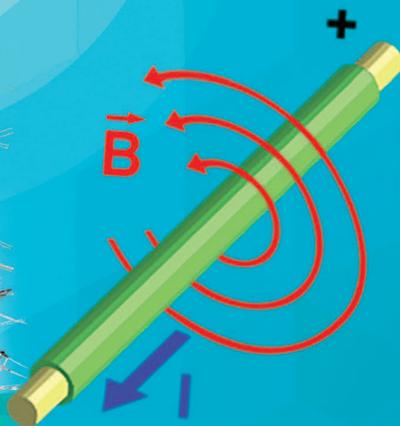
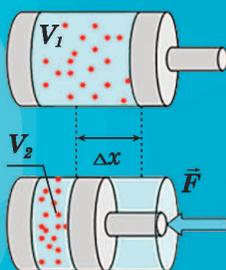
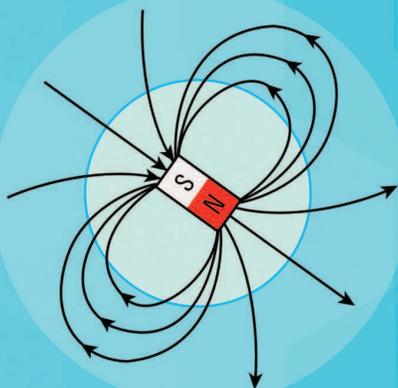


В. В. Дорофейчик, О. Н. Белая

# СБОРНИК

# задач по физике 10



В. В. Дорофейчик, О. Н. Белая

# СБОРНИК задач по физике

Учебное пособие для **10** класса  
учреждений общего среднего образования  
с русским языком обучения  
(базовый и повышенный уровни)

*Допущено  
Министерством образования  
Республики Беларусь*

Минск



Национальный институт образования  
2022

Правообладатель Национальный институт образования

УДК 53(075.3=161.1)

ББК 22.3я721

Д69

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра общей физики учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» (кандидат физико-математических наук *А. В. Лавыш*);

учитель физики квалификационной категории «учитель-методист» государственного учреждения образования «Средняя школа № 21 г. Бобруйска» *С. В. Кричко*

**Дорофейчик, В. В.**

Д69      Сборник задач по физике : учеб. пособие для 10-го кл. учреждений общ. сред. образования с рус. яз. обучения (базовый и повыш. уровни) / В. В. Дорофейчик, О. Н. Белая. — Минск : Национальный институт образования, 2022. — 336 с.

ISBN 978-985-893-022-6.

Сборник содержит задачи различных видов и уровней сложности, ответы и справочные материалы. Задания расположены в порядке возрастания сложности. Адресуется учащимся 10-го класса учреждений общего среднего образования, изучающим физику на базовом и повышенном уровнях.

УДК 53(075.3=161.1)

ББК 22.3я721

ISBN 978-985-893-022-6

© Дорофейчик В. В., Белая О. Н., 2022

© Оформление. НМУ «Национальный институт образования», 2022

## От авторов

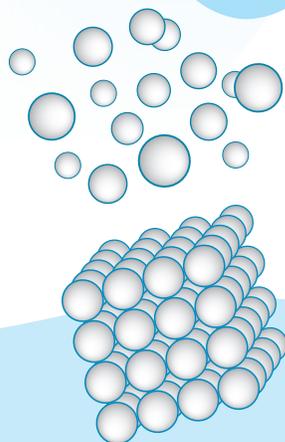
Овладеть знаниями школьного курса физики — это значит не только научиться понимать физические явления и закономерности, но и уметь применять их на практике. Любое использование общих положений физики для разрешения конкретного, частного вопроса есть решение физической задачи. Умение решать задачи делает знания действенными, практически применимыми.

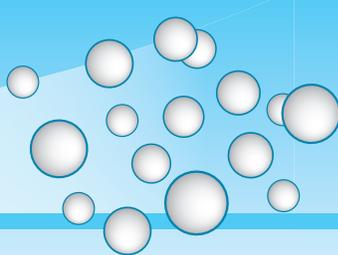
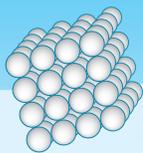
Данный сборник задач соответствует учебной программе базового и повышенного уровней и предназначен для учащихся 10-го класса. Сборник включает качественные, графические и расчетные задачи различного уровня сложности по двум разделам: «Молекулярная физика» и «Электродинамика». Звездочкой (\*) отмечены задачи и формулы для повышенного уровня. В начале каждой темы приводятся краткие сведения из теории физики, необходимые при решении задач по данной теме. В пределах каждой темы задачи расположены в порядке возрастания сложности. В конце сборника размещены ответы к задачам. При решении многих задач, где необходимо, следует использовать справочные данные, приведенные в таблицах, расположенных в приложении в конце книги. В некоторых задачах требуется использовать значения физических констант, отличающиеся от значений, указанных в справочнике.

В таких случаях значения физических констант приводятся в текстах задач. Например, в таблице физических констант указано значение универсальной газовой постоянной  $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ , а в задаче —  $R = 8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ . Большинство задач рекомендуется решать в Международной системе единиц (СИ). Но если в конечной формуле входящие физические величины однородные, то переводить их в единицы СИ необязательно.

# МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

- I. Основы молекулярно-кинетической теории
- II. Основы термодинамики





# I. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

## 1. Основные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ). Масса молекул. Количество вещества. Молярная масса

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Относительная молекулярная (атомная) масса	$M_r = \frac{m_0}{1 \text{ а. е. м.}}$	$M_r$ — относительная молекулярная (атомная) масса; $m_0$ — масса молекулы (атома); $1 \text{ а. е. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ — 1 атомная единица массы
Количество вещества	$\nu = \frac{N}{N_A}$	$\nu$ — количество вещества; $N$ — число частиц вещества; $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ — постоянная Авогадро
Молярная масса	$M = \frac{m}{\nu}$ $M = m_0 N_A$ $M = M_r \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	$M$ — молярная масса; $m$ — масса вещества; $\nu$ — количество вещества; $M_r$ — относительная молекулярная (атомная) масса; $m_0$ — масса молекулы (атома); $N_A$ — постоянная Авогадро
Число частиц	$N = \frac{m}{m_0}$ $N = \nu N_A$	$N$ — число частиц; $m$ — масса вещества; $m_0$ — масса молекулы (атома);

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
	$N = \frac{m}{M} N_A$	$v$ — количество вещества; $N_A$ — постоянная Авогадро; $M$ — молярная масса
Концентрация частиц	$n = \frac{N}{V}$	$n$ — концентрация частиц; $N$ — число частиц; $V$ — объем, занимаемый частицами

1. Можно ли утверждать, что объем серной кислоты, налитой в колбу, равен сумме объемов ее молекул?
2. Физический опыт показывает: если слить вместе воду и спирт и перемешать их, то общий объем смеси будет меньше суммы объемов воды и спирта до смешивания. Какое положение МКТ доказывает этот опыт?
3. При аварии танкеров нефть иногда растекается в море по поверхности воды. Какова минимально возможная толщина пленки нефти, покрывающей поверхность воды?
4. Длина столбика ртути в запаянной трубке термометра увеличилась. Изменилось ли при этом число молекул ртути? Увеличился ли объем каждой молекулы ртути в термометре?
5. Запах ароматического вещества, внесенного в помещение, распространяется с течением времени по всему его объему. Какое положение МКТ доказывает этот факт?
6. При ремонте дороги асфальт разогревают. Запах горячего асфальта ощущается издалека, а холодного — нет. Какое положение МКТ доказывает этот факт?
7. Если в стакан с водой бросить несколько кристалликов перманганата калия (марганцовки), то однородной фиолетовой вода станет не сразу, а спустя некоторое время. Какое физическое явление и какое положение МКТ подтверждает этот опыт?

8. Если рассматривать в микроскоп каплю сильно разбавленного водой молока, то можно видеть, что плавающие в жидкости мелкие капли масла непрерывно и хаотично движутся. Объясните это явление.
9. Несмотря на гравитационное притяжение к Земле, пыль удерживается над ее поверхностью в течение длительного времени. На Луне гравитационное притяжение значительно слабее, тем не менее пыль, поднятая над поверхностью Луны, сравнительно быстро оседает. Поясните эти факты.
10. Между молекулами твердых тел действуют силы притяжения. Почему части расколовшейся тарелки невозможно соединить, даже если их плотно прижать друг к другу?
11. Стеклянную пластинку, подвешенную на резиновом шнуре, опустили до соприкосновения с поверхностью воды. Почему при подъеме пластинки шнур дополнительно растягивается?
12. В сосуде, снабженном краном, создали вакуум. Можно ли, открыв кран, заполнить воздухом только половину сосуда?
13. Определите массу атома урана, относительная атомная масса которого  $M_r = 238$  а. е. м.
14. Определите массу атома магния, молярная масса которого  $M = 24 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ .
15. Определите массы молекул: а) оксида кальция  $\text{CaO}$ ; б) хромовой кислоты  $\text{H}_2\text{CrO}_4$ ; в) глюкозы  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ .
16. Определите модуль импульса молекулы метана  $\text{CH}_4$ , модуль скорости движения которой  $v = 650 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .
17. В сосуде находится водяной пар. Определите кинетическую энергию молекулы воды  $\text{H}_2\text{O}$ , если ее модуль скорости движения  $v = 600 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

18. Определите кинетическую энергию молекулы азота, если ее модуль импульса  $p = 2,8 \cdot 10^{-23} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ .
19. Определите число молекул водорода, находящихся в баллоне, если масса водорода  $m = 0,080$  кг.
20. В сосуде объемом  $V = 0,2 \text{ м}^3$  содержится  $N = 2,7 \cdot 10^{24}$  молекул газа. Определите молярную массу газа. Плотность газа  $\rho = 0,09 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Постоянная Авогадро  $N_A = 6,0 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ .
21. В сосуде объемом  $V = 40$  л находится фтор  $\text{F}_2$ , число молекул которого  $N = 1,2 \cdot 10^{24}$ . Определите плотность газа.
22. На дверную ручку, площадь поверхности которой  $S = 65 \text{ см}^2$ , равномерно нанесен слой хрома толщиной  $h = 2,0$  мкм. Определите, сколько атомов хрома содержится в покрытии ручки.
23. Кислород массой  $m = 80$  г находится в баллоне объемом  $V = 50$  л. Определите концентрацию молекул кислорода, находящегося в баллоне.
24. Как, используя весы с разновесом, определить количество вещества, содержащегося в алюминиевом цилиндре?
25. Определите массу углекислого газа  $\text{CO}_2$ , если его количество вещества  $\nu = 0,50$  моль.
26. Определите количество вещества, содержащегося в воде объемом  $V = 180$  мл.
27. В сосуде объемом  $V = 250 \text{ дм}^3$  находится аргон, количество вещества которого  $\nu = 0,20$  моль. Определите плотность этого газа в сосуде.
28. Какое количество вещества содержится в слитке серебра, модуль веса которого в состоянии покоя  $P = 2,5$  Н?
29. В санаториях для профилактики заболеваний применяют радон, который добавляют в воду. Во сколько раз концентрация молекул воды в ванне больше концентрации

атомов радона, если объем воды в ванне  $V = 300 \text{ дм}^3$ , а число атомов радона в ней  $N = 5 \cdot 10^8$ ?

30. В бутылке находится газированная вода, объем которой  $V_1 = 1,5 \text{ дм}^3$ . Масса углекислого газа  $\text{CO}_2$ , растворенного в воде,  $m_2 = 11 \text{ мг}$ . Определите, сколько молекул воды приходится на одну молекулу углекислого газа.
31. Какой заряд приобрел бы медный шар объемом  $V = 9,0 \text{ см}^3$ , если бы удалось с каждого нейтрального атома меди удалить по одному электрону?
32. Газоанализатор воздуха начинает подавать сигнал, если в воздухе объемом  $V = 1 \text{ м}^3$  находится  $m = 5 \text{ мг}$  угарного газа  $\text{CO}$ . Определите концентрацию молекул угарного газа при включении сигнала газоанализатора.
33. В одном из одинаковых сосудов находится водяной пар, в другом — криптон. Плотность водяного пара  $\rho_{\text{в.п.}} = 20 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$ . Плотность криптона  $\rho_{\text{к}} = 0,14 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Во сколько раз различается число атомов, составляющих эти вещества?
34. Однородный железный шарик, в котором содержится  $N = 1,2 \cdot 10^{24}$  атомов, погружен в воду. Определите модуль силы Архимеда, действующей на шарик.
35. Из стакана за время  $\tau = 5 \text{ ч}$  испарилась вода массой  $m = 5,4 \text{ г}$ . Сколько молекул в среднем вылетало с поверхности воды за промежуток времени  $\Delta t = 1 \text{ с}$ ?
36. В озеро, средняя глубина которого  $h = 10 \text{ м}$ , а площадь  $S = 1 \text{ км}^2$ , бросили кристаллик поваренной соли  $\text{NaCl}$  массой  $m = 23 \text{ мг}$ . Сколько ионов хлора оказалось бы в стакане воды объемом  $V = 200 \text{ см}^3$ , взятой из этого озера, если считать, что соль, растворившись, равномерно распределилась по всему озеру? Молярная масса поваренной соли  $M = 58 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ .

37. Кусок кобальта массой  $m_{\text{к}} = 118$  г и титановый стержень содержат одинаковое количество вещества. Определите абсолютное удлинение пружины, к которой подвешен титановый стержень, если жесткость пружины  $k = 24 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .
38. В сосуде находится кислород массой  $m = 32$  г, причем  $\eta = 25\%$  молекул кислорода распались на атомы. Сколько частиц кислорода содержится в сосуде?
39. В баллоне содержится азот, количество вещества которого  $\nu = 0,05$  моль. При этом  $\eta = 7\%$  молекул азота диссоциировано на атомы. Сколько частиц азота находится в баллоне?
40. Газовые смеси применяют для повышения качества сварочного шва металлов. Определите среднюю молярную массу смеси, в которой находятся аргон массой  $m_1 = 250$  г и кислород массой  $m_2 = 50$  г.

## 2. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа

Закон или физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Основное уравнение МКТ идеального газа	$p = \frac{1}{3} n m_0 \langle v^2 \rangle$ <p style="text-align: center;">или</p> $p = \frac{2}{3} n \langle E_{\text{к}} \rangle$	<p><math>p</math> — давление идеального газа;</p> <p><math>n</math> — концентрация частиц газа;</p> <p><math>m_0</math> — масса частицы;</p> <p><math>\langle v^2 \rangle</math> — среднее значение квадрата скорости теплового движения частиц газа;</p> <p><math>\langle E_{\text{к}} \rangle</math> — средняя кинетическая энергия теплового движения частиц</p>

Закон или физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Средняя квадратичная скорость	$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$	$\langle v_{\text{кв}} \rangle$ — средняя квадратичная скорость теплового движения частиц газа; $\langle v^2 \rangle$ — среднее значение квадрата скорости теплового движения частиц газа

41. В сосуде находится идеальный газ, концентрация молекул которого  $n = 5,1 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ . Определите давление газа, если масса каждой молекулы  $m_0 = 6,6 \cdot 10^{-24} \text{ г}$ , а средняя квадратичная скорость их поступательного движения  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 1,3 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .
42. Определите концентрацию молекул водорода, находящегося в баллоне, если давление газа  $p = 2,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , а средняя квадратичная скорость поступательного движения его молекул  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 1,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .
43. Изменится ли давление идеального газа в сосуде, если концентрация его молекул увеличится в  $\alpha = 1,5$  раза, а средняя квадратичная скорость теплового движения молекул уменьшится в  $\beta = 1,5$  раза?
44. Определите массу идеального газа, содержащегося в сосуде вместимостью  $V = 5 \text{ л}$ , если давление газа  $p = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , а средняя квадратичная скорость поступательного движения его молекул  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .
45. Определите среднюю квадратичную скорость теплового движения молекул идеального газа, давление которого  $p = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , а масса  $m = 60 \text{ г}$ . Объем сосуда, в котором находится газ,  $V = 0,1 \text{ м}^3$ .

46. Плотность идеального газа, находящегося в сосуде,  $\rho = 1,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Определите давление газа, если средняя квадратичная скорость теплового движения его молекул  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 400 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .
47. Определите плотность идеального газа, молекулы которого оказывают на стенки сосуда давление  $p = 1,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Средняя квадратичная скорость теплового движения молекул  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 800 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .
48. На рисунке 1 представлен график зависимости давления неона от его плотности. Определите среднюю квадратичную скорость теплового движения частиц неона.
49. В цилиндрических сосудах (рис. 2) находятся кислород  $\text{O}_2$  и водород  $\text{H}_2$ , количество вещества которых одинаково. Определите отношение давления водорода к давлению кислорода, если отношение средних квадратичных скоростей теплового движения их молекул  $\frac{\langle v_{\text{кв}} \rangle_{\text{H}_2}}{\langle v_{\text{кв}} \rangle_{\text{O}_2}} = 4$ .
50. В пробирке объемом  $V = 30 \text{ см}^3$  находится водород, число молекул которого  $N = 4,5 \cdot 10^{21}$ . Пробирка закрыта пробкой, площадь поперечного сечения которой  $S = 3,0 \text{ см}^2$ . Вылетит ли пробка из пробирки, если газ нагреть и средняя

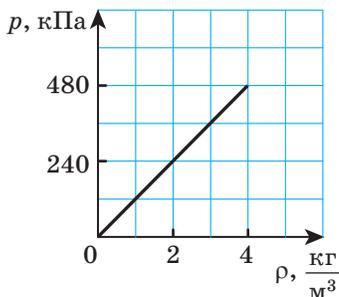


Рис. 1

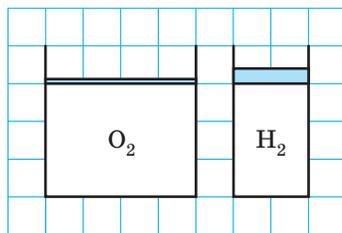


Рис. 2

квадратичная скорость теплового движения молекул станет  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 900 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ ? Известно, что пробка вылетает, если на нее действует сила давления газа, модуль которой  $F \geq 42 \text{ Н}$ .

51. Определите число молекул кислорода, находящегося в баллоне объемом  $V = 1,0 \text{ м}^3$ , если давление газа  $p = 77 \text{ кПа}$ , а средняя квадратичная скорость теплового движения его молекул  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 400 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ .
52. При изменении режима работы лампы давление идеального газа в ее баллоне возросло от  $p_1 = 90,0 \text{ кПа}$  до  $p_2 = 96,1 \text{ кПа}$ , а плотность газа осталась неизменной —  $\rho = 0,75 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Определите, на сколько уменьшилась средняя квадратичная скорость теплового движения молекул газа.
53. В сосуде объемом  $V = 0,50 \text{ л}$  находится кислород, давление которого  $p = 5,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Масса кислорода  $m = 3,0 \text{ г}$ . Определите модуль изменения импульса молекулы кислорода за время ее упругого удара о стенку сосуда. Импульс молекулы направлен перпендикулярно стенке.
54. В сосуде объемом  $V = 1,0 \text{ дм}^3$  содержится гелий, количество вещества которого  $\nu = 1,0 \text{ моль}$ . На сколько понизится давление газа в сосуде, если вследствие утечки из сосуда выйдет  $\alpha = 30 \%$  атомов? Средняя квадратичная скорость теплового движения атомов гелия  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 1,4 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ , и она остается постоянной.
55. Из баллона емкостью  $V = 5 \text{ л}$  из-за неисправности вентиля произошла утечка углекислого газа, в результате чего давление понизилось на  $|\Delta p| = 2,9 \text{ кПа}$ , а средняя квадратичная скорость теплового движения молекул в баллоне осталась неизменной —  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 480 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ . Сколько молекул углекислого газа вылетело из баллона?

56. Идеальный газ, находящийся в сосуде под поршнем, нагрели и одновременно уменьшили его объем. В результате этого давление газа увеличилось в  $\alpha = 2,7$  раза, а плотность — в  $\beta = 1,2$  раза. Во сколько раз увеличилась средняя квадратичная скорость поступательного движения молекул газа?
57. Средняя квадратичная скорость поступательного движения молекул идеального газа в закрытом баллоне увеличилась в  $\alpha = 1,3$  раза. Определите, на сколько процентов изменилось давление газа.
58. В двух сосудах, соединенных трубкой с краном, находится углекислый газ. Давление газа в первом сосуде  $p_1$ , а число молекул  $N_1$ . Давление газа во втором сосуде  $p_2$ , а число молекул  $N_2$ . Определите давление, установившееся в сосудах после открытия крана. Средняя квадратичная скорость теплового движения молекул газа в сосудах до и после открытия крана одинакова.
59. В двух сосудах содержалось одинаковое число молекул азота. В одном из сосудов средняя квадратичная скорость теплового движения молекул  $\langle v_{\text{кв1}} \rangle = 400 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , в другом —  $\langle v_{\text{кв2}} \rangle = 900 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Определите установившуюся среднюю квадратичную скорость теплового движения молекул после того, как сосуды соединили между собой. Известно, что давление газа в обоих сосудах было одинаковым и равным давлению газа после их соединения.
60. В вертикально расположенном цилиндре, закрытом сверху легкоподвижным поршнем массой  $m = 2,0$  кг и площадью поперечного сечения  $S = 2,0$  см<sup>2</sup>, находится идеальный газ. Объем газа  $V_0 = 45$  см<sup>3</sup>. Каким станет объем газа, если цилиндр перемещать вертикально вверх с ускорением, модуль которого  $a = 5,0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ , направленным вверх?

Атмосферное давление  $p_0 = 100$  кПа. Средняя квадратичная скорость теплового движения молекул газа остается постоянной.

61. По трубе площадью поперечного сечения  $S = 8,00$  см<sup>2</sup> перекачивают идеальный газ со скоростью, модуль которой  $v_T = 8,50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Газ массой  $m = 1,90$  кг проходит через поперечное сечение трубы за промежуток времени  $\Delta t = 5,00$  мин. Определите среднюю квадратичную скорость теплового движения молекул, если давление газа в трубе  $p = 390$  кПа.
62. В сосуде объемом  $V = 6$  л содержится  $N = 3 \cdot 10^{22}$  молекул идеального газа, давление которого  $p = 20$  кПа. Определите среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул газа.
63. В одном из двух одинаковых сосудов находится азот, а в другом — столько же молекул водяного пара. Равны ли давления, создаваемые этими газами, если средние кинетические энергии теплового движения молекул в обоих сосудах одинаковы?
64. В баллоне объемом  $V = 10$  л находится идеальный газ, количество вещества которого  $\nu = 2,0$  моль, а давление  $p = 1,0$  МПа. Определите среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул газа.
65. В сосуде объемом  $V = 2$  м<sup>3</sup> находится аргон, масса которого  $m = 2$  кг, а давление  $p = 3,0 \cdot 10^5$  Па. Определите среднюю кинетическую энергию поступательного движения атомов аргона.
66. В баллоне объемом  $V = 25$  л находится кислород, суммарная кинетическая энергия поступательного движения всех молекул которого  $E_k = 6,0$  кДж. Определите давление кислорода.
67. В сосуде находится гелий, давление которого  $p = 1,0 \cdot 10^5$  Па, а количество вещества  $\nu = 2,0$  моль. Определите суммар-

ную кинетическую энергию поступательного движения атомов гелия, если его плотность  $\rho = 1,0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

68. Во сколько раз изменился объем идеального газа, если давление возросло в  $\alpha = 6$  раз, а средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул увеличилась на  $\eta = 50\%$ ?
69. Во сколько раз изменится давление идеального газа, если его объем уменьшится в  $\alpha = 3,0$  раза, а средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул увеличится на  $\eta = 30\%$ ?
70. Для продления срока хранения продуктов используют газовые упаковки, в которых применяют смесь газов: азота и углекислого газа. Модуль средней квадратичной скорости движения молекул азота  $\langle v_{\text{кв}} \rangle_{\text{N}_2} = 0,5 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . Определите модуль средней квадратичной скорости движения молекул углекислого газа, если средние кинетические энергии молекул газовой смеси одинаковы.

