}$. 1259. $n \leq 1,41$.

1260. $\alpha_{\max} = 60^\circ$. 1261. $n_{\min} = \sqrt{1 + \sin^2 \alpha}$.

1262. $l = (R - r)\sqrt{n^2 - 1} = 2,6$ см. 1263.* $\varphi = \frac{\arcsin\left(\frac{1}{n}\right) \pm \arcsin\left(\frac{1}{n} \sin \alpha\right)}{2}$.

56. Распространение света через плоскопараллельную пластинку и призму

1264. $h = 1,5$ мм. 1265. $h = 2,2$ мм. 1266. $d = 2,9$ см.

1267. $d = \frac{h}{\sin \alpha} \cdot \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \alpha} = 6,4$ мм.

1268. $n = \frac{\sin \alpha}{d \sin \alpha - h} \sqrt{d^2 + h^2 - 2dn \sin \alpha} = 1,5$. 1269. $d = 1,7$ см.

1270. Радиус увеличится на

$\Delta R = d \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) + h \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n_0^2 - \sin^2 \alpha}} \right)$. 1271.* $\theta = 77^\circ$.

1272.* Угол при вершине $\alpha = 36^\circ$; углы при основании $\beta = 72^\circ$.

1273.* $n = 1,6$. 1274. $\delta = 37^\circ$. 1275.* $\alpha \leq 44^\circ$.

Тонкие линзы

57. Формула тонкой линзы

1276. в. 1277. г. 1278. е. 1279. б. 1280. а. 1281. $f = 17$ см.

1282. $f = 1,5$. 1283. $f = 43$ см. 1284. $f = 7,5$ см. 1285. $f = 17$ см.

1286. $f = 3,3$ см. 1287. $F = -10$ см. 1288. $F = 3,3$ см. 1289. $F = 13$ см.

1290. $F = 12$ см. 1291. $f = \infty$. 1292. $f = 14$ см. 1293. $d = 7,5$ см.

1294. $D = -3$ дптр. 1295. $F = 20$ см, $D = 5$ дптр. 1296. $D = -16$ дптр.

1297. Увеличится на $\Delta f = 54$ см. 1298. $|F| = 16$ см. 1299. $\Delta l = \Delta d \frac{4F}{F - 2\Delta d}$.

58. Увеличение тонкой линзы

- 1300.** б. **1301.** в. **1302.** в. **1303.** б. **1304.** в. **1305.** в. **1306.** $p = k + 1$.
1307. $f = 43$ см; $h = 14$ см. **1308.** $f = 27$ см; $H = 4,5$ см. **1309.** $F = 13$ см.
1310. $F = 12$ см. **1311.** $d = 1$ м. **1312.** $\Gamma = 5$. **1313.** $h = \sqrt{H_1 H_2} = 12$ мм.
1314. $f = \Gamma(\Gamma + 1) = 48$ см. **1315.** $F = -3,8$ см. **1316.** $\varphi_{\max} = 2,9^\circ$.
1317. $f = 4,0$ м. **1318.** $D = 0,2$ дптр. **1319.** $D = -0,1$ дптр.
1320. $D = 7,5$ дптр. **1321.** $D = 18$ дптр. **1322.** $D = -6,3$ дптр.
1323. $D = 10$ дптр. **1324.** $\Gamma_2 = 0,38$. **1325.** $F = 4,8$ см. **1326.** $F = 18$ см.
1327. $F = 36$ см; $\Gamma = 1,5$, увеличенное. **1328.** $r = 3R$.

59. Оптические приборы и системы

1329. $f = 20$ см от второго зеркала. **1330.** В фокусе второго зеркала.

1331. $f = 10$ см. **1332.*** $d = 32$ см. **1333.** $F = 60$ см. **1334.** Изображе-

ние действительное, перевернутое $f_2 = \frac{d_2}{d_2 D_2 - 1} = 0,27$ м.