### 3. Температура — мера средней кинетической энергии теплового движения частиц вещества

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Абсолютная температура	$T = t + 273 \text{ (К)}$	$T$ — абсолютная температура; $t$ — температура по шкале Цельсия
Средняя кинетическая энергия поступательного движения частиц газа	$\langle E_{\text{к}} \rangle = \frac{3}{2} kT$	$\langle E_{\text{к}} \rangle$ — средняя кинетическая энергия поступательного движения частиц; $T$ — абсолютная температура; $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ — постоянная Больцмана

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Давление идеального газа	$p = nkT$	$p$ — давление идеального газа; $n$ — концентрация частиц; $k$ — постоянная Больцмана; $T$ — абсолютная температура

71. Максимальная температура воздуха, зафиксированная в Минске, составила  $t = 35$  °С. Определите среднюю кинетическую энергию теплового движения молекул воздуха, находящегося при этой температуре.
72. Определите абсолютную температуру атомов ртути, находящейся в энергосберегающих люминесцентных лампах, если их средняя кинетическая энергия теплового движения  $\langle E_k \rangle = 6,25 \cdot 10^{-21}$  Дж.
73. Определите температуру, при которой средняя кинетическая энергия теплового движения молекул идеального газа в  $\alpha = 1,2$  раза больше, чем при температуре  $t_1 = 12$  °С.
74. На сколько процентов увеличится средняя кинетическая энергия теплового движения молекул идеального газа при повышении его температуры от  $T_1 = 280$  К до температуры  $T_2 = 308$  К?
75. Во сколько раз уменьшится средняя квадратичная скорость теплового движения молекул при уменьшении абсолютной температуры идеального газа в  $\alpha = 4$  раза?
76. Во сколько раз средняя квадратичная скорость движения молекул водяного пара в летний день при температуре  $t_1 = 30$  °С больше, чем в зимний день при температуре  $t_2 = -30$  °С?
77. На сколько процентов возрастет средняя квадратичная скорость поступательного движения молекул идеального газа, если его абсолютная температура увеличится в  $\alpha = 1,69$  раза?

78. При нагревании идеального газа средняя квадратичная скорость поступательного движения молекул увеличилась в  $\alpha = 1,1$  раза. На сколько процентов увеличилась абсолютная температура газа?
79. Средняя квадратичная скорость поступательного движения атомов ксенона, заполняющего автомобильную лампу освещения,  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 240 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Определите число молекул этого газа, если его масса  $m = 1,6$  мг, а температура  $t = 27$  °С.
80. Определите среднюю квадратичную скорость поступательного движения атомов аргона при температуре  $t = 0$  °С.
81. Подогретая гелий-кислородная смесь применяется в медицине для лечения органов дыхания. Определите среднюю квадратичную скорость теплового движения молекул гелия, если средняя квадратичная скорость теплового движения молекул кислорода  $\langle v_{\text{кв}} \rangle_{\text{O}_2} = 0,49 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .
82. При температуре  $T = 300$  К плотность газа  $\rho = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , а средняя квадратичная скорость теплового движения молекул  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Определите концентрацию молекул газа.
83. Идеальный газ массой  $m = 69$  г при температуре  $T = 300$  К имеет среднюю квадратичную скорость движения молекул  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 420 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Сколько молекул содержится в этом газе?
84. При какой абсолютной температуре средняя квадратичная скорость теплового движения атомов гелия станет равной модулю скорости движения искусственного спутника Земли, летающего по круговой орбите на высоте  $h = \frac{R}{2}$  ( $R$  — радиус Земли) от поверхности Земли? Молярная масса гелия равна  $M$ .

85. В двух теплоизолированных одинаковых баллонах, соединенных трубкой с краном, находится гелий, массы которого одинаковы. В одном баллоне средняя квадратичная скорость теплового движения атомов гелия  $\langle v_{\text{кв1}} \rangle = 1,35 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ , в другом —  $\langle v_{\text{кв2}} \rangle = 1,80 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . Определите среднюю квадратичную скорость теплового движения атомов гелия после открытия крана и установления в баллонах теплового равновесия. Теплоемкостью баллонов пренебречь.
86. Определите давление азота, находящегося в баллоне при температуре  $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , если концентрация его молекул  $n = 2,0 \cdot 10^{27} \text{ м}^{-3}$ .
87. Во сколько раз повысилось давление идеального газа в баллоне, если его абсолютная температура увеличилась в  $\alpha = 1,2$  раза?
88. Температура идеального газа в сосуде увеличилась от  $t_1 = 22 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 81 \text{ }^\circ\text{C}$ . На сколько процентов повысилось давление газа?
89. На рисунке 3 представлен график зависимости объема идеального газа от абсолютной температуры. Во сколько раз отличается давление газа в состояниях 1 и 2?
90. Давление холодного воздуха при температуре  $t_1 = -23 \text{ }^\circ\text{C}$  равно давлению этого же воздуха, нагретого до температуры  $t_2 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ . Во сколько раз плотность холодного воздуха больше плотности теплого воздуха?
91. При нормальных условиях (давление  $p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$ , температура  $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) плотность воздуха  $\rho_0 = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Определите плотность этого же воздуха при температуре  $t = 74 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлении  $p = 600 \text{ мм рт. ст.}$

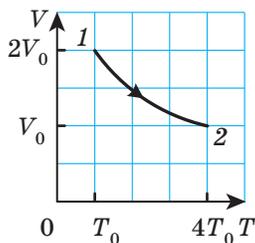


Рис. 3

92. Во сколько раз отличается давление идеальных газов, находящихся в одинаковых баллонах, если в первом содержится  $N_1 = 1,0 \cdot 10^{24}$  молекул при температуре  $T_1 = 300$  К, а во втором —  $N_2 = 1,0 \cdot 10^{23}$  молекул при температуре  $T_2 = 500$  К?
93. В баллоне находится двухатомный идеальный газ. Во сколько раз увеличится давление газа, если половина его молекул распадется на атомы, а температура газа останется неизменной?
94. В сосуде находится углекислый газ  $\text{CO}_2$ , давление которого  $p_1 = 100$  кПа, а температура  $T_1 = 300$  К. Определите, каким станет давление газа в сосуде, если температура газа возрастет до  $T_2 = 3000$  К и половина молекул распадется на атомы. Изменением объема сосуда пренебечь.
95. В сосуде находится воздух, количество вещества которого  $\nu = 1,0$  моль. Определите объем сосуда, если отношение давления воздуха к его абсолютной температуре  $\alpha = 345 \frac{\text{Па}}{\text{К}}$ .
96. При нагревании идеального газа на  $\Delta T = 3$  К при постоянном давлении его объем увеличился на  $\alpha = 1$  %. Определите начальную абсолютную температуру газа.
97. После того как объем, занимаемый идеальным газом, уменьшили на  $\alpha = 10$  %, а температуру увеличили на  $\Delta T = 24$  К, давление газа возросло на  $\beta = 20$  %. Определите конечную температуру газа.
98. Определите массу водорода, который содержится в сосуде вместимостью  $V = 20$  л при давлении  $p = 2,5 \cdot 10^5$  Па и температуре  $t = 27$  °С.
99. Баллон вместимостью  $V = 40$  л содержит  $m = 6,0$  кг углекислого газа. Баллон выдерживает давление, не превышающее  $p = 15$  МПа. При какой минимальной абсолютной температуре баллон разорвется?

100. Идеальный газ объемом  $V = 1$  л при температуре  $t = 0$  °С и давлении  $p = 100$  кПа имеет массу  $m = 89$  мг. Определите молярную массу газа.
101. Вместимость сосуда, в котором создан вакуум,  $V = 14$  см<sup>3</sup>. В результате микротрещины в сосуд каждую секунду проникает  $N_1 = 1,0 \cdot 10^{17}$  молекул воздуха. Через какой промежуток времени сосуд наполнится воздухом до давления  $p = 6,9 \cdot 10^4$  Па? Температура воздуха  $T = 280$  К.
102. В баллоне содержится  $m_1 = 3$  кг идеального газа при температуре  $T_1 = 270$  К. Определите массу газа, который нужно выпустить из баллона, чтобы при температуре  $T_2 = 300$  К давление газа в баллоне осталось прежним.
103. В сосуде объемом  $V = 69$  см<sup>3</sup> содержится идеальный газ при температуре  $t = 27$  °С. Определите, на сколько понизится давление газа в сосуде, если вследствие утечки из сосуда выйдет  $N = 5,0 \cdot 10^{20}$  молекул. Температура газа не изменяется.
104. Баллон содержит идеальный газ при температуре  $t_1 = 27$  °С и давлении  $p_1 = 4,0 \cdot 10^6$  Па. Каким станет давление газа, если из баллона выпустить половину газа, а температуру понизить до  $t_2 = 12$  °С?
105. Герметично закрытый сосуд полностью заполнен водой при температуре  $t = 27$  °С. Каким стало бы давление внутри сосуда, если бы силы взаимодействия между молекулами воды внезапно исчезли?
106. По газопроводу течет пропан  $C_3H_8$  при давлении  $p = 2$  МПа и температуре  $t = 17$  °С. За время  $\tau = 1$  ч транспортируется  $m = 32$  кг газа. Площадь поперечного сечения трубы газопровода  $S = 6$  см<sup>2</sup>. Определите модуль средней скорости движения газа в трубе.

107. Газ находится в вертикальном цилиндре под гладким поршнем массой  $m = 5,0$  кг. Определите массу груза, который надо положить на поршень, чтобы он остался в прежнем положении, если абсолютную температуру газа увеличат в  $\alpha = 2,0$  раза. Атмосферное давление  $p_0 = 100$  кПа. Площадь поперечного сечения поршня  $S = 10$  см<sup>2</sup>.
108. Под поршнем в вертикальном цилиндре, площадь основания которого  $S = 80$  см<sup>2</sup>, находится газ при температуре  $T = 280$  К под давлением  $p = 100$  кПа. На поршень положили гирю массой  $m = 20$  кг, и поршень опустился. На сколько следует нагреть газ в цилиндре, чтобы поршень вернулся в первоначальное положение? Массой поршня и трением пренебречь.
109. Сосуд разделен тонкой перегородкой на две части. В одной части сосуда находится гелий, давление которого  $p_1 = 2,0 \cdot 10^5$  Па, а число молекул  $N_1 = 4,0 \cdot 10^{20}$ . В другой части сосуда содержится аргон, давление которого  $p_2 = 5,0 \cdot 10^5$  Па, а число молекул  $N_2 = 5,0 \cdot 10^{20}$ . Температура газов одинаковая. Определите, какое давление установится в сосуде, если убрать перегородку. Температура останется прежней.
110. Для приготовления газовой смеси гелия и аргона, применяемой для сварки алюминия, соединили два сосуда короткой трубкой с краном. При закрытом кране в первом сосуде находился гелий, количество вещества которого  $\nu_1 = 0,050$  моль, под давлением  $p_1 = 2,0 \cdot 10^5$  Па, во втором сосуде находился аргон, количество вещества которого  $\nu_2 = 0,15$  моль, под давлением  $p_2 = 4,0 \cdot 10^5$  Па. Температура газов одинаковая. Определите, какое давление установится в сосудах, если откроют кран. Температура газов останется прежней.

## 4. Уравнение состояния идеального газа

Уравнение	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона)	$\frac{pV}{T} = \text{const}$	$p$ — давление газа; $V$ — объем газа; $T$ — температура газа
Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона — Менделеева)	$pV = \frac{m}{M}RT$	$p$ — давление газа; $V$ — объем газа; $T$ — температура газа; $m$ — масса газа; $M$ — молярная масса газа;  $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ — универсальная газовая постоянная

111. Определите объем кислорода массой  $m = 60$  г, находящегося в баллоне при температуре  $t = 47$  °С и давлении  $p = 277$  кПа.
112. Ацетилен массой  $m = 200$  г находится в баллоне объемом  $V = 40$  л при температуре  $t = 27$  °С. Определите давление этого газа. Молярная масса ацетилена  $M = 26 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ .
113. Идеальный газ в количестве  $\nu = 8,1$  моль находится в сосуде при температуре  $t = 27$  °С и давлении  $p = 120$  кПа. Определите объем сосуда.
114. Определите массу кислорода, находящегося в сосуде объемом  $V = 1,0$  дм<sup>3</sup> при температуре  $t = 27$  °С и давлении  $p = 195$  кПа.
115. Кислород или гелий равной массы, находящиеся в одинаковых сосудах при равной температуре, создает большее давление?

116. Идеальный газ, масса которого  $m_1 = 7,0$  г, находится в баллоне при температуре  $T_1 = 300$  К и давлении  $p_1 = 50$  кПа. Определите молярную массу этого газа, если известно, что водород массой  $m_2 = 4,0$  г, находясь при температуре  $T_2 = 330$  К в таком же баллоне, создает давление  $p_2 = 440$  кПа.
117. Из баллона, заполненного идеальным газом, выпустили половину газа, а абсолютную температуру газа, оставшегося в баллоне, уменьшили в  $\alpha = 2$  раза. Во сколько раз изменилось давление газа в баллоне?
118. В баллоне находится кислород, давление которого  $p = 200$  кПа, а температура  $t = 15$  °С. Определите плотность кислорода.
119. Определите плотность воздуха, находящегося в сосуде при давлении  $p = 3,8 \cdot 10^4$  Па и температуре  $t = 47$  °С, если при нормальных условиях ( $t_0 = 0$  °С,  $p_0 = 1,0 \cdot 10^5$  Па) плотность такой же массы воздуха  $\rho_0 = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .
120. Плотность идеального газа при температуре  $t_1 = 10$  °С и давлении  $p_1 = 2,0 \cdot 10^5$  Па составляет  $\rho_1 = 3,7 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Определите массу этого газа, если при температуре  $t_2 = 280$  °С и давлении  $p_2 = 3,2 \cdot 10^5$  Па он занимает объем  $V_2 = 25$  дм<sup>3</sup>.
121. В эластичной резиновой оболочке находится воздух объемом  $V_1 = 2,0$  л при температуре  $t_1 = 20$  °С и давлении  $p_1 = 1 \cdot 10^5$  Па. Определите объем воздуха в оболочке, если она будет погружена в воду на глубину  $h = 10$  м, где температура воды  $t_2 = 4$  °С. Атмосферное давление  $p_0 = 1 \cdot 10^5$  Па. Силой упругости резиновой оболочки пренебречь.
122. Абсолютная температура воздуха в мяче, лежащем на солнечном свету, возросла на  $\alpha = 47,6$  %, а его объем увеличился на  $\beta = 2,5$  %. На сколько процентов при этом повысилось давление воздуха в мяче?

123. В дизельном двигателе в начале такта сжатия температура воздуха  $t_1 = 27^\circ\text{C}$ , а давление  $p_1 = 100$  кПа. К концу такта сжатия объем воздуха уменьшился в  $\alpha = 15$  раз, а давление возросло до  $p_2 = 4,0$  МПа. Определите абсолютную температуру воздуха в двигателе в конце такта сжатия.
124. Компрессор захватывает при каждом качании воздух объемом  $V_0 = 2,8$  дм<sup>3</sup> при нормальном атмосферном давлении  $p_0 = 1 \cdot 10^5$  Па и температуре  $T_0 = 280$  К и нагнетает его в резервуар объемом  $V = 1$  м<sup>3</sup>. Температура воздуха в резервуаре поддерживается постоянно  $T = 300$  К. Сколько качаний должен сделать компрессор, чтобы давление в резервуаре стало  $p_2 = 0,3$  МПа, если вначале резервуар был пуст?
125. В цилиндрическом сосуде, закрытом поршнем, находится идеальный газ при температуре  $t_1 = 27^\circ\text{C}$  и давлении  $p_1 = 1 \cdot 10^5$  Па. С помощью поршня объем газа уменьшили вдвое, а абсолютную температуру газа повысили вдвое. Определите конечное давление газа в сосуде.
126. В вертикальном цилиндре, площадь основания которого  $S = 100$  см<sup>2</sup>, находится воздух при температуре  $t_1 = 27^\circ\text{C}$ . На высоте  $h = 60$  см от основания цилиндра находится гладкий подвижный поршень массой  $m_0 = 10$  кг. На сколько опустится поршень, если на него положить груз массой  $m = 10$  кг, а воздух в цилиндре охладить до  $t_2 = 10^\circ\text{C}$ ? Атмосферное давление  $p_0 = 100$  кПа.
127. Вертикальный цилиндрический сосуд с гелием, закрытый сверху легкоподвижным поршнем массой  $m_1 = 12$  кг, находится в воздухе, давление которого  $p_0 = 1 \cdot 10^5$  Па. Масса гелия  $m_2 = 8$  г. При охлаждении гелия на  $|\Delta T| = 6$  К его объем уменьшился на  $|\Delta V| = 830$  см<sup>3</sup>. Определите площадь поперечного сечения поршня.
128. Внутри герметично закрытого с обоих концов горизонтального цилиндра находится гладкий поршень, плот-

но прилегающий к стенкам цилиндра. С одной стороны поршня содержится азот объемом  $V_1 = 4,0$  л, а с другой — гелий объемом  $V_2 = 8,0$  л. Температура газов одинакова. Определите массу азота, если масса гелия  $m_2 = 12$  г.

129. Горизонтально расположенный закрытый цилиндрический сосуд с гладкими стенками разделен тонким подвижным теплопроводящим поршнем на две части, в которых находятся идеальные газы равной массы: в одной части содержится гелий, в другой — азот. Определите длину части сосуда, занимаемую гелием, если длина всего сосуда  $L = 32$  см.
130. Горизонтально расположенный сосуд, закрытый с обоих концов, разделен на две части легкоподвижной теплоизолирующей перегородкой. В одной части сосуда объемом  $V_1$  содержится идеальный газ, количество вещества которого  $\nu_1$ , при абсолютной температуре  $T_1$ . Какое количество вещества содержится в другой части сосуда объемом  $V_2$  при абсолютной температуре  $T_2$ ?

131. Стеклоцилиндрическая трубка, запаянная с одного конца, погружена вертикально открытым концом в широкий сосуд с ртутью (рис. 4). Уровень ртути в трубке расположен выше уровня ртути в сосуде на  $\Delta h = 10$  см. В трубке над ртутью находится воздух, длина столба которого  $h = 50$  см, при температуре  $T_1 = 270$  К. Определите атмосферное давление, если

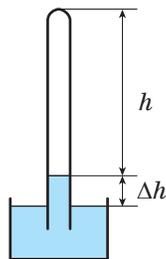


Рис. 4

- при нагревании воздуха в трубке до температуры  $T_2 = 375$  К уровни ртути в трубке и в сосуде сравнялись.
132. Стеклоцилиндрическая трубка, запаянная с одного конца, погружена вертикально открытым концом в широкий сосуд с ртутью. Уровень ртути в трубке находится ниже уровня ртути в сосуде на  $\Delta h = 10$  см.

В трубке над ртутью содержится идеальный газ при температуре  $t_1 = 82^\circ\text{C}$ . Длина трубки, находящейся в воздухе,  $l = 1,0$  м. До какой температуры необходимо охладить газ в трубке, чтобы уровни ртути в трубке и в сосуде сравнялись? Атмосферное давление  $p_0 = 100$  кПа.

- 133.** В горизонтально расположенной цилиндрической трубке, запаянной с одного конца, находится идеальный газ, запертый столбиком ртути. Абсолютная температура газа в трубке  $T = 310$  К. Длина столбика ртути  $l = 10$  см. Атмосферное давление  $p_0 = 1,0 \cdot 10^5$  Па. Трубку разгоняют с постоянным ускорением, модуль которого  $a = 9,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ , в направлении ее оси сначала в сторону запаянного конца, а затем в противоположную сторону. Во сколько раз различается объем газа в трубке при ее ускорениях, если температура газа понижается на  $|\Delta t| = 10^\circ\text{C}$  (в первом случае) и повышается на  $\Delta t = 10^\circ\text{C}$  (во втором случае)? Ртуть из трубки не выливается.
- 134.** Баллон содержит сжатый идеальный газ при температуре  $t_1 = 47^\circ\text{C}$  и давлении  $p_1 = 200$  кПа. Определите, каким станет давление газа в баллоне, когда из него выйдет  $\alpha = 68\%$  молекул газа, а температура понизится до  $t_2 = 17^\circ\text{C}$ .
- 135.** Сначала в цилиндре под поршнем находился водород объемом  $V = 10$  л при температуре  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  и давлении  $p = 4$  МПа. Затем часть газа израсходовали, объем оставшегося водорода уменьшили в  $\alpha = 2$  раза, а температуру повысили до  $t_2 = 17^\circ\text{C}$ . Определите массу израсходованного водорода, если конечное давление газа в цилиндре совпало с первоначальным.
- 136.** В баллоне находился идеальный газ массой  $m_1 = 3,00$  кг при температуре  $t_1 = 177^\circ\text{C}$ . После того как из баллона выпустили  $|\Delta m| = 0,75$  кг газа и уменьшили абсолютную температуру оставшегося газа, давление газа в баллоне

понижилось на  $\alpha = 40\%$ . Определите абсолютную температуру газа в конечном состоянии.

- 137.** В баллоне находился идеальный газ массой  $m_1 = 500$  г при температуре  $t_1 = 47^\circ\text{C}$ . После того как в баллон добавили еще такого же газа и увеличили абсолютную температуру газа в баллоне до  $T_2 = 400$  К, давление газа в баллоне повысилось на  $\alpha = 50\%$ . Определите массу газа, добавленного в баллон.
- 138.** В баллоне находился идеальный газ массой  $m_1 = 14$  г при температуре  $t_1 = 7^\circ\text{C}$ . После добавления в баллон такого же газа давление в баллоне повысилось до  $p_2 = 320$  кПа, а температура стала  $t_2 = 47^\circ\text{C}$ . Определите начальное давление идеального газа, если в конечном состоянии масса газа в баллоне стала  $m_2 = 56$  г.
- 139.** В баллоне вместимостью  $V = 50$  л при температуре  $T_1 = 280$  К находился кислород массой  $m_1 = 1,6$  кг. В баллон добавили  $\Delta m = 400$  г кислорода и увеличили его температуру до  $T_2 = 304$  К. Определите, на сколько увеличилось давление газа в баллоне.
- 140.** В баллоне находился гелий под давлением  $p_1 = 100$  кПа при температуре  $t_1 = 27^\circ\text{C}$ . Массу гелия в баллоне уменьшили в два раза, а оставшийся газ нагрели. Определите среднюю кинетическую энергию поступательного движения атомов гелия, оставшегося в баллоне, если конечное давление газа  $p_2 = 90$  кПа.
- 141.** В сосуде находился идеальный газ, давление которого  $p_1 = 2,0$  МПа и температура  $t_1 = 27^\circ\text{C}$ . Температуру газа увеличили на  $\Delta t = 30^\circ\text{C}$ , а массу газа в сосуде уменьшили в  $\alpha = 2,0$  раза. Определите давление газа, оставшегося в сосуде.
- 142.** После того как протопили печь в комнате, температура воздуха в ней поднялась от  $t_1 = 15^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 27^\circ\text{C}$ . На сколько процентов уменьшилось число молекул воздуха в этой комнате, если атмосферное давление в ней не изменилось?

143. В комнате объемом  $V = 60 \text{ м}^3$  температура воздуха летом достигает  $t_1 = 33 \text{ }^\circ\text{C}$ , а зимой опускается до  $t_2 = 13 \text{ }^\circ\text{C}$ . На сколько отличается масса воздуха, находящегося в комнате, зимой и летом, если атмосферное давление одинаковое —  $p_0 = 100 \text{ кПа}$ ? Молярная масса воздуха
- $$M = 0,029 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}.$$
144. В баллоне находился идеальный газ. Когда часть газа выпустили, абсолютная температура газа в баллоне уменьшилась в  $\alpha = 1,2$  раза, а давление — в  $\beta = 1,5$  раза. На сколько процентов изменилась масса газа в баллоне?
145. В сосуде объемом  $V = 10 \text{ л}$  находился гелий под давлением  $p_1 = 3,7 \cdot 10^5 \text{ Па}$  при температуре  $t_1 = 17 \text{ }^\circ\text{C}$ . В сосуд еще дополнительно закачали гелия, количество вещества которого  $\Delta\nu = 2,5 \text{ моль}$ , и нагрели газ в сосуде до температуры  $t_2 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определите конечное давление газа в сосуде.
146. В баллоне находился кислород, давление которого  $p_1 = 385 \text{ кПа}$ , а температура  $T_1 = 280 \text{ К}$ . Из баллона откачали  $|\Delta m| = 321 \text{ г}$  кислорода и повысили температуру оставшегося газа до  $T_2 = 309 \text{ К}$ . Определите первоначальную массу кислорода, если давление кислорода в баллоне уменьшилось до  $p_2 = 320 \text{ кПа}$ .
147. В закрытом сосуде объемом  $V = 345 \text{ см}^3$  образовалась маленькая трещина, через которую в него стал поступать воздух с постоянной скоростью  $N_\tau = 5,0 \cdot 10^{19} \frac{\text{молекул}}{\text{сут}}$ . Температура газа в сосуде поддерживается постоянно  $T = 300 \text{ К}$ . До какого давления заполнится сосуд через время  $\tau = 30 \text{ сут}$ , если вначале воздух в сосуде отсутствовал?
148. Аэростат наполнен гелием, температура которого  $t_1 = 17 \text{ }^\circ\text{C}$ , а плотность  $\rho = 166 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$ . На солнечном свете газ в аэро-

стате нагрелся до температуры  $t_2 = 33^\circ\text{C}$ . При этом излишек газа вышел через регулировочный клапан, в результате чего масса гелия внутри аэростата уменьшилась на  $|\Delta m| = 130$  г, а давление осталось прежним. Определите объем аэростата, считая его неизменным.

149. Шар, масса оболочки которого  $m = 35,1$  г, заполнен гелием под давлением  $p = 1,03 \cdot 10^5$  Па при температуре  $t = 27^\circ\text{C}$ . Шар прикреплен к поверхности земли легкой нитью. Модуль силы натяжения нити  $F = 330$  мН. Плотность атмосферного воздуха  $\rho = 1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Определите объем шара. Толщиной оболочки пренебречь.
150. Шар объемом  $V = 0,11$  м<sup>3</sup>, изготовленный из тонкой бумаги, наполнен горячим воздухом, имеющим температуру  $T_1 = 340$  К. Температура атмосферного воздуха  $T_2 = 290$  К. Давление воздуха внутри шара и атмосферное давление одинаковы:  $p_1 = p_0 = 1 \cdot 10^5$  Па. Определите массу бумажной оболочки шара, если он равномерно и медленно поднимается вверх. Молярная масса воздуха  $M = 29 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ .
151. Определите минимальную массу гелия, требующегося для наполнения шара объемом  $V$ , чтобы шар смог поднять груз массой  $m$  при нормальном атмосферном давлении  $p_0$  воздуха и абсолютной температуре  $T$ . Масса оболочки шара равна  $m_0$ . Объемом груза и толщиной стенок шара пренебречь. Молярная масса воздуха  $M$ .
152. По трубе площадью поперечного сечения  $S = 5$  см<sup>2</sup> перекачивают аргон при давлении  $p = 0,83$  МПа и температуре  $T = 300$  К. Определите модуль скорости движения газа в трубе, если за время  $\tau = 2,5$  мин по трубе протекает  $\nu = 100$  моль аргона.
153. На электроплитке мощностью  $P = 1,0$  кВт кипит вода в чайнике. Определите модуль средней скорости выхода

пара из носика чайника, площадь поперечного сечения которого  $S = 1,0 \text{ см}^2$ . Давление пара на выходе из чайника равно атмосферному давлению  $p_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Половина количества теплоты, выделяемой плиткой, передается воде. Температура кипения воды  $t_k = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

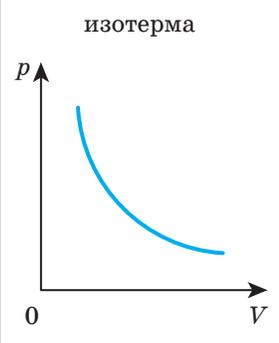
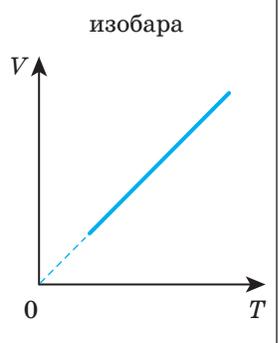
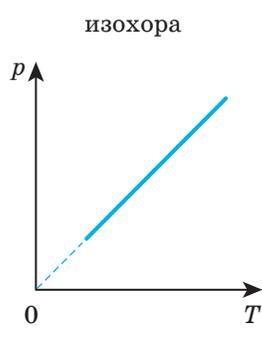
- 154.** Зависимость давления идеального газа от его объема имеет вид:  $p = \alpha V$ , где  $\alpha$  — постоянная величина. Во сколько раз увеличится объем газа при повышении его температуры от  $T_1 = 280 \text{ К}$  до  $T_2 = 630 \text{ К}$ ?
- 155.** Зависимость давления идеального газа от его объема имеет вид:  $p = \frac{\alpha}{V^2}$ , где  $\alpha$  — постоянная величина. Во сколько раз увеличится абсолютная температура идеального газа, если уменьшить его объем в  $\alpha = 1,6$  раза?
- 156.** Два баллона соединены между собой тонкой трубкой с краном. В одном баллоне находится газ массой  $m_1 = 2,0 \text{ г}$  под давлением  $p_1 = 0,40 \text{ МПа}$ , в другом — такой же газ массой  $m_2 = 4,0 \text{ г}$  под давлением  $p_2 = 0,20 \text{ МПа}$ . Какое давление установится в баллонах, если открыть кран? Температура газов одинаковая.
- 157.** На столе в горизонтальном положении лежит цилиндрический сосуд длиной  $l = 1,0 \text{ м}$ , запаянный с обоих концов. Внутри сосуда находится тонкая гладкая незакрепленная перегородка, делящая сосуд на две равные части, в каждой из которых содержится воздух при температуре  $t = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ . Воздух в одной части сосуда нагревают на  $\Delta t = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ , а в другой — на столько же охлаждают. Определите смещение перегородки.
- 158.** Внутри закрытого с обоих концов горизонтально расположенного цилиндра объемом  $V = 12 \text{ дм}^3$  находится тонкий подвижный гладкий поршень, делящий объем цилиндра на два равных отсека. Площадь поперечного сечения поршня равна  $S = 80 \text{ см}^2$ . В отсеках содержится одинаковый идеальный газ, абсолютные температу-

ры которого отличаются в  $\alpha = 2,0$  раза. Определите модуль перемещения поршня при выравнивании температур.

- 159.** Вертикально расположенный цилиндрический сосуд высотой  $H = 50$  см разделен подвижным гладким поршнем на две части, в каждой из которых содержится одинаковое количество идеального газа. Сосуд закрыт с обоих концов. Модуль веса поршня  $P = 100$  Н. Определите количество вещества газа, находящегося в каждой части цилиндра, если при температуре  $T = 289$  К поршень находится на высоте  $h = 20$  см от дна сосуда. Толщиной поршня пренебречь.
- 160.** Вертикально расположенный цилиндр, закрытый с обоих концов, делится на две части гладким подвижным поршнем. Число молекул идеального газа, находящегося под поршнем, в  $\alpha = 3$  раза больше, чем число молекул идеального газа, находящегося над поршнем. Молярные массы газов одинаковые. При температуре  $T_1 = 300$  К поршень делит цилиндр пополам. Во сколько раз объем газа, находящегося под поршнем, будет больше объема газа, находящегося над поршнем, при температуре  $T_2 = 800$  К?

## 5. Изопроцессы

Изопроцесс		
изотермический	изобарный	изохорный
$m = \text{const}, M = \text{const},$ $T = \text{const}$	$m = \text{const}, M = \text{const},$ $p = \text{const}$	$m = \text{const}, M = \text{const},$ $V = \text{const}$
$p = \frac{\text{const}}{V};$ $p_1 V_1 = p_2 V_2$	$V = \text{const} T;$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	$p = \text{const} T;$ $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

Изопроцесс		
изотермический	изобарный	изохорный
изотерма	изобара	изохора
		

- 161.** На рисунке 5 представлены графики перехода идеального газа определенной массы из состояния 1 в состояние 2 для двух изопроецессов. Изменялись ли при этих процессах температура, давление и объем газа? Изобразите данные процессы в координатах  $(p, T)$  и  $(V, T)$ .

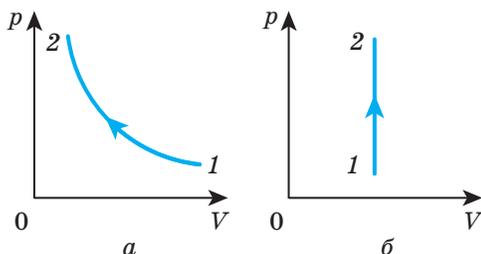


Рис. 5

- 162.** На рисунке 6 представлены графики перехода идеального газа, количество вещества которого постоянно, из состояния 1 в состояние 2 для двух изопроецессов. Изменялись ли при этих процессах температура, давление и объем газа? Изобразите данные процессы в координатах  $(p, T)$  и  $(p, V)$ .

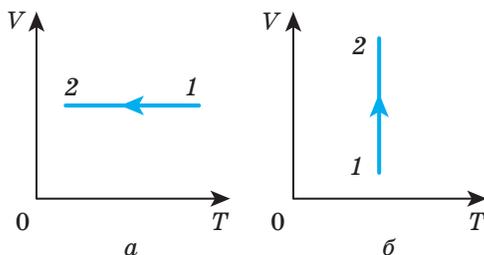


Рис. 6

163. На рисунке 7 представлены графики перехода идеального газа, количество вещества которого постоянно, из состояния 1 в состояние 2 для двух изопроцессов. Поясните, как изменялся объем газа в этих процессах. Изобразите данные процессы в координатах  $(p, V)$  и  $(V, T)$ .

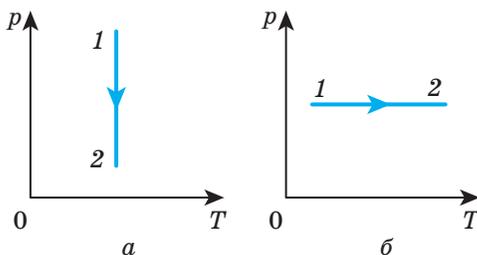


Рис. 7

164. На рисунке 8 представлено шесть процессов изменения состояния идеального газа определенной массы, образующих замкнутый цикл. Какой из процессов соответствует: а) изохорному охлаждению; б) изобарному сжатию; в) изотермическому расширению?

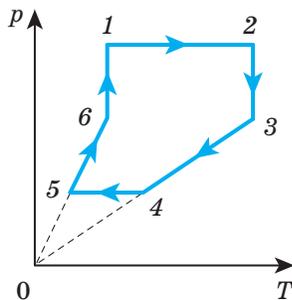


Рис. 8

165. На рисунке 9 представлено пять процессов изменения состояния идеального газа определенной массы, образующих замкнутый цикл. Какой из процессов соответствует:

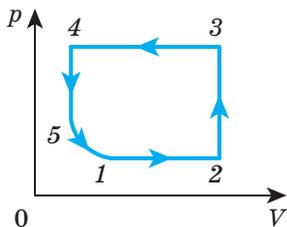


Рис. 9

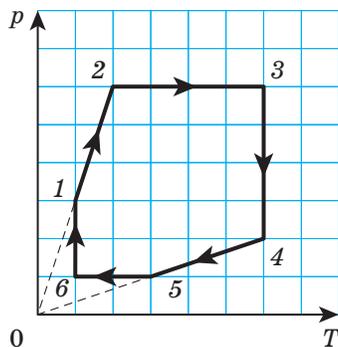


Рис. 10

а) изохорному нагреванию; б) изотермическому расширению; в) изобарному охлаждению?

**166.** На рисунке 10 представлен циклический процесс изменения состояния идеального газа определенной массы. Укажите, на каких процессах: а) средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа увеличивалась; б) концентрация газа уменьшалась; в) плотность газа увеличивалась.

**167.** На рисунке 11 представлено пять процессов изменения состояния идеального газа определенной массы, образующих замкнутый цикл. Укажите, на каких процессах: а) плотность газа уменьшалась; б) концентрация газа не изменялась; в) средняя квадратичная скорость движения молекул газа уменьшалась.

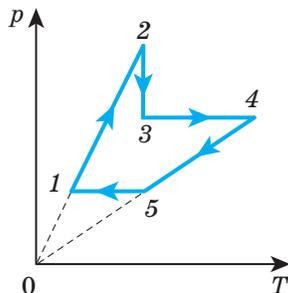


Рис. 11

**168.** На рисунке 12 представлены графики изменения состояния идеального газа в координатах  $(p, V)$ , где участок 2—3 — изотерма. Изобразите эти процессы в координатах  $(p, T)$  и  $(V, T)$ .

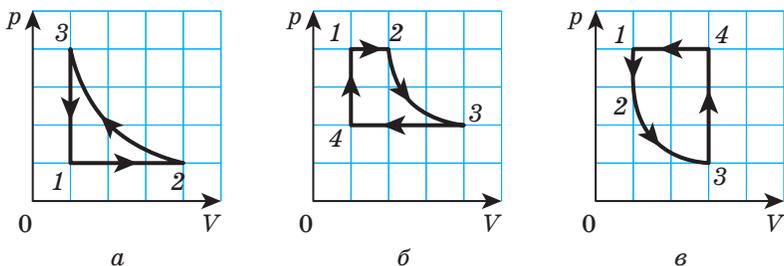


Рис. 12

169. На рисунке 13 приведены графики изменения состояния идеального газа в координатах  $(V, T)$ . Изобразите эти процессы в координатах  $(p, V)$  и  $(p, T)$ .

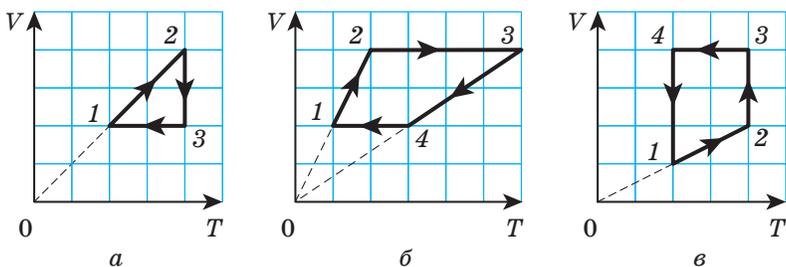


Рис. 13

170. На рисунке 14 приведены графики изменения состояния идеального газа в координатах  $(p, T)$ . Изобразите эти процессы в координатах  $(p, V)$  и  $(V, T)$ .

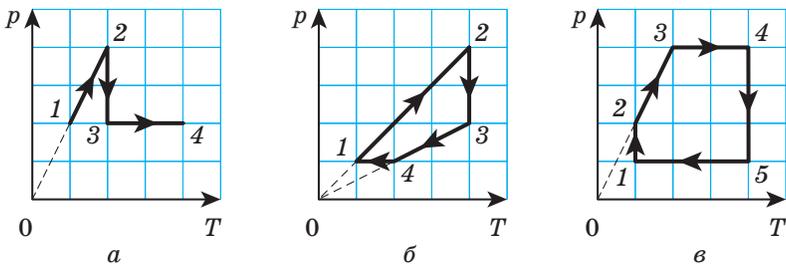


Рис. 14

171. На рисунке 15 представлен график зависимости давления идеального газа неизменной массы от его объема. Поясните, как изменялась температура газа при переходе из состояния 1 в состояние 2.
172. На рисунке 16 представлен график зависимости объема идеального газа неизменной массы от абсолютной температуры. Поясните, изменялось ли давление газа при переходе из состояния A в состояние C.
173. На рисунке 17 представлен график зависимости давления идеального газа неизменной массы от абсолютной температуры. Поясните, изменялся ли объем газа при переходе из состояния 1 в состояние 2.

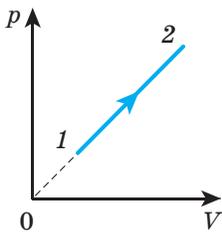


Рис. 15

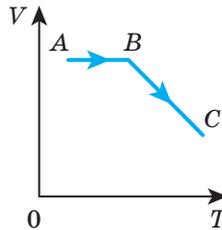


Рис. 16

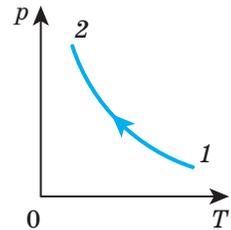


Рис. 17

174. На рисунке 18 показаны две изохоры для одинакового идеального газа равной массы. Определите отношение объемов газов, если углы наклона изохор к оси температуры  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .

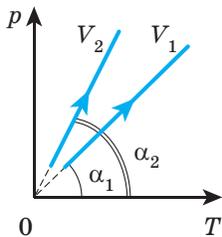


Рис. 18

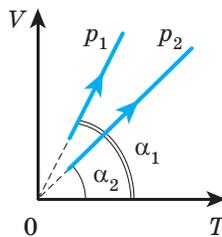


Рис. 19

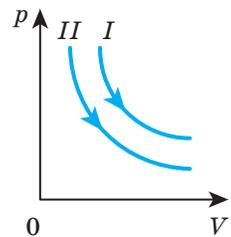


Рис. 20

175. На рисунке 19 показаны две изобары для одинакового идеального газа равной массы. Определите отношение давления газов, если углы наклона изобар к оси температуры  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .
176. На рисунке 20 изображены две изотермы для двух порций идеальных газов равной массы. Отличаются ли температуры газов, если газы одинаковы? Отличаются ли молярные массы газов, если температуры газов одинаковы?
177. Провели два изотермических процесса: с гелием и неон. Массы и температуры газов были одинаковыми. Постройте графики зависимости давления газов от объема.
178. На рисунке 21 представлены графики зависимости давления идеального газа от абсолютной температуры при изохорном нагревании двух газов — кислорода и озона. Плотности газов одинаковы. Какой график соответствует кислороду?
179. На рисунке 22 представлен замкнутый процесс, проведенный с идеальным газом постоянной массы. Поясните, как изменялось давление газа.

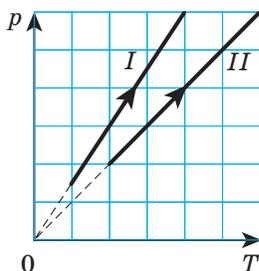


Рис. 21

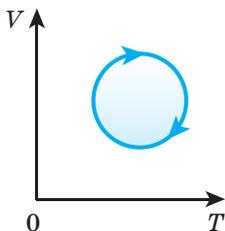


Рис. 22

180. В сосуде неизменного объема дважды провели нагревание идеального газа массой  $m$  и массой  $2m$ . Постройте графики зависимости давления газа от абсолютной температуры.

- 181.** Постройте графики зависимости плотности идеального газа постоянной массы от абсолютной температуры при изобарном и изохорном процессах.
- 182.** Идеальный газ неизменной массы переводят из состояния 1 в состояние 3 (рис. 23). Определите давление газа в состояниях 2 и 3, если в состоянии 1 давление газа  $p_1 = 20$  кПа.
- 183.** Идеальный газ неизменной массы переводят из состояния 1 в состояние 3 (рис. 24). Определите абсолютную температуру газа в состояниях 1 и 3, если в состоянии 2 абсолютная температура  $T_2 = 300$  К.

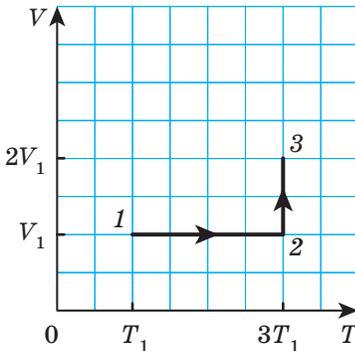


Рис. 23

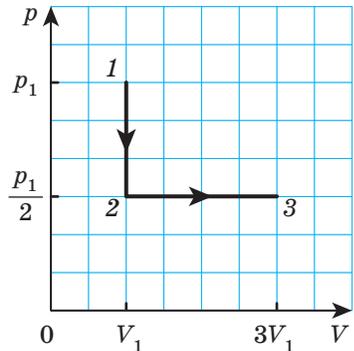


Рис. 24

- 184.** На рисунке 25 представлен график зависимости давления идеального газа определенной массы от абсолютной температуры. В состоянии 1 объем газа  $V_1 = 30$  см<sup>3</sup>. Определите объем газа в состояниях 2 и 3.
- 185.** На рисунке 26 представлен график зависимости объема идеального газа определенной массы от абсолютной температуры. В состоянии 1 давление газа  $p_1 = 60$  кПа. Определите давление газа в состояниях 2 и 3.
- 186.** Постройте график зависимости давления идеального газа определенной массы от абсолютной температуры при постоянном объеме. Начальная температура газа

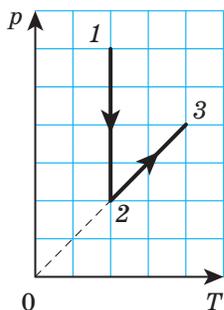


Рис. 25

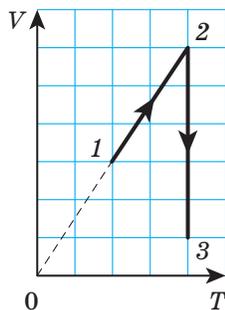


Рис. 26

$t_1 = -23^\circ\text{C}$ . А его давление в начальном и конечном состояниях  $p_1 = 80$  кПа и  $p_2 = 160$  кПа соответственно.