1335.* $\Gamma = 5$. **1336.*** $h = 5,6$ см. **1337.*** На расстоянии $l = 8,0$ см за собирающей линзой. **1338.*** При $6,7 < d < 20$ см и $d > 60$ см от первой линзы. **1339.*** $F = -60$ см. **1340.*** $F = -1,3$ м. **1341.*** $\Delta l = 80$ см.

1342.* $F = -13$ см. **1343.*** $f_0 = 8,0$ см. **1344.*** $F_x = 0,38F$.

1345.* $R_2 = 0,50$ см. **1346.*** $v_0 = \frac{v}{F} \left(L + \frac{l}{2n} - F \right) = 24 \frac{\text{см}}{c}$.

1348.* $\Gamma = \sqrt{\frac{\Gamma_1 \Gamma_2}{\Gamma_1 + \Gamma_2}}$. **1349.*** $\Gamma = \frac{1}{7}$. **1350.*** $l = \frac{F}{2}$. **1351.*** $\Gamma = 2$.

1352.* $F_1 = 3,6$ см, $F_2 = -2,6$ см. **1353.*** На $2,0$ см перпендикулярно главной оптической оси линзы в противоположную сторону.

1354.* При $l < F$ — нет решений; при $F < l < R + F$ $d = \frac{Fl}{l - F}$;

при $l > R + F$ $d_1 = \frac{Fl}{l - F}$, $d_2 = \frac{F(l - R)}{l - R - F}$. **1355.*** $h = 6,7$ см.

1356.* $\varphi_{\max} = \frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{1}{n}\right)$. **1357.*** $\beta \approx 2\alpha$, $v_1 \approx \frac{v}{4}$. **1358.*** $\beta \approx 5\alpha$,

$$v_1 = v \frac{f \sin \alpha}{d \sin \beta} \approx \frac{v}{25}$$

60. Построение изображений предметов в тонких линзах и системах тонких линз

1359. в. 1360. а. 1361. в. 1362. б. 1363. а.

61. Оптические приборы. Глаз

1402. б. 1403. б. 1404. а. 1405. а. 1406. б. 1407. $\Gamma = 8,3$.

1408. $F = 5$ см. 1409. От $F_1 = 2,5$ см до $F_2 = 1,7$ см. 1410. $d = 2,5$ см.

1411. $\Gamma = 0,67$; нет. 1412. $D = 16$ дптр. 1413. $\Gamma = 5,9$. 1414. $\Gamma = 2,7$.

1415. $H = 3,0$ м. 1416. $d = 42$ м. 1417. $\Gamma_1 = 13$, $\Gamma_2 = 4,2$, $\Gamma_3 = 2,5$.

1418. $\Gamma = 40$. 1419. $d = 1,2$ м. 1420. $h = 10$ м. 1421. $\Gamma = 25$.

1422. $d = 50$ м. 1423. $F = 24$ мм. 1424. $D = 10$ дптр. 1425. $d = 47$ см.

1426. $\tau \leq 1,3$ мс. 1427. $F = 0,4$ м. 1428. * $D = -5,5$ дптр. 1429. * $D = 6,7$ дптр.

1430. * $\Delta D = 4$ дптр. 1431. * $d_{\min} = 24$ см. 1432. * $D = -2,7$ дптр.

1433. * $D = 2,8$ дптр. 1434. Нет, так как ее оптическая сила в воде

значительно уменьшится. 1435. $h = 2,0$ см, $F = 86$ см. 1436. $\tau \leq 0,79$ мс.

1437. * $l = 17$ см. 1438. * $\Gamma = 275$. 1439. * $\beta = 50^\circ$. 1440. * $l = 47$ см.

Основы специальной теории относительности

62. Элементы теории относительности

1441. б. 1442. в. 1443. б. 1444. а. 1445. б. 1446. г. 1447. б. 1448. а.

1449. В релятивистской физике скорость передачи взаимодействий конечна. 1450. Принцип относительности Эйнштейна

рассматривает все физические явления. 1451. * $l = 0,66$ м.