187. Постройте график зависимости давления углекислого газа  $\text{CO}_2$  от абсолютной температуры при изохорном процессе. Объем газа  $V = 27,7$  дм<sup>3</sup>. Начальная и конечная температура газа  $T_1 = 300$  К и  $T_2 = 600$  К соответственно. Масса газа  $m = 44$  г.
188. График процессов изменения состояния идеального газа определенной массы в координатах  $(p, V)$  представляет собой треугольник  $ABC$ . Координаты вершин треугольника:  $A(120$  кПа;  $12$  л),  $B(120$  кПа;  $24$  л),  $C(60$  кПа;  $12$  л). Определите отношение максимальной к минимальной абсолютной температуре, которой достигал газ в этих процессах.
189. Идеальный газ определенной массы изотермически расширился от объема  $V_1 = 60,0$  дм<sup>3</sup> до объема  $V_2 = 76,0$  дм<sup>3</sup>. Определите конечное давление газа, если его начальное давление  $p_1 = 133$  кПа.
190. Объем идеального газа, находящегося в эластичной оболочке, изотермически уменьшили от  $V_1 = 1,8$  л до  $V_2 = 1,5$  л. Во сколько раз увеличилось давление газа?
191. Идеальный газ, находящийся в цилиндре под поршнем, изотермически сжали, уменьшив его объем от  $V_1 = 0,16$  м<sup>3</sup>

до  $V_2 = 0,10 \text{ м}^3$ . При этом давление газа увеличилось на  $\Delta p = 45 \text{ кПа}$ . Определите начальное давление газа в цилиндре.

- 192.** Объем идеального газа изотермически увеличился на  $\Delta V = 14 \text{ см}^3$ . При этом давление газа понизилось от  $p_1 = 150 \text{ кПа}$  до  $p_2 = 125 \text{ кПа}$ . Определите начальный объем газа.
- 193.** Сосуд объемом  $V_1 = 10 \text{ л}$ , заполненный идеальным газом при давлении  $p_1 = 169 \text{ кПа}$ , соединяют с пустым сосудом объемом  $V_2 = 16 \text{ л}$ . Определите установившееся давление газа в сосудах, если его температура не изменилась.
- 194.** Шар вместимостью  $V = 190 \text{ см}^3$  наполнен воздухом, давление которого  $p = 600 \text{ мм рт. ст.}$  Шар частично погружают в сосуд с водой и в нижней части шара прокалывают маленькое отверстие. Определите массу воды, которая войдет в шар. Атмосферное давление  $p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$  Температура воздуха остается постоянной. Уровни воды в шаре и сосуде совпадают.
- 195.** Пузырек воздуха поднимается со дна водоема. Какова глубина водоема, если радиус пузырька у поверхности воды в  $\alpha = 2,0$  раза больше, чем на дне? Атмосферное давление  $p_0 = 100 \text{ кПа}$ . Температура воздуха в пузырьке остается постоянной.
- 196.** Небольшой пузырек воздуха медленно поднимается в водоеме с глубины  $h_1$ , где на него действовала сила Архимеда, модуль которой  $F_{A1} = 3,9 \text{ мН}$ . На глубине  $h_2 = 2,0 \text{ м}$  на пузырек действует сила Архимеда, модуль которой  $F_{A2} = 5,2 \text{ мН}$ . Атмосферное давление  $p_0 = 100 \text{ кПа}$ . Определите глубину  $h_1$ , если изменением температуры воздуха в пузырьке пренебречь.
- 197.** Мальчик пьет лимонад из стеклянной бутылки, плотно прижав ее горлышко к губам. Емкость бутылки  $V = 0,50 \text{ л}$ . Вначале в бутылке находилось  $V_1 = 0,23 \text{ л}$  лимонада. Определите объем лимонада, выпитого мальчиком, если

давление воздуха в бутылке понизилось на  $|\Delta p| = 10$  кПа. Атмосферное давление  $p_0 = 1,0 \cdot 10^5$  Па. Температура воздуха в бутылке не изменяется.

- 198.** Газ, находящийся в цилиндре под легким гладким поршнем, сначала занимал объем  $V_1 = 240$  см<sup>3</sup> при давлении  $p_1 = 100$  кПа. Затем газ изотермически сжали, сместив поршень на  $\Delta r = 20$  мм. Определите модуль силы, которую прилагают, действуя перпендикулярно поршню, чтобы удерживать его в новом положении. Площадь поршня  $S = 24$  см<sup>2</sup>.
- 199.** В горизонтальной цилиндрической трубке радиусом  $r = 1,0$  см, закрытой с одного конца пробкой, а с другого — поршнем, находится воздух под давлением  $p_1 = 100$  кПа. Расстояние между пробкой и поршнем  $l = 25$  см. Поршень начали медленно вдвигать в трубку. Когда его передвинули на расстояние  $\Delta l = 8,1$  см, пробка вылетела. Определите модуль максимальной силы трения покоя, действующей на пробку, если атмосферное давление  $p_0 = 100$  кПа.
- 200.** В вертикальном цилиндрическом сосуде под гладким поршнем находится идеальный газ. Чтобы уменьшить объем газа в  $\alpha = 2$  раза, на поршень надо положить груз массой  $m_1 = 1$  кг. Груз какой массы надо дополнительно положить на поршень, чтобы уменьшить объем газа еще в  $\beta = 3$  раза? Температура газа поддерживается постоянной.
- 201.** Горизонтальный цилиндр, закрытый с обоих концов, разделен гладким подвижным поршнем массой  $m$  и площадью поперечного сечения  $S$  на две равные части, в которых находится идеальный газ, создающий давление  $p_0$ . Определите модуль ускорения, с которым вдоль своей оси должен двигаться цилиндр, чтобы отношение объемов газа стало  $\alpha = 2$ . Температура газа не изменяется.

202. Цилиндр разделен на два равных отсека закрепленной перегородкой с отверстием, закрытым пробкой (рис. 27). В обоих отсеках содержится одинаковый идеальный газ

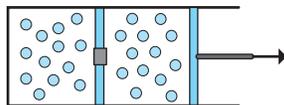


Рис. 27

- под давлением  $p$ . Пробка вылетает, когда перепад давлений в отсеках равен  $\Delta p$ . Поршень медленно вытягивают из цилиндра и прекращают его движение, когда пробка вылетает из отверстия. Определите конечное установившееся давление газа в цилиндре. Температура газа постоянна.
203. Закрытый горизонтальный цилиндрический сосуд длиной  $l$  разделен на две равные части невесомым тонким гладким поршнем. При застопоренном поршне обе половины сосуда заполнены идеальным газом, причем в одной из них давление газа в  $\alpha$  раз больше, чем в другой. Стопор отпускают. И поршень смещается, занимая положение устойчивого равновесия. Определите смещение поршня. Температуру газа считать неизменной.
204. В закрытом горизонтальном цилиндрическом сосуде закреплен невесомый гладкий поршень, делящий сосуд на два отсека. Давление и объем идеального газа в отсеках равны  $p_1$ ,  $V_1$  и  $p_2$ ,  $V_2$  соответственно. Определите установившееся давление газа в отсеках после освобождения поршня. Температуру газа считать постоянной.
205. Компрессор засасывает из атмосферы воздух и подает его в баллон объемом  $V = 120$  л со скоростью  $V_{\tau} = 4,0 \frac{\text{л}}{\text{с}}$ . Определите, через какое время давление воздуха в баллоне станет в  $\alpha = 9,0$  раза больше атмосферного. Начальным давлением воздуха в баллоне пренебречь. Температура воздуха постоянна.
206. Камеру футбольного мяча вместимостью  $V = 4,0$  л накачивают поршневым насосом до давления  $p = 150$  кПа.

Сколько ходов потребуется сделать поршню насоса, если при каждом ходе он засасывает  $V_0 = 200 \text{ см}^3$  воздуха? Атмосферное давление  $p_0 = 100 \text{ кПа}$ . Первоначально камера мяча была пустой. Изменением температуры воздуха пренебречь.

- 207.** Чтобы уменьшить давление воздуха в сосуде объемом  $V = 4,0 \text{ л}$ , насосом было проведено  $n = 4$  качания. Определите конечное давление воздуха в сосуде, если начальное давление в нем  $p_0 = 100 \text{ кПа}$ . Объем цилиндра насоса  $V_0 = 1,0 \text{ л}$ . Температуру воздуха считать постоянной.
- 208.** В вертикальном цилиндрическом сосуде площадью поперечного сечения  $S$  под невесомым гладким поршнем находятся воздух и резиновый шарик объемом  $V$ . В шарике содержится воздух, давление которого равно  $p$ . На сколько сместится поршень, если шарик лопнет? Атмосферное давление равно  $p_0$ , причем  $p_0 < p$ . Температура воздуха в сосуде неизменна.
- 209.** Для определения объема твердого вещества сыпучих материалов применяют закон Бойля — Мариотта. Для этого сыпучий материал засыпают в цилиндр, герметически закрывают его и измеряют давление воздуха внутри цилиндра при двух положениях поршня. Получите формулу для определения объема твердого вещества сыпучего материала, если при объеме  $V_1$  и  $V_2$  содержимого цилиндра давление воздуха в нем  $p_1$  и  $p_2$  ( $p_2 > p_1$ ) соответственно. Температуру воздуха считать постоянной.
- 210.** Стеклообразная вертикальная трубка была наполовину погружена в ртуть. Верхнее отверстие трубки закрывают и вынимают ее из ртути. При этом часть ртути выливается. Длина столбика ртути, оставшейся в трубке,  $l_1 = 25 \text{ см}$ . Атмосферное давление  $p_0 = 102 \text{ кПа}$ . Определите длину трубки, если температура воздуха в ней остается постоянной.

211. Трубка, запаянная с одного конца, расположена вертикально открытым концом вверх и частично заполнена ртутью массой  $m = 800$  г. Между запаянным концом трубки и ртутью находится столбик воздуха. Когда трубку повернули и расположили ее горизонтально, объем столбика воздуха увеличился на  $\eta = 1,6\%$ . Определите атмосферное давление, если площадь поперечного сечения трубки  $S = 50$  см<sup>2</sup>. Температуру воздуха считать постоянной.
212. Для измерения атмосферного давления геологи использовали тонкую трубку длиной  $l = 800$  мм. Они погрузили трубку вертикально в воду на глубину  $h = 416$  мм и, закрыв пальцем верхнее отверстие трубки, вытащили ее из воды. При этом в трубке остался столб воды, заполняющий половину трубки. Выполнив расчеты, геологи определили атмосферное давление. Какое значение атмосферного давления они получили, если считать температуру воздуха в трубке постоянной?
213. Для экспериментального определения атмосферного давления использовали стеклянную трубку длиной  $l = 58$  см, запаянную с одного конца. Открытым концом трубки, расположенной вертикально, коснулись поверхности воды и стали медленно опускать трубку вниз. Когда верхний конец трубки сравнялся с поверхностью воды, длина столбика воды, вошедшей в трубку, оказалась  $l_0 = 3,0$  см. Какое значение атмосферного давления было получено по результатам эксперимента? Модуль ускорения свободного падения  $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .
214. Вертикальную трубку длиной  $l = 76$  см, запаянную с одного конца, медленно погружают открытым концом в сосуд с ртутью. На каком расстоянии от поверхности ртути в сосуде должен находиться запаянный конец трубки, чтобы уровень ртути в ней был ниже уровня ртути в сосуде на  $\Delta h = 7,6$  см? Атмосферное давление  $p_0 = 100$  кПа.

- 215.** Вертикальную трубку, запаянную с одного конца, медленно погружали открытым концом в ртуть до тех пор, пока ее верхний конец не сравнялся с уровнем ртути в сосуде. Определите длину трубки, если длина столба воздуха в трубке, погруженной в ртуть,  $l = 30$  см. Атмосферное давление  $p_0 = 102$  кПа.
- 216.** В запаянной с одного конца стеклянной вертикально расположенной трубке находится столбик воздуха, запертый столбиком ртути высотой  $h_1 = 20$  см, доходящей до верхнего края трубки. Трубку медленно переворачивают вверх дном, при этом часть ртути выливается, и в трубке остается столбик ртути высотой  $h_2 = 3,5$  см. Определите длину трубки, если атмосферное давление  $p_0 = 100$  кПа.
- 217.** Посередине частично откачанной и запаянной с обоих концов горизонтальной трубки длиной  $L = 100$  см находился столбик ртути длиной  $l = 20$  см. Когда трубку поставили вертикально, столбик ртути переместился вниз на  $\Delta l = 10$  см. Определите первоначальное давление воздуха в трубке, если его температура была постоянной.
- 218.** В узкой стеклянной трубке, запаянной с одного конца и расположенной горизонтально, находится столбик воздуха длиной  $l = 30$  см, запертый столбиком ртути длиной  $l_0 = 20$  см. Атмосферное давление  $p_0 = 100$  кПа. Определите, какой будет длина воздушного столбика, если трубку поставить вертикально: а) отверстием вверх; б) отверстием вниз (ртуть при этом из трубки не выливается).
- 219.** В длинной горизонтальной трубке, открытой с одного конца, столбик воздуха длиной  $l_0 = 16$  см заперт столбиком ртути длиной  $h = 20$  см. Трубку приводят во вращение вокруг вертикальной оси, проходящей через ее закрытый конец. Определите угловую скорость вращения, при которой столбик ртути сместится на  $\Delta l = 4$  см. Атмосферное давление  $p_0 = 102$  кПа.

220. Тонкий стакан массой  $m = 50$  г переворачивают вверх дном и медленно погружают в озеро, не допуская выхода воздуха из стакана. Высота стакана  $h = 10$  см. Площадь дна стакана  $S = 20$  см<sup>2</sup>. Определите минимальную глубину, на которую надо опустить стакан в воду, чтобы он утонул. Атмосферное давление  $p_0 = 100$  кПа. Глубину считать от поверхности воды в озере до уровня воды в стакане. Температура воздуха в стакане не изменяется.
221. Идеальный газ определенной массы изобарно нагревают от температуры  $t_1 = 7$  °С до температуры  $t_2 = 77$  °С. Определите конечный объем газа, если его начальный объем  $V_1 = 0,48$  м<sup>3</sup>.
222. При изобарном нагревании идеального газа определенной массы температура газа увеличилась от  $t_1 = 27$  °С до  $t_2 = 627$  °С. Во сколько раз увеличился объем газа?
223. На сколько градусов надо нагреть идеальный газ неизменной массы, чтобы при изобарном расширении его объем увеличился на  $\alpha = 30$  %? Начальная температура газа  $t_1 = 17$  °С.
224. Идеальный газ, масса которого  $m = 60,0$  г, занимает объем  $V_1 = 12,0$  л при абсолютной температуре  $T_1 = 240$  К. Определите, до какой абсолютной температуры следует нагреть газ при постоянном давлении, чтобы его плотность стала  $\rho = 2,40 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .
225. Эластичный шар, наполненный воздухом, принесли с улицы, где температура воздуха  $t_1 = -13$  °С, в комнату, в которой температура воздуха  $t_2 = 26$  °С. На сколько процентов увеличится объем шара при изобарном нагревании в нем воздуха до комнатной температуры?
226. В цилиндре, закрытом гладким поршнем площадью  $S = 10$  см<sup>2</sup>, находился воздух при температуре  $t_1 = 27$  °С. После изобарного нагревания воздуха на  $\Delta T = 30$  К пор-

шень переместился на  $\Delta l = 50$  мм. Определите конечный объем этого воздуха.

- 227.** Температура воздуха в цилиндре, закрытом гладким поршнем,  $t_1 = 7$  °С. На сколько переместится поршень при изобарном нагревании воздуха на  $\Delta T = 20$  К, если до нагревания расстояние от дна цилиндра до поршня было  $h = 14$  см?
- 228.** Идеальный газ нагрели от температуры  $t_1 = 31$  °С до температуры  $t_2 = 47$  °С. На сколько процентов уменьшилась концентрация газа, если давление осталось неизменным?
- 229.** Воздух в стакане объемом  $V_1 = 0,35$  дм<sup>3</sup> нагрели до температуры  $t_1 = 77$  °С. Стакан перевернули вверх дном и нижней стороной коснулись поверхности холодной воды, налитой в кастрюлю. Вода стала подниматься в стакан. Когда температура воздуха в стакане опустилась до  $t_2 = 17$  °С, его опустили ниже на столько, чтобы уровень воды в стакане и кастрюле совпал. Определите массу воды, которая находилась в стакане при температуре  $t_2$ .
- 230.** В процессе изохорного охлаждения идеального газа постоянной массы его давление уменьшилось в  $\alpha = 1,2$  раза. Определите конечную температуру газа, если его начальная температура  $t_1 = 27$  °С.
- 231.** При нагревании идеального газа на  $\Delta T = 3$  К при постоянном объеме его давление увеличилось на  $\alpha = 1$  %. Определите начальную абсолютную температуру газа, если его количество вещества оставалось неизменным.
- 232.** Манометр, подключенный к баллону со сжатым газом, температура которого  $t_1 = 22$  °С, показывает давление  $p_1 = 5,9$  МПа. Определите, какое давление будет показывать манометр, если температура газа в баллоне понизится до температуры  $T_2 = 275$  К.

233. На сколько изменилось давление воздуха в шине автомобиля при повышении температуры на  $\Delta T = 30$  К, если при начальной температуре  $T_1 = 270$  К давление воздуха в шине было  $p_1 = 1,8 \cdot 10^5$  Па? Изменением объема шины пренебречь.
234. В вертикальном цилиндре под гладким тяжелым поршнем находится воздух при давлении  $p_1 = 200$  кПа и температуре  $t_1 = 27$  °С. Воздух в цилиндре нагрели до температуры  $t_2 = 50$  °С, и он расширился, подняв поршень вверх. Определите массу груза, который нужно положить на поршень, чтобы поршень вернулся в первоначальное положение. Площадь поршня  $S = 30$  см<sup>2</sup>.
235. Идеальный газ, абсолютная температура которого  $T_1 = 300$  К, изотермически расширился до объема  $V_2 = 2$  л. Затем давление газа было изохорно уменьшено в  $\alpha = 2$  раза. Далее газ изобарно расширился до объема  $V_4 = 4$  л. Определите абсолютную температуру газа в конечном состоянии.
236. Начальное состояние идеального газа определяется объемом  $V_0$ , абсолютной температурой  $T_0$  и давлением  $p_0$ . Газ подвергли сначала изобарному расширению до объема  $V_1$ , после чего нагрели при постоянном объеме до давления  $p_2$ . Определите температуру газа в конечном состоянии.
237. Воздух, находящийся в цилиндре под поршнем, сначала изотермически сжали, увеличив давление в  $\alpha = 2$  раза, а затем изобарно нагрели. В результате объем воздуха увеличился в  $\beta = 3$  раза по сравнению с начальным объемом газа. Определите конечную абсолютную температуру газа, если его начальная температура  $t_1 = 27$  °С.
238. Идеальный газ, находящийся при температуре  $t_1 = 127$  °С и давлении  $p_1 = 2 \cdot 10^5$  Па, первоначально занимал объем  $V_1 = 3$  л. Сначала газ изотермически сжали, затем изохорно охладили до температуры  $t_3 = -73$  °С и после

этого изотермически расширили до объема  $V_4 = 0,5$  л. Определите конечное давление газа.

- 239.** Два невесомых гладких поршня, соединенные нитью, вставлены в открытую с двух сторон горизонтально расположенную трубку площадью поперечного сечения  $S = 10$  см<sup>2</sup>. Давление воздуха между поршнями и снаружи одинаковое:  $p_1 = p_0 = 100$  кПа. Температура воздуха  $t_1 = 27$  °С. Определите минимальную абсолютную температуру, до которой нужно нагреть воздух между поршнями, чтобы нить, соединяющая поршни, порвалась. Нить выдерживает силу натяжения, модуль которой  $F = 30$  Н.
- 240.** На рисунке 28 представлен замкнутый цикл, проведенный с одним молем идеального газа. Температура газа в состояниях 1 и 3 соответственно равна  $T_1 = 100$  К и  $T_3 = 900$  К. Определите абсолютную температуру газа во втором состоянии, если состояния 2 и 4 лежат на одной изотерме.

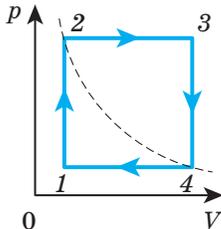


Рис. 28

## 6. Строение и свойства твердых тел и жидкостей

- 241.** В музее «Империя кристаллов» собраны только кристаллические вещества, как сформированные природой, так и созданные человеком. Какие из веществ — рубин, сапфир, янтарь, кварц, канифоль, жемчуг, алмаз — не находятся в этом музее?
- 242.** Поясните, почему кубик, вырезанный из монокристалла, при нагревании может изменить не только объем, но и форму.
- 243.** Является ли верным утверждение: а) если тело обладает анизотропией, то оно является кристаллическим; б) если тело обладает изотропией, то оно является аморфным?
- 244.** Почему в таблицах температуры плавления и удельной теплоты плавления не указывают данные для стекла?

245. Кристаллические тела подразделяют на четыре основных типа: атомные, молекулярные, ионные, металлические. К какому типу кристаллов относятся нафталин  $C_{10}H_8$ , уран, поваренная соль, кремний, негашеная известь  $CaO$ , вольфрам, лед, бор?
246. Из пластилина и спичек сделайте модель элементарной ячейки: а) полония; б) железа. Сколько атомов этих металлов приходится на одну элементарную ячейку?
247. Если резервуар термометра плотно обернуть кусочком бинта и смочить его ацетоном или спиртом, то через некоторое время показания термометра значительно уменьшатся. Поясните этот опыт.
248. Почему трудно снять с руки мокрую перчатку?
249. Почему полотно палатки сильно натягивается после дождя?
250. Почему мокрые руки плохо вытираются шерстяной или шелковой тканью?
251. Почему перед покраской поверхности покрывают грунтовкой?
252. Почему перед пайкой соединяемые поверхности подвергают тщательной очистке от окислов?
253. Какова форма капель воды, из которых состоит туман?
254. Почему в космическом корабле, находящемся в невесомости, вода, выплеснутая из стакана, принимает форму шара?
255. Из двух капельниц с одинаковыми диаметрами отверстий вытекают каплями равные массы воды и спирта при одинаковой комнатной температуре. Поясните, одинаковым ли будет число образовавшихся капель этих жидкостей.
256. По капиллярам (узким трубкам) жидкость может подниматься выше или опускаться ниже уровня такой же жидкости, находящейся в сосуде. Капиллярная стек-

лянная трубка вертикально опущена в сосуд с горячей водой. Изменится ли уровень воды в капилляре после ее охлаждения?

- 257.** Жидкие лекарства часто отмеряют каплями. Является ли это достаточно точной мерой?
- 258.** Почему влага дольше удерживается в почве, если ее верхний слой разрыхлить?
- 259.** На сыром грунте следы от шагов человека намокают. Почему?
- 260.** Если положить кусок мела на влажную губку, он намокнет, а если сухую губку положить на мокрый мел, она останется сухой. Почему?

## 7. Испарение и конденсация. Насыщенный пар. Влажность воздуха

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Абсолютная влажность	$\rho_{\text{п}} = \frac{p_{\text{п}} M}{RT}$	$\rho_{\text{п}}$ — абсолютная влажность; $p_{\text{п}}$ — парциальное давление; $M = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ — молярная масса воды; $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ — универсальная газовая постоянная; $T$ — температура воздуха
Относительная влажность	$\varphi = \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{н}}} \cdot 100\%$ <p style="text-align: center;">или</p> $\varphi = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{н}}} \cdot 100\%$	$\varphi$ — относительная влажность; $\rho_{\text{п}}$ — абсолютная влажность; $\rho_{\text{н}}$ — плотность насыщенного пара; $p_{\text{п}}$ — парциальное давление; $p_{\text{н}}$ — давление насыщенного пара

261. В цилиндре под поршнем находится только насыщенный пар ацетона. Поясните, будет ли изменяться давление пара, если его изотермически: а) сжимать; б) расширять.
262. В сосуде находятся ртуть в жидком состоянии и ее насыщенный пар. Поясните, будет ли изменяться давление ртутного пара, если содержимое сосуда: а) нагревать; б) охлаждать. Изменением объема сосуда пренебречь.
263. Закрытый сосуд частично заполнен водой. Изменится ли концентрация молекул водяного пара в сосуде при нагревании воды?
264. Как уменьшить относительную влажность воздуха в книгохранилище?
265. На улице моросит холодный дождь. Как изменится относительная влажность воздуха в теплой комнате, если открыть окно для проветривания? Изменением температуры воздуха в комнате пренебречь.
266. Являлся ли водяной пар насыщенным, если: а) при температуре  $t = 14\text{ }^\circ\text{C}$  давление водяного пара  $p = 1,0\text{ кПа}$ ; б) при температуре  $t = 19\text{ }^\circ\text{C}$  плотность водяного пара  $\rho = 16,3\text{ }\frac{\text{г}}{\text{м}^3}$ ; в) при температуре  $t = 22\text{ }^\circ\text{C}$  в  $1,0\text{ м}^3$  содержится  $18\text{ г}$  воды?
267. Определите массу насыщенного водяного пара, находящегося в аквариуме объемом  $V = 2,0\text{ м}^3$  при температуре  $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$ .
268. В цилиндре, закрытом подвижным поршнем, находится  $m = 100\text{ мг}$  водяного пара при температуре  $t = 50\text{ }^\circ\text{C}$ . Пар начинают медленно сжимать при постоянной температуре, уменьшая его объем от  $V_1 = 2,0\text{ дм}^3$  до  $V_2 = 1,0\text{ дм}^3$ . При достижении объема  $V = 1,2\text{ дм}^3$  пар становится насыщенным. Определите давление пара при объеме  $V_1$  и  $V$ . Какая масса пара сконденсируется в процессе его сжатия от объема  $V_1$  до объема  $V_2$ ?

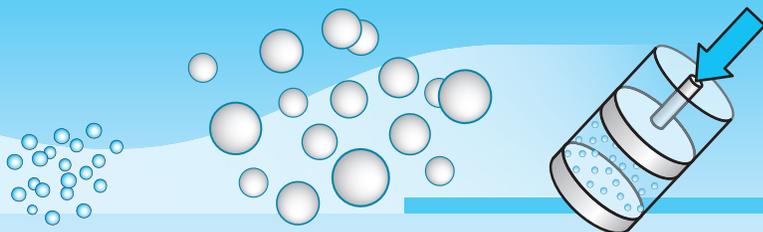
- 269.** В сосуде, вместимость которого можно изменять, находится водяной пар массой  $m = 500$  г, нагретый до температуры  $t = 80$  °С. Первоначальный объем пара  $V_0 = 2,0$  м<sup>3</sup>. До какого объема необходимо изотермически сжать пар, чтобы он начал конденсироваться? Каким станет давление пара, если его объем при постоянной температуре уменьшить до  $V = 1,0$  м<sup>3</sup>? Объемом сконденсировавшегося пара пренебречь.
- 270.** При температуре  $t = 19$  °С парциальное давление водяного пара, содержащегося в воздухе,  $p = 1,1$  кПа. Определите: а) относительную влажность воздуха; б) абсолютную влажность воздуха; в) точку росы.
- 271.** При температуре  $t_1 = 16$  °С относительная влажность воздуха в комнате  $\varphi_1 = 65$  %. Определите парциальное давление водяного пара и абсолютную влажность воздуха.
- 272.** В помещении объемом  $V = 72$  м<sup>3</sup> при температуре  $t = 20$  °С относительная влажность воздуха  $\varphi = 36$  %. Определите число молекул водяного пара, содержащегося в помещении.
- 273.** В комнате объемом  $V = 100$  м<sup>3</sup> при температуре  $t = 22$  °С относительная влажность воздуха  $\varphi_1 = 50$  %. Определите абсолютную влажность воздуха. Какой станет относительная влажность воздуха, если в комнате при той же температуре дополнительно испарить воду массой  $\Delta m = 0,43$  кг?
- 274.** До уборки в комнате объемом  $V = 90$  м<sup>3</sup> при температуре  $t = 20$  °С относительная влажность воздуха была  $\varphi_1 = 60$  %. Определите массу воды, испарившейся после влажной уборки комнаты, если относительная влажность воздуха при прежней температуре стала  $\varphi_2 = 75$  %.
- 275.** В зале объемом  $V = 600$  м<sup>3</sup> при температуре  $t_1 = 16$  °С относительная влажность воздуха  $\varphi_1 = 60$  %. После включения отопления температура воздуха повысилась до

- $t_2 = 20^\circ\text{C}$ . Определите массу воды, которую необходимо испарить, чтобы в зале сохранить относительную влажность воздуха прежней.
- 276.** В закрытой теплице объемом  $V = 33,2 \text{ м}^3$  относительная влажность в ночное время при температуре  $t_1 = 15^\circ\text{C}$  была  $\varphi_1 = 92\%$ . Определите минимальную массу воды, которую надо дополнительно испарить в теплице днем, когда температура повысится до  $t_2 = 27^\circ\text{C}$ , чтобы относительная влажность не упала ниже  $\varphi_2 = 75\%$ .
- 277.** Вечером при температуре  $t = 25^\circ\text{C}$  относительная влажность воздуха составляла  $\varphi = 80\%$ . Выпадет ли роса, если ночью температура понизится до  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ? Определите массу воды, которая выпадет в виде росы из воздуха объемом  $V = 1,0 \text{ м}^3$ , если температура ночью понизится до  $t_2 = 18^\circ\text{C}$ .
- 278.** При температуре  $t_1 = 30^\circ\text{C}$  относительная влажность воздуха в фургоне была  $\varphi_1 = 82\%$ . Определите, какой станет абсолютная влажность воздуха в фургоне, если температура понизится до  $t_2 = 15^\circ\text{C}$ .
- 279.** В баллоне объемом  $V = 5,0 \text{ л}$  находился воздух относительной влажностью  $\varphi_1 = 50\%$  при температуре  $t_1 = 27^\circ\text{C}$ . В баллон добавили воду, количество вещества которой  $\nu = 0,11 \text{ моль}$ , а температуру повысили до  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ . Определите установившуюся относительную влажность воздуха в баллоне.
- 280.** В одной комнате объемом  $V_1 = 20 \text{ м}^3$  относительная влажность воздуха  $\varphi_1 = 40\%$ , в другой комнате объемом  $V_2 = 30 \text{ м}^3$  относительная влажность воздуха  $\varphi_2 = 50\%$ . Определите, какая относительная влажность воздуха установится в комнатах, если открыть смежную дверь. Температура воздуха в комнатах одинаковая.
- 281.** Кондиционер забирает с улицы воздух при температуре  $t_1 = 10^\circ\text{C}$  и относительной влажности  $\varphi_1 = 80\%$  и

подает его в помещение объемом  $V = 5,0 \cdot 10^4 \text{ м}^3$  при температуре  $t_2 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$  и относительной влажности  $\varphi_2 = 60 \%$ . Определите, какую массу воды дополнительно испаряет кондиционер в подаваемый воздух.

- 282.** Воздух в комнате объемом  $V = 50 \text{ м}^3$  имеет температуру  $t = 27 \text{ }^\circ\text{C}$  и относительную влажность  $\varphi_1 = 30 \%$ . Сколько времени должен работать увлажнитель воздуха, распыляющий воду с производительностью  $\alpha = 2,0 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ , чтобы относительная влажность в комнате повысилась до  $\varphi_2 = 70 \%$ ?
- 283.** В ноябре после месяца затяжных дождей с мокрым снегом при температуре  $t_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  относительная влажность воздуха составляла  $\varphi_1 = 95 \%$ . В июле после месяца сухой погоды при температуре  $t_2 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  относительная влажность воздуха составляла  $\varphi_2 = 40 \%$ . Определите отношение абсолютной влажности воздуха в июле к абсолютной влажности воздуха в ноябре.
- 284.** В долине у реки ночью образовался туман. Сколько одинаковых ванн вместимостью  $V = 155 \text{ л}$  каждая можно было бы наполнить водой, которая выделилась при этом из воздуха на территории площадью  $S = 1,0 \text{ км}^2$  при высоте слоя тумана  $h = 50 \text{ м}$ ? Температура воздуха вечером была  $t_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  при относительной влажности  $\varphi_1 = 60 \%$ , а к утру понизилась до температуры  $t_2 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- 285.** В запаянной с одного конца горизонтальной трубке находится воздух, отделенный от атмосферы столбиком ртути длиной  $l_0 = 10 \text{ см}$ . Относительная влажность воздуха в трубке  $\varphi_1 = 50 \%$ . Определите, какой станет влажность воздуха в трубке, если трубку медленно повернуть и поставить вертикально открытым концом вверх. Атмосферное давление  $p_0 = 101 \text{ кПа}$ .

286. В комнате относительная влажность воздуха  $\varphi = 84\%$ . Какую температуру показывают сухой и влажный термометры психрометра, если разность их показаний: а)  $\Delta t = 1\text{ }^\circ\text{C}$ ; б)  $\Delta t = 2\text{ }^\circ\text{C}$ ?
287. При температуре воздуха  $t_1 = 9\text{ }^\circ\text{C}$  показания сухого и влажного термометров психрометра были одинаковыми. После того как включили отопление, температура воздуха в помещении повысилась до  $t_2 = 18\text{ }^\circ\text{C}$ . Считая парциальное давление водяных паров постоянным, определите: а) относительную влажность воздуха при температуре  $t_1$  и  $t_2$ ; б) показание влажного термометра при температуре  $t_2$ .
288. Влажный термометр психрометра, находящегося в комнате, показывает температуру  $t_{\text{в}} = 10\text{ }^\circ\text{C}$ , а сухой — температуру  $t_{\text{с}} = 14\text{ }^\circ\text{C}$ . Определите относительную влажность и парциальное давление водяного пара.
289. В цилиндре под подвижным поршнем находится влажный воздух при температуре  $t_0 = 20\text{ }^\circ\text{C}$  и давлении  $p_0 = 13\text{ кПа}$ . Относительная влажность воздуха  $\varphi_0 = 70\%$ . Каким станет давление воздуха в цилиндре, если его объем при той же температуре уменьшить в  $n = 10$  раз?
290. В сосуде при температуре  $t = 100\text{ }^\circ\text{C}$  находился влажный воздух под давлением  $p_0 = 100\text{ кПа}$ . После уменьшения объема воздуха в  $\alpha = 4,0$  раза при постоянной температуре давление увеличилось в  $\beta = 3,8$  раза. Определите относительную влажность воздуха в начальном состоянии. Объемом сконденсировавшейся воды пренебречь.



## II. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

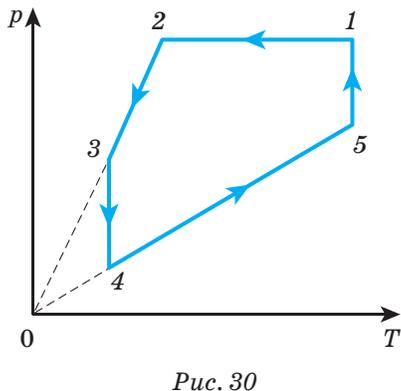
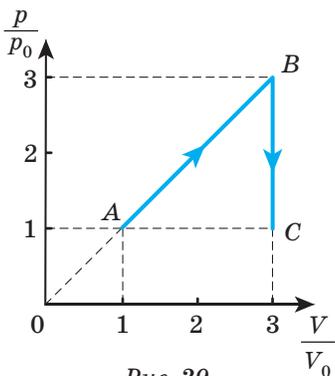
### 8. Внутренняя энергия идеального газа

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Внутренняя энергия идеального одноатомного газа	$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$ <p>или</p> $U = \frac{3}{2} pV$	<p><math>U</math> — внутренняя энергия идеального газа;</p> <p><math>m</math> — масса идеального газа;</p> <p><math>M</math> — молярная масса газа;</p> <p><math>T</math> — абсолютная температура идеального газа;</p> <p><math>R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}</math> — универсальная газовая постоянная;</p> <p><math>p</math> — давление идеального газа;</p> <p><math>V</math> — объем идеального газа</p>
Изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа	$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T$	<p><math>\Delta U</math> — изменение внутренней энергии идеального газа;</p> <p><math>m</math> — масса идеального газа;</p> <p><math>M</math> — молярная масса;</p> <p><math>R</math> — универсальная газовая постоянная;</p> <p><math>\Delta T</math> — изменение абсолютной температуры идеального газа</p>

**291.** Определите внутреннюю энергию криптона массой  $m = 5,0$  г, находящегося в баллоне при температуре  $T = 280$  К.

292. Определите внутреннюю энергию идеального одноатомного газа, количество вещества которого  $\nu = 5,0$  моль, находящегося при температуре  $t = -13$  °С.
293. В сосуде находится  $N = 2,40 \cdot 10^{24}$  атомов ксенона. Определите абсолютную температуру газа, если его внутренняя энергия  $U = 14,6$  кДж.
294. Внутренняя энергия идеального одноатомного газа  $U = 300$  Дж. Определите концентрацию молекул газа, если его объем  $V = 2,0$  л, а температура  $t = 27$  °С.
295. В баллоне объемом  $V = 20$  дм<sup>3</sup> находится аргон при температуре  $t = 47$  °С. Определите внутреннюю энергию аргона, если его плотность  $\rho = 0,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .
296. Идеальный одноатомный газ находится в баллоне объемом  $V = 10$  см<sup>3</sup> при давлении  $p = 80$  кПа. Определите внутреннюю энергию газа.
297. В вертикальном цилиндрическом сосуде площадью поперечного сечения  $S = 50$  см<sup>2</sup> на высоте  $h = 24$  см от основания сосуда расположен гладкий поршень массой  $m = 1,0$  кг. Под поршнем содержится идеальный одноатомный газ. Определите внутреннюю энергию этого газа, если атмосферное давление  $p_0 = 98$  кПа.
298. В вертикальном цилиндрическом сосуде площадью поперечного сечения  $S = 30$  см<sup>2</sup> находится идеальный одноатомный газ массой  $m_1 = 45$  г, закрытый гладким поршнем массой  $m_2 = 1,5$  кг. Определите плотность газа, находящегося в сосуде, если его внутренняя энергия  $U = 0,18$  МДж. Атмосферное давление  $p_0 = 99$  кПа.
299. Цилиндрический сосуд содержит идеальный одноатомный газ, закрытый невесомым легкоподвижным поршнем, площадь поперечного сечения которого  $S = 120$  см<sup>2</sup>. Газу сообщили некоторое количество теплоты, и его внутренняя энергия увеличилась на  $\Delta U = 0,36$  кДж. Определите смещение поршня, если атмосферное давление  $p_0 = 100$  кПа.

- 300.** Идеальный одноатомный газ массой  $m = 0,5$  кг находится в сосуде под давлением  $p = 8 \cdot 10^4$  Па. Определите внутреннюю энергию газа, если его плотность  $\rho = 0,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .
- 301.** Идеальный газ, количество вещества которого постоянно, перевели из состояния  $A$  в состояние  $C$  двумя последовательными процессами  $AB$  и  $BC$  (рис. 29). В каком состоянии внутренняя энергия газа была наибольшей, а в каком — наименьшей?
- 302.** Как изменялась внутренняя энергия идеального газа на процессах, показанных на рисунке 30?



- 303.** Может ли внутренняя энергия идеального газа остаться неизменной, если газ перейдет из одного состояния в другое? Может ли внутренняя энергия идеального газа быть равной нулю?
- 304.** Определите внутреннюю энергию смеси, состоящей из гелия массой  $m_1 = 20$  г и неона массой  $m_2 = 30$  г, имеющей температуру  $T = 300$  К.
- 305.** В сосуде находятся криптон в количестве  $\nu_1 = 0,5$  моль и аргон в количестве  $\nu_2 = 0,3$  моль. Определите изменение внутренней энергии смеси при ее нагревании на  $\Delta t = 50$  °С.

- 306.** Идеальный одноатомный газ сжимают и одновременно нагревают. При этом объем газа уменьшается в  $\alpha = 5,0$  раза, а давление повышается в  $\beta = 7,0$  раза. Во сколько раз увеличивается внутренняя энергия газа?
- 307.** При уменьшении объема идеального одноатомного газа в  $\alpha = 3,0$  раза давление газа увеличилось на  $\beta = 20\%$ . Во сколько раз изменилась внутренняя энергия газа?
- 308.** Идеальный одноатомный газ нагрели от температуры  $t_1 = 12^\circ\text{C}$  до температуры  $t_2 = 69^\circ\text{C}$ . На сколько процентов возросла его внутренняя энергия?
- 309.** Определите изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа, количество вещества которого  $\nu = 5,0$  моль, при его нагревании от температуры  $t_1 = 27^\circ\text{C}$  до температуры  $t_2 = 127^\circ\text{C}$ .
- 310.** Идеальный одноатомный газ переводят из состояния 1 в состояние 2 (рис. 31). Определите изменение внутренней энергии газа.

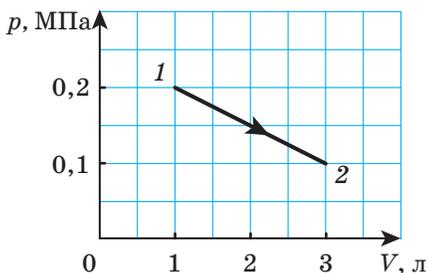


Рис. 31

- 311.** Гелий массой  $m = 60$  г переводят из состояния 1 в состояние 2 (рис. 32). Определите изменение внутренней энергии газа.
- 312.** На рисунке 33 показаны графики зависимости внутренней энергии двух идеальных одноатомных газов от абсолютной температуры. Определите количество вещества первого газа, если количество вещества второго газа  $\nu_{II} = 2$  моль.

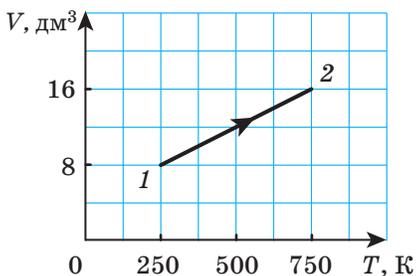


Рис. 32

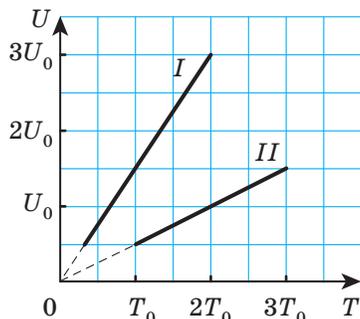


Рис. 33

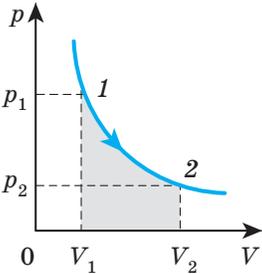
- 313.** Дно открытой колбы погрузили в горячую воду, и воздух, находящийся в колбе, нагрелся. Изменилась ли внутренняя энергия воздуха, заполняющего колбу?
- 314.** В сосуде, содержащем идеальный газ, образовалась трещина. За некоторое время давление газа уменьшилось в  $\alpha = 8$  раз, а его абсолютная температура понизилась в  $\beta = 2$  раза. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия газа в сосуде?
- 315.** Шар вместимостью  $V = 70 \text{ см}^3$  наполнен гелием под давлением  $p = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . В результате солнечного нагрева температура газа в шаре поднялась от  $t_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ . На сколько увеличилась внутренняя энергия газа? Объем шара не изменился.
- 316.** В вертикальном цилиндре под гладким поршнем находится идеальный одноатомный газ, занимающий объем  $V_1 = 0,40 \text{ м}^3$ . Определите изменение внутренней энергии газа при увеличении его абсолютной температуры в  $\alpha = 1,2$  раза. Атмосферное давление  $p_0 = 100 \text{ кПа}$ , масса поршня  $m_{\text{п}} = 5,0 \text{ кг}$ . Площадь поперечного сечения цилиндра  $S = 10 \text{ см}^2$ .
- 317.** Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu = 10,0$  моль расширяется по закону:  $\frac{p}{V} = \text{const}$ , где  $p$  — давление газа,  $V$  — объем газа. При этом объем газа увеличивается

второе, а его внутренняя энергия повышается на  $\Delta U = 9,972 \times 10^4$  Дж. Определите начальную абсолютную температуру газа.

- 318.** Изменение состояния идеального одноатомного газа, количество вещества которого  $\nu = 1,0$  моль, происходит по закону:  $pV^2 = \text{const}$ , где  $p$  — давление газа,  $V$  — объем газа. Определите изменение внутренней энергии газа при увеличении его объема в  $\alpha = 2,0$  раза. Начальная температура газа  $T_0 = 300$  К.
- 319.** При переходе идеального одноатомного газа из начального состояния в конечное его давление  $p$  изменялось по закону:  $p = \alpha T^2$ , где  $\alpha$  — коэффициент пропорциональности,  $T$  — абсолютная температура. В результате перехода внутренняя энергия газа уменьшилась на  $|\Delta U| = 48$  Дж, а объем увеличился в  $\beta = 5,0$  раза. Определите давление газа в начальном состоянии, если в этом состоянии объем газа  $V_1 = 10$  л.
- 320.** Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого  $\nu$ , находился при абсолютной температуре  $T_1$ . Определите изменение внутренней энергии газа при увеличении его объема в  $n$  раз, если изменение состояния газа происходит по закону:  $\frac{p^2}{V} = \text{const}$ , где  $p$  — давление газа,  $V$  — объем газа.

### 9. Работа в термодинамике

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Работа силы давления идеального газа при изобарном процессе	$A = p\Delta V$	$A$ — работа силы давления идеального газа при изобарном процессе; $p$ — давление идеального газа; $\Delta V$ — изменение объема идеального газа

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Геометрическое толкование работы	 <p style="text-align: center;">Рис. 34</p>	Работа численно равна площади фигуры, ограниченной графиком зависимости $p(V)$ . На рисунке 34 работа численно равна площади криволинейной трапеции $V_1 1 2 V_2$ .

- 321.** При постоянном давлении  $p = 3,0 \cdot 10^4$  Па объем идеального газа увеличился от  $V_1 = 70$  л до  $V_2 = 120$  л. Определите работу, совершенную силой давления газа.
- 322.** При изобарном расширении идеального газа сила давления газа совершила работу  $A = 310$  Дж. Определите изменение объема газа, если его давление  $p = 50$  кПа.
- 323.** Определите работу, совершенную силой давления идеального газа, количество вещества которого  $\nu = 2,0$  моль, при изобарном повышении его температуры на  $\Delta T = 50$  К.
- 324.** При изобарном нагревании воздуха массой  $m = 2,00$  кг его силой давления совершена работа  $A = 166,2$  кДж. Определите изменение температуры воздуха. Молярная масса воздуха  $M = 29 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ .
- 325.** При изобарном нагревании идеального одноатомного газа его внутренняя энергия увеличилась на  $\Delta U = 60$  Дж. Определите работу, совершенную силой давления газа.
- 326.** Абсолютные температуры водорода и кислорода равной массы при изобарном нагревании изменились одинаково. Во сколько раз работа, совершенная силой давления водорода, больше работы, совершенной силой давления кислорода?