1452. * $\frac{l}{l_0} = 0,66$ м. 1453. * $v = 0,99$ с. 1454. * $v = 0,995$ с.

1455. $\Delta m = 1,1 \cdot 10^{-14}$ кг. 1456. $\Delta m = 2,1 \cdot 10^{-8}$ кг. 1457. $\Delta m = 2,5 \cdot 10^8$ кг.

1458. * $v = 0,80$ с. 1459. Вследствие малости эффекта. 1460. Ускорение

тела будет стремиться к нулю. 1461. $3,0 \cdot 10^9$.

1462. $\Delta M = 4,7 \cdot 10^{-8}$ кг. 1463. $v = 0,86$ с. 1464. $k = 1,8$. 1465. $v = 0,97$ с.

1466. * $k = 3,2$, $\Delta l = 24$ м. 1467. * $v = 2,96 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 1468. * 93 нс.

1469. * $k = 5,0$. 1470. $\Delta m = 0,93$ кг. 1471. $p = 5,89 \cdot 10^{-19} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

1472. $\Delta m = 1,1 \cdot 10^{-11}$ кг. 1473. $a = 2,75 \cdot 10^{17} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. 1474. $\Delta m = 7,0$ г.

1475. $\tau = 1,5 \cdot 10^{11}$ лет. 1476. $p = 5,96 \cdot 10^{-24} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$, $E = 1,93 \cdot 10^{-15}$ Дж,

$$\frac{\Delta p}{p} = 2,3 \%, \quad \frac{\Delta E}{E} = 3,4 \%. \quad 1477. * \Delta t = 2 \cdot 10^6 \text{ лет}, \Delta t = 5,37 \text{ ч.}$$

1478. * $\tau = 32$ года. 1479. * $\tau = 1,5 \cdot 10^{-14}$ с; нет. 1480. $T = \frac{2\pi\gamma m}{qB}$.

1481. * На 0,8 года. 1482. $v = 0,95$ с; $v' = 3,2$ с.

$$1483. v = \frac{c}{\sin \alpha + \sin \beta} = 0,73 \text{ с.} \quad 1484. * \tau = \frac{\sqrt{3}mc}{3eE}. \quad 1485. * l = \frac{W - mc^2}{qE}.$$

Квантовая физика

63. Фотоны. Действие света

1486. а. 1487. г. 1488. в. 1489. г. 1490. $N = 4$. 1491. Серия Лаймана. 1492. Серия Бальмера. 1493. Серия Пашена. 1494. Самая короткая (левая) стрелка. 1495. г. 1496. $E = 3,3 \cdot 10^{-19}$ Дж. 1497. $\nu = 1,2 \cdot 10^{15}$ Гц.

1498. В 2 раза. 1499. $p = 8,8 \cdot 10^{-28} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$. 1500. $p = 1,3 \cdot 10^{-27} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$.

1501. $E = 2,0 \cdot 10^{-19}$ Дж; $p = 6,6 \cdot 10^{-28} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$. 1502. * $\lambda = 1,58 \cdot 10^{-11}$ м.

1503. * $\lambda = 7,3 \cdot 10^{-16}$ м. 1504. * $\frac{\lambda_{\text{э}}}{\lambda_{\text{ф}}} = 1,0 \cdot 10^{-3}$. 1505. $\lambda = 330$ нм,

$E = 6,0 \cdot 10^{-19}$ Дж. 1506. $E = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. 1507. $n = 1,7$.

1508. $\Delta p = 4,4 \cdot 10^{-27} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$. 1509. $\lambda = 2,4 \cdot 10^{-12}$ м. 1510. $p = 3,5$ мкПа.

1511. * $N = 2,7 \cdot 10^{21}$. 1512. $p = 42$ мкПа. 1513. $E = 3,4 \cdot 10^{-19}$ Дж.

1514. $N = 1,0 \cdot 10^{21}$. 1515. $N = 5$. 1516. $\langle P \rangle = 2,9$ кВт.