- 327.** В изобарном процессе при давлении  $p = 300$  кПа абсолютная температура идеального газа увеличилась в  $n = 3,0$  раза. Определите начальный объем газа, если при расширении силой давления газа совершена работа  $A = 18$  кДж.
- 328.** Идеальный газ, количество вещества которого  $\nu = 2,0$  моль, нагревают при постоянном давлении. Определите работу, совершенную силой давления газа, если его начальная температура  $t_1 = 52$  °С, а конечный объем в  $n = 3,0$  раза больше начального.
- 329.** Идеальный газ, количество вещества которого  $\nu = 2$  моль, а начальная температура  $T_1 = 300$  К, изобарно расширился. Определите работу силы давления газа, если его концентрация молекул в конечном состоянии в  $\alpha = 2$  раза меньше, чем в начальном.
- 330.** В изобарном процессе при давлении  $p = 120$  кПа абсолютная температура идеального газа увеличилась на  $\alpha = 65$  %. Определите начальный объем газа, если при расширении силой давления газа совершена работа  $A = 15,6$  Дж.
- 331.** В вертикальном цилиндре под гладким поршнем находился идеальный газ, занимающий объем  $V_1 = 0,6$  м<sup>3</sup>. Определите работу, совершенную силой давления газа при его изобарном нагревании, если объем газа увеличился в  $n = 1,5$  раза. Атмосферное давление  $p_0 = 100$  кПа, масса поршня  $m_{\text{п}} = 10$  кг. Площадь поперечного сечения цилиндра  $S = 10$  см<sup>2</sup>.
- 332.** В горизонтальном цилиндре, закрытом гладким поршнем, находится идеальный газ при температуре  $T_1 = 490$  К и давлении  $p = 98$  кПа. Объем газа  $V_1 = 5,0$  л. На сколько надо охладить газ при неизменном давлении, чтобы при этом внешняя сила, сжимая газ, совершила работу  $A_{\text{вн}} = 50$  Дж?

- 333.** В вертикальном цилиндре с площадью основания  $S = 100 \text{ см}^2$  находится идеальный газ при температуре  $T_1 = 300 \text{ К}$ . На высоте  $h_1 = 30 \text{ см}$  от основания цилиндра расположен гладкий поршень массой  $m_{\text{п}} = 60 \text{ кг}$ . Определите работу, которую совершит сила давления газа при расширении, если его температуру медленно повысить на  $\Delta t = 50 \text{ }^\circ\text{С}$ . Атмосферное давление  $p_0 = 100 \text{ кПа}$ .
- 334.** На рисунке 35 представлен график зависимости давления идеального газа от объема. На каком процессе силой давления газа совершена наибольшая работа?
- 335.** На рисунке 36 представлен график зависимости объема идеального газа от абсолютной температуры. На каком процессе силой давления газа совершена наибольшая работа?

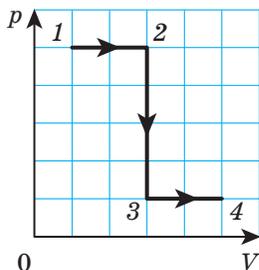


Рис. 35

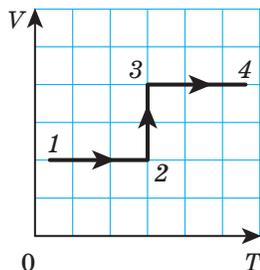


Рис. 36

- 336.** На рисунке 37 представлен график зависимости давления идеального газа от температуры. На каком процессе силой давления газа совершена наибольшая работа?

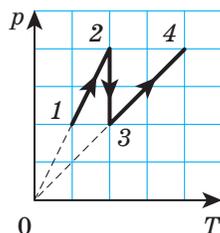


Рис. 37

- 337.** Идеальный газ, количество вещества которого  $\nu = 2,0$  моль, сначала нагревали изохорно, а затем — изобарно (рис. 38). Определите работу, совершенную силой давления газа при изобарном нагревании, если в состоянии 1 абсолютная температура газа  $T_1 = 280 \text{ К}$ .

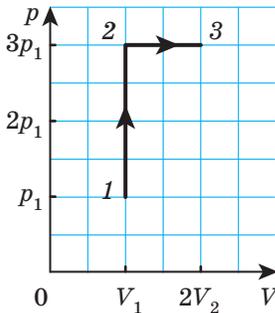


Рис. 38

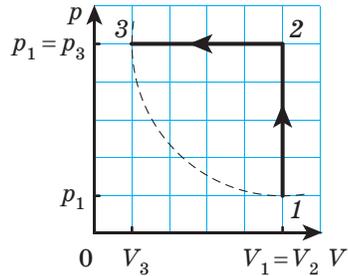


Рис. 39

**338.** Идеальный газ, начальная абсолютная температура которого  $T_1$ , сначала нагревают при постоянном объеме так, что его давление возрастает в  $n$  раз, а затем сжимают при постоянном давлении, доведя температуру до прежнего значения  $T_3 = T_1$  (рис. 39). Какая работа совершена внешней силой при изобарном сжатии газа, если его масса  $m$ , а молярная масса  $M$ ?

**339.** Сначала идеальный газ, количество молекул которого  $N = 1,2 \cdot 10^{20}$ , изобарно нагрели (рис. 40), а затем изохорно охладили до первоначальной температуры  $T_3 = T_1 = 600$  К. Определите работу, совершенную силой давления газа при изобарном процессе.

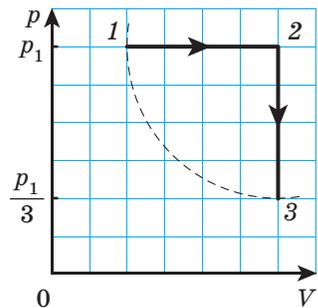


Рис. 40

**340.** Кислород, количество вещества которого  $\nu = 1,5$  моль, сначала охладили изохорно, вследствие чего его давление уменьшилось в  $n = 3,0$  раза. Затем газ изобарно расширили так, что его абсолютная температура стала равна первоначальной. Определите работу, совершенную силой давления газа в изобарном процессе, если абсолютная температура кислорода в первоначальном состоянии  $T_1 = 310$  К.

**341.** Состояние идеального газа, масса которого постоянна, изменялось так, как показано на рисунке 41. На каких участках цикла сила давления газа совершала положительную работу, а на каких — отрицательную?

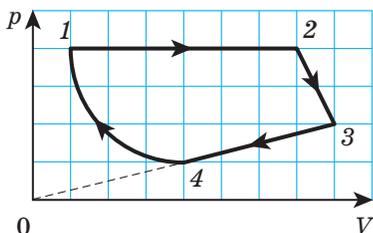


Рис. 41

**342.** Состояние идеального газа, масса которого постоянна, изменялось так, как показано на рисунке 42. На каких участках цикла сила давления газа совершала положительную работу, а на каких — отрицательную?

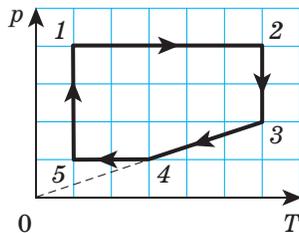


Рис. 42

**343.** Идеальный газ переходит из состояния 1 в состояние 2 (рис. 43). Определите работу, совершенную силой давления газа.

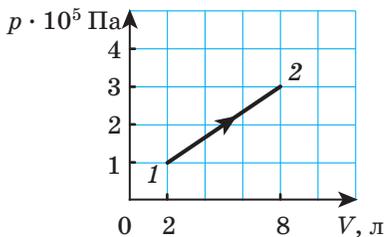


Рис. 43

**344.** Определите работу, совершенную силой давления идеального газа при переходе из состояния 1 в состояние 3 (рис. 44). Давление  $p_0 = 0,1$  МПа, объем  $V_0 = 1$  л.

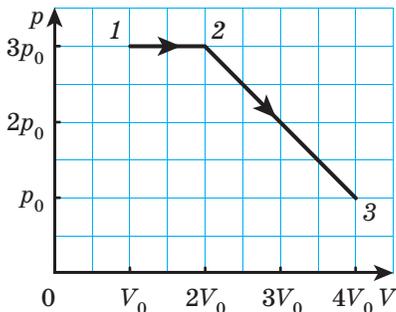


Рис. 44

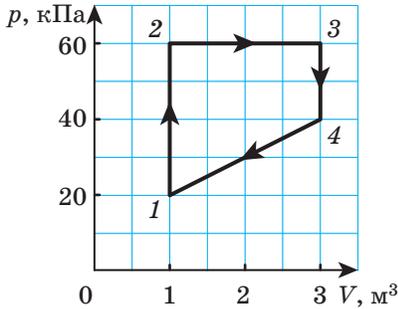


Рис. 45

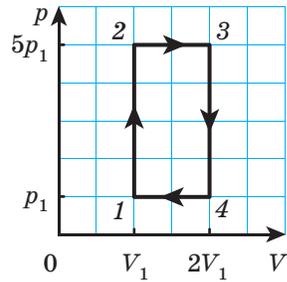


Рис. 46

- 345.** Определите работу, совершенную силой давления идеального газа при циклическом процессе, график которого представлен на рисунке 45.
- 346.** Определите работу, совершенную силой давления идеального газа при циклическом процессе, график которого представлен на рисунке 46. Количество вещества газа  $\nu = 3,0$  моль. В состоянии 1 температура газа  $T_1 = 280$  К.
- 347.** Зависимость давления идеального газа от объема имеет вид:  $p = \alpha V$ , где  $\alpha = 4,0 \frac{\text{МПа}}{\text{м}^3}$ . Определите работу, совершенную силой давления газа, если он расширился от объема  $V_1 = 10$  л до объема  $V_2 = 110$  л.
- 348.** Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого постоянно, переводят из состояния 1 в состояние 3 (рис. 47). На участке 1—2 изменение внутренней

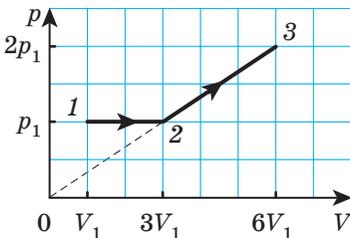


Рис. 47

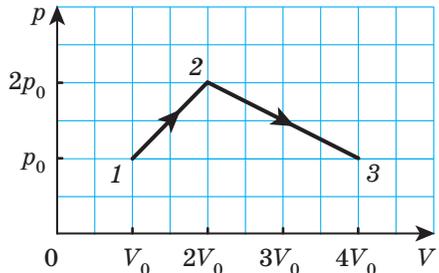


Рис. 48

энергии газа  $\Delta U_{12} = 28$  кДж. Определите работу, совершенную силой давления газа на участке 2—3.

**349.** Внутренняя энергия идеального одноатомного газа при переходе из состояния 1 в состояние 3 (рис. 48) изменилась на  $\Delta U_{13} = 60$  Дж. Определите работу, совершенную силой давления газа при процессе 2—3.

**350.** Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого постоянно, переводят из состояния 1 в состояние 3 (рис. 49). Определите работу, совершенную силой давления газа на участке 1—2, если на участке 2—3 изменение внутренней энергии газа  $\Delta U_{23} = 76$  кДж.

**351.** Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого  $\nu = 4,0$  моль, перевели из состояния 1 в состояние 3 (рис. 50). При этом температура газа изменилась на  $\Delta T = 10$  К. Определите работу, совершенную силой давления газа при его переходе из начального состояния в конечное, если на участке 2—3 работа силы давления газа  $A_{23} = 420$  кДж.

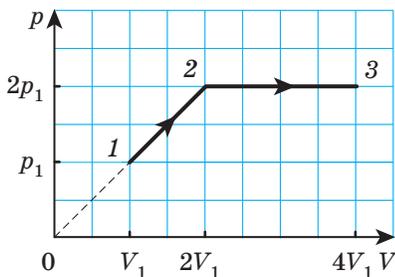


Рис. 49

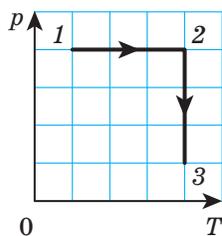


Рис. 50

**352.** Идеальный газ в количестве  $\nu = 4,0$  моль расширяется так, что его давление изменяется прямо пропорционально объему. Определите работу, совершенную силой давления газа при увеличении его температуры на  $\Delta T = 10$  К.

- 353.** Идеальный газ в количестве  $\nu = 2,0$  моль сначала находился при температуре  $T_1 = 400$  К. Его объем увеличили в два раза. При этом давление газа при расширении линейно зависело от объема. Определите работу, совершенную силой давления газа в этом процессе, если конечная температура газа равна начальной.
- 354.** Сила давления газовой смеси, состоящей из кислорода массой  $m_1 = 1,5$  г и гелия массой  $m_2 = 1,0$  г, при изобарном расширении совершила работу  $A = 2,5$  кДж. Определите, во сколько раз увеличился объем газовой смеси, если ее начальная температура  $T_1 = 300$  К.
- 355.** С идеальным газом, количество вещества которого  $\nu = 0,25$  моль, совершают замкнутый циклический процесс, состоящий из двух изохор и двух изобар (рис. 51). Точки 2 и 4 лежат на одной изотерме. Определите работу, совершенную силой давления газа за цикл, если абсолютная температура газа в состояниях 1 и 2 соответственно равна  $T_1 = 484$  К и  $T_2 = 704$  К.

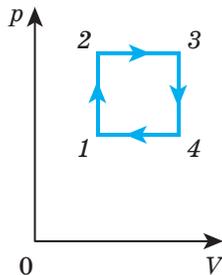


Рис. 51

## 10. Количество теплоты

Название	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Количество теплоты при нагревании (охлаждении)	$Q = cm(t_2 - t_1)$	$Q$ — количество теплоты, необходимое для нагревания тела (выделившееся при охлаждении тела); $c$ — удельная теплоемкость вещества; $m$ — масса тела; $t_2$ — конечная температура тела; $t_1$ — начальная температура тела

Название	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Теплоемкость тела	$C = ct$	$C$ — теплоемкость тела; $c$ — удельная теплоемкость вещества; $t$ — масса тела
Количество теплоты при плавлении и кристаллизации	При плавлении $Q = \lambda t$ ; при кристаллизации $Q = -\lambda t$	$Q$ — количество теплоты, необходимое для плавления твердого тела, находящегося при температуре плавления (при кристаллизации $Q$ — выделившееся количество теплоты); $\lambda$ — удельная теплота плавления; $t$ — масса тела
Количество теплоты при парообразовании (кипении) и конденсации	При парообразовании $Q = Lm$ ; при конденсации $Q = -Lm$	$Q$ — количество теплоты, необходимое для превращения жидкости, находящейся при температуре кипения, в пар (при конденсации $Q$ — выделившееся количество теплоты); $L$ — удельная теплота парообразования; $t$ — масса жидкости
Количество теплоты при сгорании топлива	$Q = qt$	$Q$ — количество теплоты, выделившееся при полном сгорании топлива; $q$ — удельная теплота сгорания топлива; $t$ — масса топлива
Уравнение теплового баланса	$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = 0$	$Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ — количества теплоты, полученные или отданные телами системы

356. Нормальная температура тела человека  $t = 36,6$  °С. Почему человеку не холодно при температуре  $t_1 = 25$  °С и очень жарко при температуре  $t_2 = 37$  °С?
357. В стальной кастрюле массой  $m_1 = 500$  г находится вода массой  $m_2 = 1,6$  кг. Определите количество теплоты, которое надо затратить, чтобы воду вместе с кастрюлей нагреть от температуры  $t_1 = 20$  °С до температуры  $t_2 = 80$  °С.
358. В теплоизолированном калориметре смешали воду массой  $m_1 = 1,0$  кг при температуре  $t_1 = 51$  °С и воду массой  $m_2 = 2,0$  кг при температуре  $t_2 = 30$  °С. Определите температуру смеси. Теплоемкостью калориметра пренебречь.
359. Медный цилиндр, нагретый до температуры  $t_1 = 100$  °С, опустили в воду, масса которой в три раза меньше массы цилиндра. Тепловое равновесие наступило при температуре  $t = 30$  °С. Определите начальную температуру воды. Потерями энергии пренебречь.
360. В латунном калориметре массой  $m_0 = 800$  г находится вода массой  $m_1 = 2,0$  кг при температуре  $t_1 = 9$  °С. В калориметр опустили стальной брусок, температура которого  $t_2 = 100$  °С. В результате теплообмена в калориметре установилась температура  $t = 32$  °С. Определите массу стального бруска. Потерями энергии пренебречь.
361. Для приготовления ванны емкостью  $V = 200$  л смешали холодную воду при температуре  $t_1 = 10$  °С с горячей водой при температуре  $t_2 = 60$  °С. Определите объем холодной воды, если в ванне установилась температура воды  $t = 40$  °С. Потерями энергии пренебречь.
362. В медный калориметр массой  $m_1 = 110$  г, содержащий жидкость теплоемкостью  $C_2 = 418 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}$  при температуре  $t_1 = 12$  °С, опустили цинковый шарик массой  $m_3 = 209$  г при температуре  $t_3 = 52$  °С и латунный шарик при тем-

пературе  $t_4 = 92^\circ\text{C}$ . Определите массу латунного шарика, если в калориметре установилась конечная температура  $t = 32^\circ\text{C}$ . Потерями энергии пренебречь.

- 363.** В калориметр теплоемкостью  $C_0 = 90 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}$  налит керосин при температуре  $t_1 = 10^\circ\text{C}$ . В керосин добавили свинцовые шарики общей массой  $m_2 = 400$  г при температуре  $t_2 = 130^\circ\text{C}$ . В результате теплообмена установилась температура  $t = 40^\circ\text{C}$ . Определите теплоемкость керосина. Потерями энергии пренебречь.
- 364.** В алюминиевом калориметре массой  $m_1 = 100$  г налита вода массой  $m_2 = 460$  г при температуре  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ . В воду опустили алюминиевый цилиндр массой  $m_3 = 800$  г при температуре  $t_3 = 175^\circ\text{C}$ . Определите температуру, которая установилась в калориметре в результате теплообмена, если потери энергии в окружающую среду составили  $\eta = 34\%$ .
- 365.** В алюминиевый калориметр массой  $m_1 = 200$  г, содержащий воду массой  $m_2 = 0,92$  кг при температуре  $t_1 = 10^\circ\text{C}$ , погрузили чугуновый цилиндр при температуре  $t_3 = 50^\circ\text{C}$ . В результате теплообмена установилась температура  $t = 30^\circ\text{C}$ . Определите массу цилиндра, если потери энергии в окружающую среду составили  $\eta = 8\%$ .
- 366.** В воду, имеющую температуру  $t_1 = 10^\circ\text{C}$ , погрузили шарик, нагретый до температуры  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ . В результате теплообмена установилась температура  $t_0 = 40^\circ\text{C}$ . Определите, какой станет температура воды, если, не вынимая первого шарика, опустить в нее еще один такой же шарик, нагретый также до температуры  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ . Потерями энергии пренебречь.
- 367.** Лед принесли в помещение, в котором температура  $t = 0^\circ\text{C}$ . Будет ли таять лед в этом помещении? Будет ли замерзать вода, если принести воду в это помещение? Ответы поясните.

- 368.** Вода является прекрасным охладителем. Почему для предохранения растений от весенних заморозков их рекомендуют периодически опрыскивать водой?
- 369.** Какое количество теплоты надо передать олову массой  $m_1 = 120$  г, взятому при температуре  $t_1 = 32$  °С, чтобы полностью расплавить его?
- 370.** Лед объемом  $V_1 = 4,0$  дм<sup>3</sup> содержит свинцовые дробинки общим объемом  $V_2 = 1,0$  см<sup>3</sup> и находится при температуре  $t_1 = -15$  °С. Лед с дробью нагревают, лед плавится, и вода с дробью нагревается до  $t_2 = 80$  °С. Определите затраченное количество теплоты.
- 371.** В сосуде находился лед при температуре  $t_1 = -15$  °С. На лед вылили воду при температуре  $t_2 = 81$  °С. В результате теплообмена весь лед растаял, а в сосуде установилась конечная температура  $t = 0$  °С. Определите массу льда, если масса воды  $m_2 = 4,5$  кг. Потерями энергии и теплоемкостью сосуда пренебречь.
- 372.** В теплоизолированном сосуде находится вода массой  $m_1 = 5,0$  кг при температуре  $t_1 = 5,0$  °С. В воду опустили кусок льда при температуре  $t_2 = -25$  °С. Определите массу льда, если в сосуде вся вода замерзла и установилась температура  $t_0 = 0$  °С. Теплоемкостью сосуда пренебречь.
- 373.** На лед массой  $m_1 = 3,0$  кг, имеющий температуру  $t_1 = -10$  °С, вылили расплавленное олово при температуре плавления  $t_{\text{п}} = 232$  °С. В результате теплообмена установилась температура  $t_2 = 32$  °С. Определите массу олова. Потерями энергии пренебречь.
- 374.** Может ли кипеть вода в пробирке, плавающей в кастрюле с кипящей водой?
- 375.** Какое количество теплоты потребуется, чтобы превратить  $m = 80$  г льда, взятого при температуре  $t_0 = -4,0$  °С, в пар при температуре  $t = 100$  °С?

- 376.** Какую массу керосина нужно сжечь, чтобы, передав всю выделившуюся при этом энергию, превратить в пар  $V_1 = 1,0$  л воды, имеющей начальную температуру  $t_1 = 20$  °С? Температура кипения воды  $t_2 = 100$  °С.
- 377.** В теплоизолированном медном калориметре массой  $m_1 = 0,7$  кг находилась вода при температуре  $t_1 = 12$  °С. В калориметр впустили водяной пар массой  $m_2 = 50$  г при температуре  $t_2 = 100$  °С. Определите начальную массу воды в калориметре, если после установления теплового равновесия температура воды стала  $t_3 = 46$  °С.
- 378.** Смесь, состоящую из воды массой  $m_1 = 500$  г и льда массой  $m_2 = 300$  г, находящуюся при температуре  $t_1 = 0$  °С, необходимо нагреть до температуры  $t_2 = 40$  °С, пропуская через нее водяной пар при температуре  $t_3 = 100$  °С. Определите массу пара. Потерями энергии пренебречь.
- 379.** В теплоизолированном сосуде нагревают воду от температуры  $t_1 = 31$  °С до кипения ( $t_k = 100$  °С), пропуская через нее водяной пар при температуре  $t_2 = 100$  °С. На сколько процентов увеличится масса воды в сосуде, если теплоемкость сосуда пренебрежимо мала?
- 380.** На электроплитке нагрели  $V_1 = 1,2$  л воды от температуры  $t_1 = 10$  °С до температуры  $t_2 = 100$  °С. При этом  $\alpha = 3,0$  % ее обратилось в пар. Сколько времени длилось нагревание, если мощность плитки  $P = 800$  Вт, а ее КПД  $\eta = 65$  %?

### 11. Первый закон термодинамики

Физический закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Первый закон термодинамики	$Q = \Delta U + A$ или $\Delta U = Q + A'$	$Q$ — количество теплоты, полученное (отданное) идеальным газом; $\Delta U$ — изменение внутренней энергии идеального газа;

Физический закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
		$A$ — работа, совершенная силами давления идеального газа; $A'$ — работа внешних сил по изменению объема идеального газа

Применение первого закона термодинамики к изопроцессам в идеальном газе

Процесс	Изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа	Работа силы давления идеального газа	Уравнение первого закона термодинамики
Изотермический	$\Delta U = 0$	Численно равна площади под графиком $p(V)$	$Q = A$
Изохорный	$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T$ или $\Delta U = \frac{3}{2} V \Delta p$	$A = 0$	$Q = \Delta U$
Изобарный	$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T$ или $\Delta U = \frac{3}{2} p \Delta V$	$A = \frac{m}{M} R \Delta T$ или $A = p \Delta V$	$Q = \Delta U + A$

381. Заполните таблицу.

Процесс	Изменение внутренней энергии идеального газа $\Delta U$ , Дж	Работа силы давления газа $A$ , Дж	Количество теплоты $Q$ , сообщенной газу, Дж
Изохорный	200		
Изотермический		50	
Изобарный	450		750

382. При изобарном нагревании идеальному одноатомному газу сообщили  $Q = 250$  Дж теплоты, в результате чего внутренняя энергия газа увеличилась на  $\Delta U = 150$  Дж, а его объем возрос на  $\Delta V = 2,0$  дм<sup>3</sup>. Определите работу, совершенную силой давления газа, и давление газа. Можно ли решить задачу, не используя все данные?

383. Идеальному одноатомному газу при постоянном давлении  $p = 0,1$  МПа передали количество теплоты  $Q = 1,0$  кДж. Определите изменение объема газа и конечную внутреннюю энергию газа, если его начальная внутренняя энергия  $U_1 = 0,2$  кДж.

384. В баллоне вместимостью  $V = 5,0$  л находился идеальный одноатомный газ под давлением  $p_1 = 100$  кПа. Определите количество теплоты, которое сообщили газу, если давление в баллоне возросло в  $\alpha = 3,4$  раза.

385. Идеальному одноатомному газу, количество вещества которого  $\nu = 2,0$  моль, сообщили количество теплоты  $Q = 2,5$  кДж. Определите работу, совершенную силой давления газа, и изменение его внутренней энергии, если температура газа изобарно повысилась на  $\Delta T = 60$  К. Решите задачу несколькими способами.

386. Объем идеального одноатомного газа, находящегося под давлением  $p = 100$  кПа, изобарно увеличился на  $\Delta V = 0,60$  м<sup>3</sup>. Определите изменение внутренней энергии газа, работу, совершенную силой давления газа, и количество теплоты, полученное газом.
387. Сколько процентов теплоты, полученной идеальным одноатомным газом при изобарном нагревании, расходуется на увеличение его внутренней энергии и сколько процентов — на совершение им работы?
388. При изобарном расширении внутренняя энергия аргона увеличилась на  $\Delta U = 57$  кДж. Определите количество теплоты, сообщенное газу.
389. При изобарном расширении силой давления идеального одноатомного газа совершена работа  $A = 96$  кДж. Определите количество теплоты, полученное газом.
390. При изобарном нагревании идеальный одноатомный газ получил количество теплоты  $Q = 300$  Дж. Определите изменение внутренней энергии газа.
391. При изобарном нагревании идеальный одноатомный газ получил количество теплоты  $Q = 600$  Дж. Определите работу, совершенную силой давления газа.
392. Идеальный одноатомный газ находится в вертикальном цилиндре, закрытом сверху невесомым гладким поршнем. Площадь поперечного сечения поршня  $S = 100$  см<sup>2</sup>. Атмосферное давление  $p_0 = 100$  кПа. Определите модуль перемещения поршня, если газу сообщить количество теплоты  $Q = 0,50$  кДж.
393. В вертикальном цилиндре под гладким поршнем массой  $m = 5,0$  кг находится идеальный одноатомный газ. Площадь поперечного сечения поршня  $S = 50$  см<sup>2</sup>. Газу сообщили количество теплоты  $Q = 770$  Дж. Определите модуль перемещения поршня, если атмосферное давление  $p_0 = 100$  кПа.

**394.** Гелий массой  $m = 0,30$  г изобарно нагрели от температуры  $t_1 = 20$  °С до температуры  $t_2 = 76$  °С. Определите изменение внутренней энергии газа, совершенную им работу и количество теплоты, полученное газом.

**395.** С идеальным одноатомным газом, взятым в количестве  $\nu = 2,0$  моль, провели циклический процесс  $1-2-3-1$  (рис. 52). Температура газа в состояниях 1 и 2 одинаковая:  $T_1 = T_2 = 300$  К. Определите количество теплоты, полученное газом при изохорном процессе.

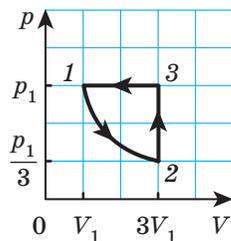


Рис. 52

**396.** При изобарном расширении аргона, количество вещества которого  $\nu = 5,0$  моль, его объем увеличился в  $k = 5,0$  раза, а внутренняя энергия повысилась на  $\Delta U = 60$  кДж. Определите начальную температуру аргона и количество теплоты, переданное ему.

**397.** Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого постоянно, при изобарном нагревании получил количество теплоты  $Q = 249,3$  Дж. При этом объем газа увеличился в  $k = 1,2$  раза. Определите количество вещества газа, если его начальная температура  $t_1 = 27$  °С.

**398.** При изобарном нагревании абсолютная температура идеального одноатомного газа увеличилась в  $k = 3$  раза. Определите количество теплоты, сообщенное газу, если его давление  $p = 250$  кПа, а начальный объем  $V_1 = 0,80$  л.

**399.** Идеальному одноатомному газу, находящемуся в баллоне, сообщили количество теплоты  $Q = 15$  кДж. При этом средняя квадратичная скорость теплового движения молекул газа увеличилась в  $\alpha = 1,2$  раза. Определите начальную температуру газа, если его количество вещества  $\nu = 8,0$  моль.

400. С идеальным газом постоянной массы провели два процесса, зависимость концентрации которого от температуры показана на рисунке 53. Поясните, газ получал или отдавал теплоту на каждом процессе.

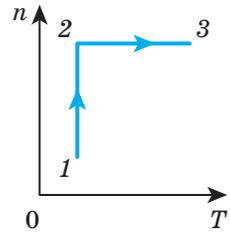


Рис. 53

401. Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого  $\nu = 10$  моль, изобарно сжали, уменьшив его объем в  $k = 3,0$  раза. Определите количество теплоты, которое выделилось, если конечная абсолютная температура газа  $T_2 = 200$  К.
402. С идеальным газом, масса которого постоянна, провели три процесса —  $AB$ ,  $BC$  и  $CD$ , показанные на рисунке 54. Сравните между собой количество теплоты, полученное газом на каждом процессе.
403. Идеальный одноатомный газ, масса которого постоянна, перевели из состояния 1 в состояние 3 (рис. 55). Определите количество теплоты, полученное газом за два процесса, если давление  $p_1 = 45$  кПа, объем  $V_1 = 14$  л.

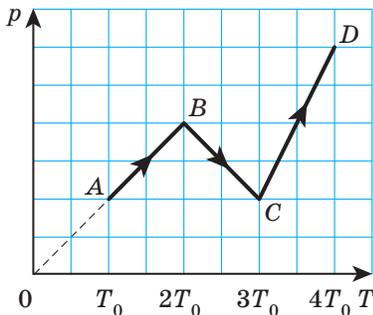


Рис. 54

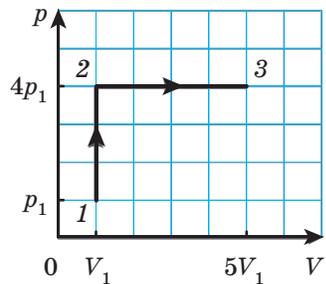


Рис. 55

404. Идеальный одноатомный газ, масса которого постоянна, при переходе из состояния 1 в состояние 3 (рис. 56) получил количество теплоты  $Q = 1,0$  кДж. Определите работу, совершенную силой давления газа при его изо-

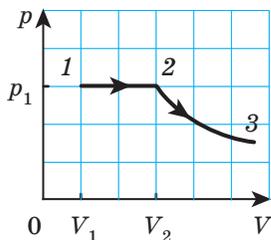


Рис. 56

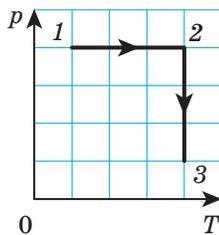


Рис. 57

термическом расширении на участке 2—3, если давление  $p_1 = 100$  кПа, объем  $V_1 = 0,80$  л,  $V_2 = 2,4$  л.

**405.** Идеальный одноатомный газ, число атомов которого постоянно, перевели из состояния 1 в состояние 3 (рис. 57). Определите, какое количество теплоты было передано газу, если на участке 1—2 изменение внутренней энергии  $\Delta U_{12} = 90,0$  кДж, а на участке 2—3 работа силы давления газа  $A_{23} = 66,0$  кДж.

**406.** Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого постоянно, переводят из состояния A в состояние C (рис. 58). Определите, какое количество теплоты получил газ, если в состоянии A давление  $p_A = p_0 = 100$  кПа, объем  $V_A = 3V_0 = 30$  л.

**407.** Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого постоянно, при переходе из состояния 1 в состояние 2 (рис. 59) получил количество теплоты

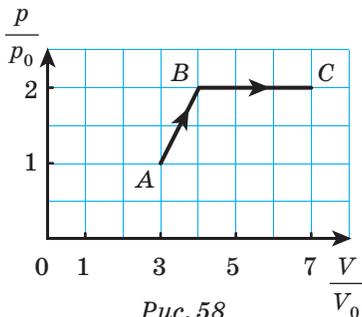


Рис. 58

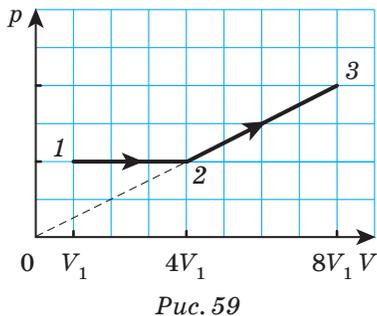


Рис. 59

$Q_{12} = 15$  Дж. Определите работу, совершенную силой давления газа на участке 2—3.

408. Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого постоянно, перевели из состояния 1 в состояние 3 (рис. 60). Работа, совершенная силой давления газа,  $A_{12} = 12$  кДж. Определите количество теплоты, полученное газом на участке 2—3.

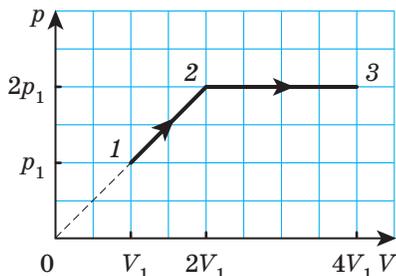


Рис. 60

409. При изобарном расширении идеальный одноатомный газ совершил работу  $A = 100$  Дж. При последующем изохорном процессе газу сообщили такое же количество теплоты, как и при изобарном процессе. Определите приращение внутренней энергии газа в результате двух процессов.
410. При изотермическом расширении идеального одноатомного газа, количество вещества которого  $\nu = 1,00$  моль, сила давления газа совершила работу  $A = 1,577$  кДж. При последующем изобарном нагревании газу сообщили в два раза большее количество теплоты, чем при изотермическом расширении. Определите начальную абсолютную температуру газа, если конечная температура газа  $T_2 = 454$  К.
411. Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого постоянно, при изотермическом расширении получил количество теплоты  $Q_1 = 2,4$  кДж. При последующем изобарном нагревании сила давления газа совершила работу в два раза большую, чем при изотермическом расширении. Определите изменение внутренней энергии газа за два процесса.

412. При изохорном нагревании идеальный одноатомный газ получил количество теплоты  $Q_1 = 30$  Дж. Определите, какое количество теплоты отдал газ при изобарном охлаждении до первоначальной температуры.
413. В изотермическом процессе газ совершает работу  $A = 150$  Дж. Определите изменение внутренней энергии этого газа, если ему сообщить количество теплоты в два раза меньшее, чем в первом случае, а процесс провести изохорно.
414. Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu = 1,0$  моль нагрели сначала изобарно, а затем изохорно. В результате как давление, так и объем газа увеличились в два раза. Определите количество теплоты, полученное газом, если его начальная температура была  $T_1 = 240$  К.
415. Гелий массой  $m = 8,0$  г нагрели сначала изохорно, а затем изобарно. В результате как давление, так и объем газа увеличились в два раза. Определите количество теплоты, полученное гелием, если его начальная температура была  $T_1 = 290$  К.
416. Сначала давление идеального одноатомного газа постоянной массы изохорно увеличили в  $n = 2,0$  раза, а затем его объем изобарно увеличили в  $k = 3,0$  раза. Определите количество теплоты, сообщенное газу, если в начальном состоянии давление и объем газа соответственно равны  $p_0 = 100$  кПа и  $V_0 = 20$  л.
417. Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого  $\nu = 2$  моль, абсолютная температура  $T_1 = 500$  К, сначала охлаждается изохорно так, что давление газа уменьшается в  $n = 2,0$  раза. Затем газ нагревается изобарно до температуры, превосходящей первоначальную в  $k = 3,0$  раза. Определите количество теплоты, полученное газом при изобарном процессе.
418. Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu = 1$  моль сначала нагрели при постоянном давлении, а затем при

постоянном объеме перевели в состояние с температурой, равной первоначальной температуре  $T_1 = 300$  К. Оказалось, что в итоге газу передано количество теплоты  $Q = 12,45$  кДж. Во сколько раз увеличился объем газа? Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ .

- 419.** Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого постоянно, занимал объем  $V_1 = 1,0$  м<sup>3</sup>. Сначала газ изобарно нагрели, и его объем увеличился до  $V_2 = 3,0$  м<sup>3</sup>. Затем газ продолжили нагревать изохорно. При этом давление возросло до  $p_3 = 500$  кПа. Определите давление газа в начальном состоянии, если при переходе из начального состояния в конечное газ получил количество теплоты  $Q = 2,35$  МДж.
- 420.** В сосуде содержится идеальный одноатомный газ, количество вещества которого  $\nu$ , при абсолютной температуре  $T_1$ . При изохорном нагревании средняя квадратичная скорость теплового движения молекул газа увеличилась в  $n$  раз. Определите количество теплоты, подведенное к газу.
- 421.** Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого  $\nu = 2,0$  моль, перевели из состояния 1 в состояние 4 (рис. 61). Какое количество теплоты сообщили газу, если при изотермическом расширении силы дав-

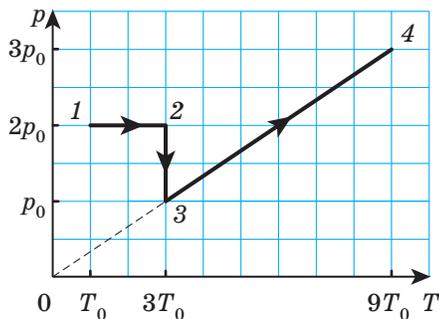


Рис. 61

ления газа совершили работу  $A_{23} = 9,28$  кДж? В состоянии 1 температура газа была  $t_0 = 27$  °С. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ . Во сколько раз изменилась средняя квадратичная скорость теплового движения молекул?

**422.** Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого  $\nu = 2,0$  моль, перевели из состояния 1 в состояние 4 (рис. 62). Какое количество теплоты сообщили газу, если при изотермическом расширении силы давления газа совершили работу  $A_{34} = 2,79$  кДж? Температура газа в первом состоянии  $T_1 = 300$  К. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ .

**423.** Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого  $\nu = 2,0$  моль, перевели из состояния 1 в состояние 4 (рис. 63), сообщив ему количество теплоты  $Q_{14} = 49$  кДж. При изотермическом расширении силы давления газа совершили работу  $A_{23} = 0,86$  кДж. Определите абсолютную температуру газа в первом состоянии. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ .

**424.** \*В двух теплоизолированных сосудах, соединенных тонкой трубкой с краном, находится гелий в количествах  $\nu_1 = 2,0$  моль и  $\nu_2 = 3,0$  моль при температурах  $T_1 = 300$  К

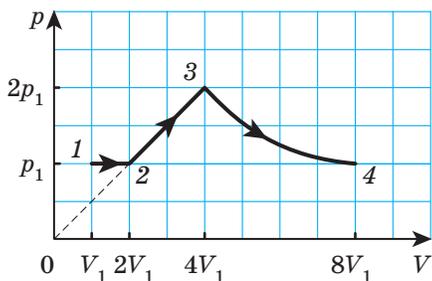


Рис. 62

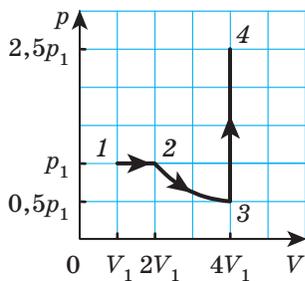


Рис. 63

- и  $T_2 = 400$  К соответственно. Определите, какой станет абсолютная температура газа после открывания крана и установления теплового равновесия.
- 425.** В двух теплоизолированных сосудах объемами  $V_1 = 2,0$  л и  $V_2 = 5,0$  л, соединенных тонкой трубкой с краном, находится гелий при разных температурах под давлением  $p_1 = 300$  кПа и  $p_2 = 160$  кПа соответственно. Определите, какое давление установится в сосудах после открытия крана и наступления теплового равновесия.
- 426.** Идеальный газ, содержащийся в сосуде, дважды переводили из состояния 1 с давлением  $p_1 = 200$  кПа и объемом  $V_1 = 1,0$  м<sup>3</sup> в состояние 2 с давлением  $p_2 = 400$  кПа и объемом  $V_2 = 3,0$  м<sup>3</sup>. Один раз перевод осуществлялся сначала по изобарному закону, затем — по изохорному. Второй раз наоборот: сначала — по изохорному закону, а затем — по изобарному. Определите разницу количеств теплоты, сообщенных газу.
- 427.** Давление гелия массой  $m = 4,0$  г увеличивается прямо пропорционально объему. Определите, какое количество теплоты подвели к газу при увеличении его температуры на  $\Delta T = 20$  К.
- 428.** Зависимость абсолютной температуры от объема идеального одноатомного газа, количество вещества которого  $\nu = 2,5$  моль, имеет вид:  $T = \alpha V^2$ , где  $\alpha$  — постоянная величина. Определите количество теплоты, сообщенное газу, если его температура возросла на  $\Delta T = 150$  К.
- 429.** В процессе расширения к идеальному одноатомному газу было подведено количество теплоты, в  $n = 4$  раза превышающее значение внутренней энергии газа в начальном состоянии. Во сколько раз увеличился объем газа, если давление увеличивалось прямо пропорционально объему?

**430.** В теплоизолированном горизонтальном цилиндре (рис. 64) с одной стороны от закрепленного гладкого поршня находился идеальный одноатомный газ при абсолютной температуре  $T_1$ , с другой стороны был создан вакуум. Пружина сначала не была деформированной. Поршень освободили. После установления равновесия объем газа увеличился вдвое. Определите абсолютную температуру газа в конечном состоянии. Теплоемкостью цилиндра, поршня и пружины пренебречь.

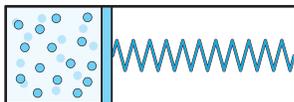


Рис. 64

## 12. Циклы. Тепловые двигатели

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Эффективный коэффициент полезного действия (КПД) теплового двигателя	$\eta_o = \frac{E_{\text{п}}}{E} \cdot 100 \%$	$\eta_o$ — эффективный КПД теплового двигателя; $E_{\text{п}}$ — полезная энергия; $E$ — энергия, полученная тепловым двигателем при полном сгорании топлива
Термический КПД теплового двигателя	$\eta = \frac{A_{\text{ц}}}{Q_1} \cdot 100 \%$ или $\eta = \frac{Q_1 -  Q_2 }{Q_1} \cdot 100 \%$	$\eta$ — термический КПД теплового двигателя; $A_{\text{ц}}$ — работа, совершаемая рабочим телом за один цикл; $Q_1$ — количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя за цикл; $Q_2$ — количество теплоты, отданное рабочим телом холодильнику за цикл

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
КПД цикла Карно	$*\eta_{\text{к}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%$	$\eta_{\text{к}}$ — КПД цикла Карно; $T_1$ — температура нагревателя; $T_2$ — температура холодильника

**431.** Состояние идеального газа изменялось по замкнутому циклу, график которого представлен на рисунке 65. На каких участках графика газ получал энергию?

**432.** Состояние идеального газа изменялось по замкнутому циклу, график которого представлен на рисунке 66. На каких участках графика газ отдавал энергию?

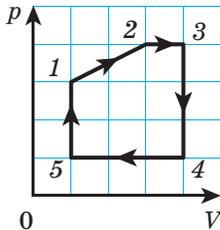


Рис. 65

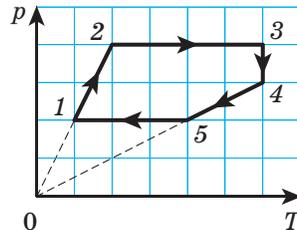


Рис. 66

**433.** Циклический процесс, который совершает идеальный одноатомный газ, состоит из двух изохор и двух изобар (рис. 67). Определите количество теплоты, полученное газом за один цикл, если в состоянии 1 давление и объем газа равны  $p_0$  и  $V_0$  соответственно.

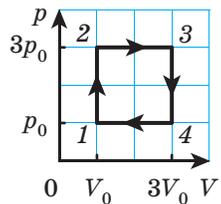


Рис. 67

**434.** На рисунке 68 представлен циклический процесс, проведенный с идеальным одноатомным газом. В состоянии 1 давление  $p_0 = 40$  кПа. Определите объем газа в

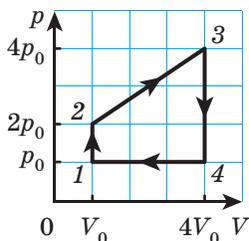


Рис. 68

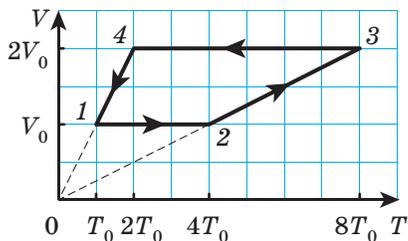


Рис. 69

состоянии 1, если за один цикл газ получил количество теплоты  $Q_1 = 0,63$  МДж.

- 435.** На рисунке 69 представлен циклический процесс, проведенный с идеальным одноатомным газом. В состоянии 1 давление и объем газа равны  $p_0 = 1,0 \cdot 10^5$  Па и  $V_0 = 0,40$  м<sup>3</sup> соответственно. Определите количество теплоты, отданное газом за цикл.
- 436.** На рисунке 70 представлен циклический процесс, проведенный с идеальным одноатомным газом. В состоянии 1 давление и объем газа равны  $p_0 = 6,0 \cdot 10^4$  Па и  $V_0 = 50$  см<sup>3</sup> соответственно. Определите полезную работу, совершенную силами давления газа за  $n = 10$  циклов.
- 437.** Цикл, проведенный с идеальным газом, количество вещества которого  $\nu = 3,0$  моль, состоит из двух изохор и двух изобар (рис. 71). Отношение давлений при изохорных

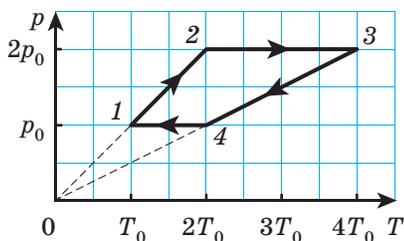


Рис. 70

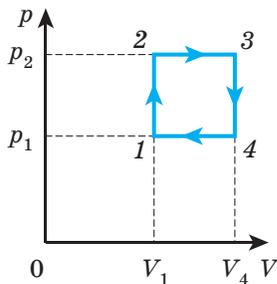


Рис. 71

процессах  $\frac{p_2}{p_1} = \frac{5}{4}$ . Отношение объемов газа при изобарных процессах  $\frac{V_4}{V_1} = \frac{6}{5}$ . Определите работу сил давления газа, совершенную за один цикл. Разность между максимальной и минимальной температурой газа в цикле  $\Delta T = 100$  К.