1517. $P = \frac{Nhc}{\eta\lambda} = 40$ Вт. 1518. $\frac{v_1}{v_2} = 9$. 1519. а) $p = \frac{2E}{c}$; б) $\langle p \rangle = \frac{2E}{Sc\tau}$;

$\langle p \rangle V = \frac{2N}{3} E$. 1520. $\tau = 75$ с. 1521. $\tau = 6,9 \cdot 10^2$ с. 1522. $\Delta t = 2,4 \cdot 10^{-7}$ °С.

1523. $p = 0,66$ мПа; $\Delta p = 8,3 \cdot 10^{-7} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$. 1524. $N = 1,5 \cdot 10^{20}$.

1525. $E = 1,7 \cdot 10^{-18}$ Дж. 1526. $N = 2,8 \cdot 10^{11}$. 1527. * $N = 3,9 \cdot 10^{17}$.

64. Законы фотоэффекта

1528. а. 1529. а. 1530. в. 1531. г. 1532. в. 1533. г. 1534. г.

1535. $E_{\min} = 3,45 \cdot 10^{-19}$ Дж. 1536. $\nu = 1,7 \cdot 10^{15}$ Гц. 1537. Нет.

1538. $\nu = 9,4 \cdot 10^{14}$ Гц. 1539. $\varphi = 0,299$ В. 1540. $\Delta\varphi = 1,5$ В.

1541. $\varphi_{\max} = 3,79$ В. 1542. $\nu = 1,24 \cdot 10^{15}$ Гц. 1543. $\lambda = 3,4 \cdot 10^{-7}$ м.

1544. $E_{\max} = 4,2 \cdot 10^{-19}$ Дж. 1545. $\lambda_{\kappa} = 3,4 \cdot 10^{-7}$ м.

1546. $p_{\min} = 3,0 \cdot 10^{-27} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{С}}$. 1547. $d_{\max} = 8,7$ мм.

1548. $p_{\max} = 3,0 \cdot 10^{-22} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{С}}$. 1549. $v_2 = 3,2 \cdot 10^5 \frac{\text{М}}{\text{С}}$.

1550. $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с. 1551. $\lambda = 2,8 \cdot 10^{-7}$ м. 1552. $A_{\text{в}} = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Дж,

$\lambda_{\kappa} = \frac{hc}{A_{\text{в}}} = 620$ нм. Не будет. 1553. $r = 13$ мм. 1554. $N = 1,0 \cdot 10^{19}$.

1555. $\lambda_{\kappa} = 5,0 \cdot 10^{-7}$ м. 1556. $p = 1,15 \cdot 10^{-23} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{С}}$. 1557. $q = 1,6$ мкКл.

1558. $A_{\text{в}} = 3,7 \cdot 10^{-19}$ Дж. 1559. * $\tau = 6,7 \cdot 10^{-7}$ с. 1560. * $Q = 1,5 \cdot 10^{-7}$ Дж.

Ядерная физика и элементарные частицы

65. Ядерные реакции

1561. б. 1562. 0_1e . 1563. ${}^{204}_{82}\text{Pb}$. 1564. ${}^{90}_{38}\text{Sr} \rightarrow {}^0_{-1}e + {}^{90}_{39}\text{Y}$; изотоп иттрия.

1565. ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^{14}_6\text{C}$. 1566. Да. 1567. ${}^4_2\text{He}$. 1568. $Z = 83, A = 211$.

1569. ${}^{242}_{88}\text{Ra} \rightarrow 2 {}^4_2\text{He} + {}^{234}_{84}\text{Po}$. 1570. ${}^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow 2 {}^0_{-1}e + {}^4_2\text{He} + {}^{228}_{90}\text{Th}$.

1571. ${}^{206}_{82}\text{Pb}$. 1572. Пять α -превращений и одно β -превращение.

1573. 8 α -распадов и 6 β -распадов. 1574. Один α -распад и два β -распада. 1575. ${}^{237}_{93}\text{Np} \rightarrow {}^{213}_{83}\text{Bi} + 6 {}^4_2\text{He} + 2 {}^0_{-1}e$.

1576. ${}^{11}_5\text{B} + {}^1_1p \rightarrow 3 {}^4_2\text{He}$. 1577. * Первый и второй переходы обусловлены β -распадом, третий — α -распадом.

1578. * $N = \frac{I\tau}{2eN_0} = 2,3 \cdot 10^{11}$.

66. Энергия ядерных реакций

1579. $\varepsilon_{\text{св}} = 7,1 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$. **1580.** $\varepsilon_{\text{св}} = 8,5 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$. **1581.** ${}^{12}_6\text{C} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{14}_7\text{N}$;

$\Delta E = 1,6 \cdot 10^{-12}$ Дж. **1582.** $E_{\alpha} = 2,5 \cdot 10^{-13}$ Дж; ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^1_1\text{p} + {}^{17}_8\text{O}$.

1583. ${}^{198}_{80}\text{Hg} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{198}_{79}\text{Au} + {}^1_1\text{p}$. Нет, не выгодно. **1584.** $E_{\text{к}} = 0,80$ МэВ; ${}^1_0\text{n} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^0_{-1}\text{e}$. **1585.** $E = 126,5$ МэВ. **1586.*** $E_{\text{к}} = 0,61$ МэВ.

1587.* $E_{\text{к}} = 0,56$ МэВ. **1588.*** $E = 1,9 \cdot 10^{11}$ эВ. **1589.*** $E_{\text{к}} = 24$ МэВ.

1590. $m = 3,5$ кг. **1591.** Нейтроны не имеют заряда, и на них не действуют силы Кулона. **1592.** ${}^3_1\text{H}$, так как они наиболее массивные.

1593. Потому что скорость частицы уменьшается. **1594.** $\Delta T = 7,5$ К.

1595.* $E = 2,13$ МэВ. **1596.*** ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn}$, $\frac{p_1}{p_2} = 1,0$, $\frac{E_1}{E_2} = 56$.

1597. $N = 3,3 \cdot 10^{11}$. **1598.** $m = 0,20$ г. **1599.** $m = 10,5$ г.

1600. $Q_2 = Q_1 - \Delta mc^2 = 12,8$ МэВ. **1601.*** $k = \frac{4}{5}$. **1602.*** $m = 99,3$ г.

1603. $m = 467$ г. **1604.** а) $m_{\text{угля}} = 4,0 \cdot 10^9$ кг, $m_{\text{нефти}} = 2,6 \cdot 10^9$ кг;
б) $m = 1,47$ т.

67. Радиоактивный распад

1605. Нет. **1606.** Вследствие того, что число нейтронов в ядрах значительно больше числа протонов, ядра неустойчивы из-за кулоновского отталкивания. **1607.** $k = 0,29$. **1608.** $k = 0,75$.

1609. $T_{1/2} = 50$ с. **1610.** $k = 0,25$. **1611.** $m = 0,75$ мг. **1612.** $\Delta A = 36$.

1613.* $T_{1/2} = 42$ мин. **1614.*** $\Delta t_1 = 93$ года.

Содержание

От авторов3

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

1. Основные понятия молекулярно-кинетической теории (МКТ). Основное уравнение МКТ идеального газа4
2. Средняя квадратичная скорость движения молекул.....7
3. Закон Дальтона.....9

ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА. ИЗОПРОЦЕССЫ

4. Уравнение Клапейрона – Менделеева12
5. Изотермический процесс14
6. Изохорный процесс16
7. Изобарный процесс.....17
8. Объединенный газовый закон (уравнение Клапейрона)18
9. Графическое представление процессов в идеальном газе20
10. Поверхностное натяжение жидкостей. Свойства жидкостей...25
11. Испарения и конденсация. Насыщенный пар. Влажность воздуха28
12. Строение и свойства твердых тел.....31

ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

13. Количество теплоты. Агрегатные превращения веществ.....32
14. Работа в термодинамике38
15. Внутренняя энергия. Первый закон термодинамики.....40
16. Циклические процессы. Тепловые двигатели44

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

17. Электрический заряд. Закон сохранения заряда. Закон Кулона49
18. Напряженность электростатического поля. Принцип суперпозиции55
19. Потенциал электростатического поля. Разность потенциалов (напряжение)59
20. Связь между напряжением и модулем напряженности однородного электростатического поля63
21. Движение заряженных тел в электростатическом поле66
22. Емкость. Конденсаторы.....72
23. Батареи конденсаторов.....75

24. Работа сил электростатического поля	81
25. Энергия электростатического поля конденсатора	84

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

26. Электрический ток. Электрическое сопротивление. Напряжение. Закон Ома для участка цепи	87
27. Соединения резисторов	91
28. Закон Джоуля – Ленца	103
29. Источник тока. Электродвижущая сила (ЭДС) источника тока. Закон Ома для полной электрической цепи	110
30. Мощность электрического тока. Коэффициент полезного действия (КПД) источника электрического тока	115
31. Электрический ток в различных средах	118

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

32. Сила Ампера (закон Ампера)	126
33. Принцип суперпозиции магнитных полей	131
34. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле	134
35. Электромагнитная индукция	143
36. Движение проводника в магнитном поле	147
37. Явление самоиндукции. Индуктивность	155
38. Энергия магнитного поля	157

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Механические колебания и волны

39. Гармонические колебания	159
40. Математический маятник	164
41. Пружинный маятник	168
42. Колебательные системы	171
43. Механические волны	174

Электромагнитные колебания и волны

44. Свободные электромагнитные колебания в контуре	177
45. Переменный электрический ток	180
46. Трансформаторы	183
47. Электромагнитные волны	185

ОПТИКА

Волновая оптика

48. Свет. Показатель преломления. Интерференция света..... 188
49. Дифракция света 192

Геометрическая оптика

50. Прямолинейное распространение и отражение света..... 196
51. Сферические зеркала 200
52. Построение изображений в сферических зеркалах..... 208
53. Преломление света..... 211
54. Скорость света в веществе 214
55. Полное отражение света 216
56. Распространение света через плоскопараллельную
пластинку и призму..... 219

Тонкие линзы

57. Формула тонкой линзы..... 221
58. Увеличение тонкой линзы..... 224
59. Оптические приборы и системы 228
60. Построение изображений предметов в тонких линзах
и системах тонких линз..... 234
61. Оптические приборы. Глаз..... 241

ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

62. Элементы теории относительности 246

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

63. Фотоны. Действие света 253
64. Законы фотоэффекта 258

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА И ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

65. Ядерные реакции 263
66. Энергия ядерных реакций 265
67. Радиоактивный распад 269

- СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ 271

- ОТВЕТЫ 286

Помогаем учить,
помогаем учиться

ИЗДАТЕЛЬСТВО
АВЕРСЭВ



**Физика. 10 класс.
Самостоятельные и контрольные работы
(базовый уровень)**

Е. В. Громыко, И. Э. Слесарь
2-е издание



**Физика. 11 класс.
Самостоятельные и контрольные работы
(базовый уровень)**

В. И. Зенькович, И. Э. Слесарь
2-е издание

Пособия содержат самостоятельные и контрольные работы, каждая из которых представлена в четырех вариантах. Все работы соответствуют учебным программам по физике для 10 и 11 классов базового уровня.

*Рекомендовано Научно-методическим учреждением
«Национальный институт образования»
Министерства образования Республики Беларусь*



🔍 Аверсэв. Физика, астрономия

Присоединяйтесь к нашей группе по физике и астрономии «ВКонтакте»!
Новинки издательства, акции, розыгрыши книг.

© ОДО «Аверсэв», 2019