**438.** На рисунке 72 показан цикл, который совершает находящийся в цилиндре идеальный газ в количестве  $\nu = 1,5$  моль. Температура газа  $T_1 = 300$  К,  $T_4 = 600$  К. Определите полезную работу, совершенную силами давления газа за цикл, если на участке 2—3 газу было передано количество теплоты  $Q_{23} = 6,84$  кДж.

**439.** Цикл, проведенный с идеальным газом, количество вещества которого  $\nu = 3,0$  моль, состоит из двух изохор и двух изобар (рис. 73). В состоянии 1 средняя квадратичная скорость теплового движения молекул  $\langle v_{\text{кв1}} \rangle = 400 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Молярная масса газа  $M = 40 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ . Определите работу сил давления газа, совершенную за один цикл.

**440.** Состояние идеального одноатомного газа изменяется по замкнутому циклу, состоящему из двух изохор и двух изобар (рис. 73). Масса газа  $m = 20$  г, его молярная

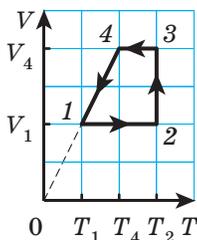


Рис. 72

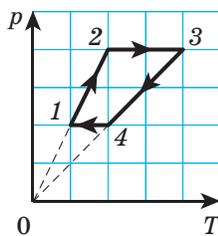


Рис. 73

масса  $M = 40 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ . Температура газа в первом состо-

янии  $T_1 = 256 \text{ К}$ , в третьем состоянии —  $T_3 = 1024 \text{ К}$ . Определите полезную работу, совершенную силой давления газа за цикл, если во втором и четвертом состояниях температура газа одинаковая:  $T_2 = T_4$ .

- 441.** Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого постоянно, совершает циклический процесс  $1-2-3-4-1$ , состоящий из двух изобар  $1-2$  и  $3-4$  и двух изотерм  $2-3$  и  $4-1$ . При изобарном сжатии  $3-4$  газ отдает количество теплоты  $|Q_{34}| = 75 \text{ кДж}$ . Определите работу сил давления газа при изобарном расширении  $1-2$ .
- 442.** Идеальный газ в тепловом двигателе за один цикл получил от нагревателя количество теплоты  $Q_1 = 5,5 \text{ кДж}$  и отдал холодильнику количество теплоты  $|Q_2| = 4,4 \text{ кДж}$ . Определите термический КПД теплового двигателя.
- 443.** В тепловом двигателе газ совершил за один цикл полезную работу  $A = 1,8 \text{ кДж}$ . При этом холодильнику было передано количество теплоты  $|Q_2| = 7,2 \text{ кДж}$ . Определите термический КПД теплового двигателя.
- 444.** Термический КПД теплового двигателя  $\eta_1 = 19 \%$ . В результате усовершенствования двигателя количество теплоты, полученное от нагревателя в единицу времени, увеличилось на  $\varepsilon = 8 \%$ , но при этом количество теплоты, отданное холодильнику, осталось прежним. Определите термический КПД усовершенствованного теплового двигателя.
- 445.** Термический КПД теплового двигателя  $\eta_1 = 20 \%$ . Определите термический КПД двигателя, если количество теплоты, полученное от нагревателя за цикл, увеличить на  $\alpha = 20 \%$ , а количество теплоты, отдаваемое холодильнику, уменьшить на  $\beta = 16 \%$ .

446. Первоначальный термический коэффициент полезного действия теплового двигателя был  $\eta_1 = 40\%$ . Затем количество теплоты, отданное холодильнику за один цикл, увеличили на  $\alpha = 36\%$ . Определите, каким стал термический КПД двигателя, если полезная работа, совершенная силами давления газа за один цикл, уменьшилась на  $\beta = 4\%$ .

447. Состояние идеального одноатомного газа изменяется по циклу, показанному на рисунке 74. Определите за один цикл: а) полезную работу, совершенную силой давления газа; б) количество теплоты, полученное от нагревателя; в) количество теплоты, отданное холодильнику; г) максимальное изменение внутренней энергии газа; д) термический КПД цикла.

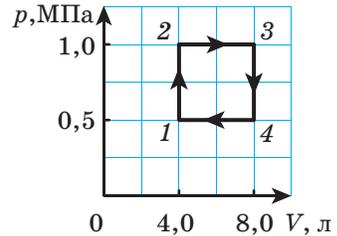


Рис. 74

448. Тепловой двигатель работает по циклу, изображенному на рисунке 75. Рабочим телом двигателя является идеальный одноатомный газ. Определите термический коэффициент полезного действия цикла.

449. Идеальный одноатомный газ совершает замкнутый цикл, представленный на рисунке 76. Определите термический КПД цикла.

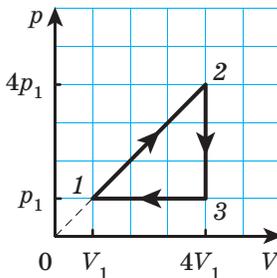


Рис. 75

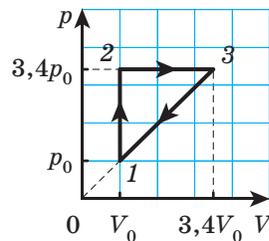


Рис. 76

- 450.** Идеальный одноатомный газ совершает замкнутый цикл, состоящий из двух изохорных и двух изобарных процессов. При изохорном нагревании давление увеличивается в  $\alpha = 2,0$  раза, а при изобарном нагревании объем увеличивается на  $\beta = 70\%$ . Определите термический КПД цикла, если известно, что полезная работа сил давления газа положительная.
- 451.** Идеальный одноатомный газ совершает замкнутый цикл, представленный на рисунке 77. Определите термический КПД цикла.
- 452.** Идеальный одноатомный газ совершает замкнутый цикл, представленный на рисунке 78. Определите термический КПД цикла.

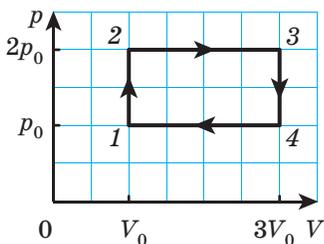


Рис. 77

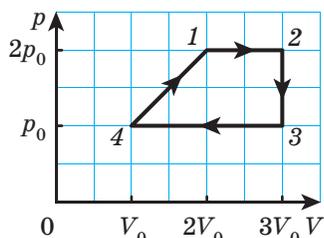


Рис. 78

- 453.** Тепловой двигатель, термический КПД которого  $\eta = 13\%$ , работает по циклу, показанному на рисунке 79. Рабочим телом является  $\nu = 0,50$  моль идеального одноатомного газа. В состоянии 1 температура газа  $T_1 = 335$  К. Определите работу, совершенную силами давления газа при изотермическом расширении, если объем  $V_3 = 2V_1$ .

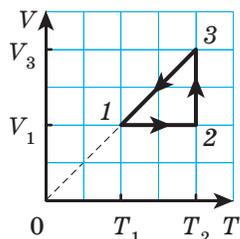


Рис. 79

- 454.** Тепловой двигатель работает по циклу, изображенному на рисунке 80. Рабочим телом является идеальный

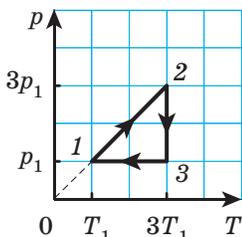


Рис. 80

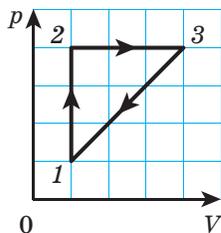


Рис. 81

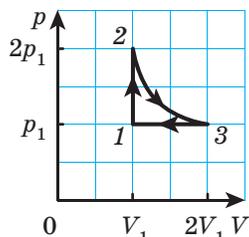


Рис. 82

одноатомный газ. В состоянии 1 давление газа  $p_1 = 1,0 \cdot 10^5$  Па, объем  $V_1 = 8$  дм<sup>3</sup>. Найдите КПД цикла, если количество теплоты, полученное газом при изотермическом расширении,  $Q_{23} = 2,6$  кДж.

- 455.** Над идеальным одноатомным газом в тепловом двигателе произведен цикл  $1-2-3-1$  (рис. 81). Полезная работа, совершаемая газом в этом цикле, в  $n = 9,0$  раза меньше количества теплоты, отданного газом на участке  $3-1$ . Определите термический КПД цикла.
- 456.** Идеальный одноатомный газ совершает циклический процесс, состоящий из изохоры, изотермы и изобары (рис. 82). Давление  $p_1 = 400$  кПа. Объем  $V_1 = 0,80$  л. Определите термический КПД цикла, если при изотермическом расширении совершена работа  $A = 1,12$  кДж.
- 457.** Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu = 3,8$  моль, находящийся в тепловом двигателе, совершил цикл, представленный на рисунке 83. Термический КПД двигателя  $\eta = 24\%$ . Определите полезную работу, совершенную силами давления газа за один цикл, если в состоянии 1 температура газа  $T_1 = 300$  К.
- 458.** Идеальный одноатомный газ совершает цикл, состоящий из изохоры, изотермы и изобары (рис. 84). Причем разность объемов  $V_3 - V_1 = 600$  см<sup>3</sup>. Термический КПД цикла  $\eta = 20\%$ . Определите давление газа в со-

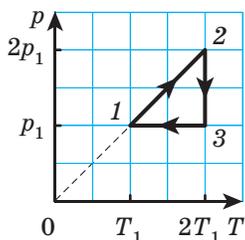


Рис. 83

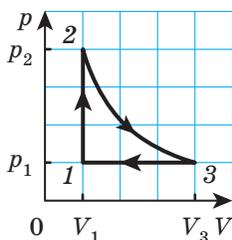


Рис. 84

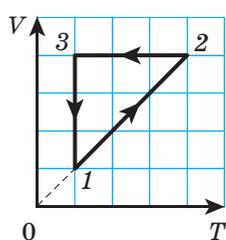


Рис. 85

стоянии 1, если газ за один цикл получил от нагревателя количество теплоты  $Q_1 = 1,2$  кДж.

- 459.** Тепловой двигатель работает по циклу, изображенному на рисунке 85. Рабочим телом двигателя является идеальный одноатомный газ, силы давления которого при изобарном расширении совершают работу  $A_{12} = 1,5$  кДж. Определите термический КПД теплового двигателя, если при изотермическом сжатии внешние силы совершают работу  $A_{31} = 0,90$  кДж.

- 460.** Идеальный одноатомный газ совершает замкнутый цикл, представленный на рисунке 86. Определите значение  $n$ , если термический КПД цикла  $\eta = 12,5\%$ .

- 461.** Для обеспечения работы двигателя внутреннего сгорания, эффективный КПД которого  $\eta_э = 20\%$ , запасен бензин объемом  $V = 6,6$  м<sup>3</sup>. Определите, на

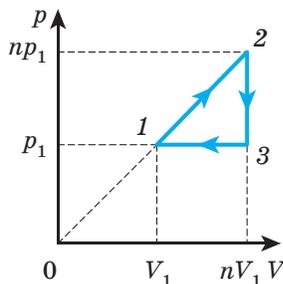


Рис. 86

сколько суток хватит запаса топлива при ежедневной работе в течение времени  $\tau = 7,0$  ч, если средняя мощность двигателя во время работы  $\langle P \rangle = 15$  кВт.

- 462.** Определите модуль скорости движения автобуса, если он расходует  $m = 30$  кг дизельного топлива на  $s = 100$  км пути. Мощность двигателя  $P = 105$  кВт. Его эффективный коэффициент полезного действия  $\eta_э = 35\%$ .

463. Определите эффективный КПД теплового двигателя мощностью  $P = 70$  кВт, если за промежуток времени  $\Delta t = 30$  мин он потребляет бензин объемом  $V = 9,2$  л.
464. Определите мощность двигателя автомобиля, если за промежуток времени  $\Delta t = 45$  мин он расходует бензин массой  $m = 4,0$  кг. Эффективный КПД теплового двигателя  $\eta_o = 25$  %.
465. Автомобиль движется с постоянной скоростью по горизонтальному участку дороги. На пути  $s = 50$  км он расходовал  $m = 3,5$  кг бензина. Определите модуль силы сопротивления, действующей на автомобиль, если эффективный КПД двигателя  $\eta_o = 32$  %.

# ЭЛЕКТРО- ДИНАМИКА

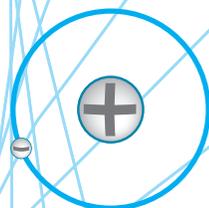
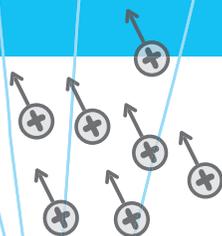
III. Электростатика

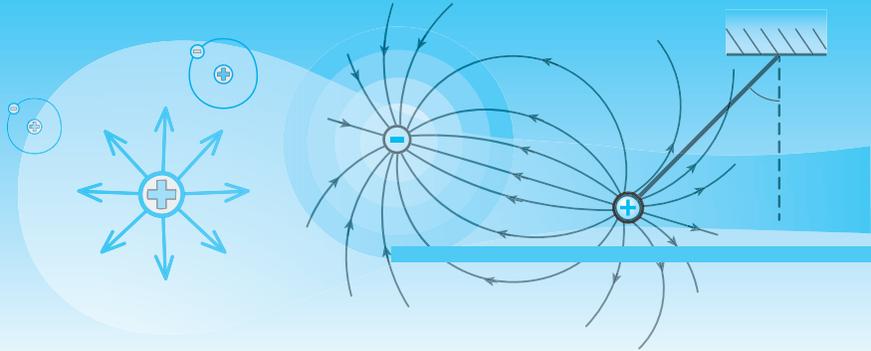
IV. Постоянный электрический ток

V. Магнитное поле.

Электромагнитная индукция

VI. Электрический ток в различных средах





### III. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

#### 13. Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Заряд тела	$q = e(N_p - N_e)$	$q$ — заряд тела; $N_p$ — число протонов в теле; $N_e$ — число электронов в теле; $e$ — элементарный заряд ( $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл)
Закон сохранения электрического заряда	$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const}$	$q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ — электрические заряды; $n$ — число зарядов в изолированной системе
Закон Кулона	$F = k \frac{ q_1  q_2 }{\epsilon r^2}$	$F$ — модуль силы взаимодействия двух неподвижных точечных заряженных тел; $ q_1 $ и $ q_2 $ — модули точечных зарядов; $r$ — расстояние между зарядами; $k$ — коэффициент пропорциональности $(k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2})$ ,

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
		где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ — электрическая постоянная); $\epsilon$ — диэлектрическая проницаемость вещества
Диэлектрическая проницаемость вещества	$\epsilon = \frac{F_0}{F}$	$\epsilon$ — диэлектрическая проницаемость вещества; $F_0$ — модуль силы электростатического взаимодействия зарядов в вакууме; $F$ — модуль силы электростатического взаимодействия зарядов в однородной среде
Принцип суперпозиции для кулоновских сил	$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$	$\vec{F}$ — результирующая сил, действующих на заряд $q$ со стороны других зарядов; $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ — силы, с которыми отдельные заряды действуют на заряд $q$

466. Как, используя эбонитовую палочку и кусок меха, определить знак заряда электроскопа?
467. Как, используя стеклянную палочку и кусок шелковой ткани, определить знак заряда воздушного шарика, потертого о целлофан?
468. Резиновую полоску потерли о пластмассовую пластинку вдвое большего объема. Равны ли модули зарядов, полученные в результате трения на полоске и пластинке?
469. К металлической гильзе, подвешенной на шелковой нити, поднесли отрицательно заряженную палочку.

- Является ли заряженной гильза, если она: а) притянулась к палочке; б) оттолкнулась от палочки?
470. Эбонитовая пластинка, потертая о кусок меха, зарядилась отрицательно, а мех — положительно. Изменилась ли масса пластинки и меха после электризации?
471. Стеклопалочкой, наэлектризованной шелковой тканью, коснулись стержня электромметра. Стрелка прибора отклонилась. Изменится ли показание электромметра, если его стержня коснуться шелковой тканью?
472. Заряженный шарик висит на тонкой шелковой нити. Как изменится сила натяжения нити, если снизу к шарiku поднести другой шарик, заряженный: а) одноименным зарядом; б) разноименным зарядом?
473. Иногда при нанесении краски пульверизатором на металлическую поверхность ей сообщают заряд одного знака, а капелькам краски — заряд противоположного знака. С какой целью заряжают краску и поверхность?
474. Металлические шарики равного радиуса сначала зарядили одноименными равными зарядами, а затем разрядили и снова зарядили, но разноименными зарядами, равными по величине первоначальным зарядам. С одинаковой ли электрической силой взаимодействовали шарики в этих случаях?
475. Легкая заряженная гильза висит на непроводящей нити. Если к гильзе поднести сильно наэлектризованную палочку, заряженную одноименным с гильзой зарядом, то иногда наблюдается не отталкивание гильзы от палочки, а притяжение ее к палочке. Как объяснить этот парадокс?
476. Первоначально нейтральный стержень электроскопа зарядили отрицательным зарядом  $q_1$ , затем стержню передали положительный заряд  $q_2$ . Какой электрический заряд оказался на стержне электроскопа, если  $q_2 = 3|q_1|$ ?

477. От капли воды, имеющей заряд  $q_1 = -20e$ , отделилась капелька с электрическим зарядом  $q_2 = -3e$ , где  $e$  — элементарный заряд. Определите заряд оставшейся капли воды.
478. Сколько электронов должна потерять пластмассовая линейка, чтобы приобрести заряд  $q = 3,2$  нКл?
479. Два металлических одинаковых шарика, электрические заряды которых  $q_1 = -9,6 \cdot 10^{-18}$  Кл и  $q_2 = 9,6 \cdot 10^{-18}$  Кл, привели в соприкосновение. Сколько электронов перешло с одного шарика на другой?
480. Определите суммарный заряд электронов, общая масса которых составляет  $m = 9,1 \cdot 10^{-12}$  кг.
481. Первоначально нейтральная эбонитовая палочка при трении о меховую ткань приобрела заряд  $q = -0,72$  нКл. Определите суммарную массу электронов, перешедших с ткани на палочку.
482. Заряд металлического шарика  $q_1 = 4$  нКл. На сколько увеличится заряд шарика, если его привести в соприкосновение с таким же металлическим шариком, заряд которого  $q_2 = 16$  нКл?
483. Два одинаковых металлических шарика с одноименными положительными зарядами, величины которых относятся как  $1 : 3$ , привели в соприкосновение. При этом заряд одного из шариков увеличился на  $\Delta q = 2 \cdot 10^{-10}$  Кл. Определите заряд каждого шарика до соприкосновения.
484. Два равных по размеру проводящих шарика с одноименными зарядами привели в соприкосновение. При этом заряд одного из шариков увеличился на  $40\%$ . Определите отношение зарядов шариков до соприкосновения.
485. При соприкосновении двух одинаковых проводящих шариков, заряды которых  $q_1$  и  $q_2$ , заряд первого шарика стал  $q'_1 = -\frac{q_1}{4}$ . Определите заряд второго шарика до соприкосновения.

486. После соприкосновения двух одинаковых металлических шариков, модули зарядов которых отличались в  $n = 5,0$  раза, заряд каждого шарика стал  $q = 24$  мкКл. Определите заряды шариков до соприкосновения, если известно, что они были разноименными и  $|q_2| > |q_1|$ .

487. Три одинаковых стальных шарика имеют заряды  $q_1 = 15$  пКл,  $q_2 = 75$  пКл и  $q_3 = -30$  пКл. Какими будут заряды каждого шарика, если их привести в соприкосновение двумя способами, показанными на рисунке 87, а, б?

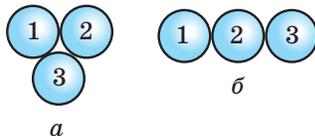


Рис. 87

488. Внутренняя энергия идеального одноатомного газа, находящегося при абсолютной температуре  $T$ , равна  $U$ . Какой заряд имел бы газ, если бы все его атомы были однократно ионизированы?

489. Какой заряд приобрел бы свинцовый шарик массой  $m = 207$  г, если бы каждый атом шарика потерял по одному электрону?

490. В баллоне объемом  $V = 20$  л содержится неон при давлении  $p = 120$  кПа. Средняя квадратичная скорость атомов газа  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 800 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Определите, каким будет суммарный заряд газа, если после облучения 10 % атомов однократно ионизируются.

491. Как изменится сила электростатического взаимодействия двух точечных зарядов: а) при увеличении модуля одного из зарядов в 2 раза; б) при уменьшении модуля каждого из зарядов в 2 раза; в) при увеличении расстояния между ними в 3 раза; г) при уменьшении расстояния между ними в 2 раза и уменьшении модуля каждого из зарядов на 10 %; д) при заполнении пространства между зарядами глицерином, диэлектрическая проницаемость которого  $\epsilon = 39$ ?

**492.** Два точечных заряда, находясь в вакууме, взаимодействуют друг с другом с силой, модуль которой  $F_0 = 8,0$  мН. Каким будет модуль силы взаимодействия между зарядами, если: а) модуль каждого из зарядов увеличить в два раза; б) расстояние между зарядами увеличить в два раза; в) заполнить пространство, окружающее заряды, веществом, диэлектрическая проницаемость которого  $\epsilon = 2,0$ ?

*П р и м е ч а н и е.* Если в задаче не указана среда, в которой находятся заряды, то считать, что заряды находятся в вакууме, диэлектрическая проницаемость которого  $\epsilon = 1$ .

**493.** Определите модуль силы взаимодействия двух точечных зарядов  $q_1 = 10$  нКл и  $q_2 = 15$  нКл, находящихся в вакууме на расстоянии  $r = 50$  мм друг от друга.

**494.** Два одинаковых точечных заряда отталкиваются в воздухе друг от друга с силой, модуль которой  $F = 4$  мН. Определите модуль каждого заряда, если расстояние между ними  $r = 3$  см.

**495.** Заряд  $q_1 = 2,5$  мкКл притягивается в вакууме к заряду  $q_2 = -1,6$  мкКл с силой, модуль которой  $F = 10$  Н. Определите расстояние между зарядами.

**496.** Точечный заряд  $q_1 = -1$  мкКл притягивается в керосине к заряду  $q_2 = 4$  мкКл, находящемуся на расстоянии  $r = 10$  см, с силой, модуль которой  $F = 1,8$  Н. Определите диэлектрическую проницаемость керосина.

**497.** Два точечных заряда, находясь в вакууме на расстоянии  $r_1 = 5,0$  см друг от друга, взаимодействуют с силой, модуль которой  $F_1 = 120$  мкН, а находясь в жидком диэлектрике на расстоянии  $r_2 = 10,0$  см, — с силой, модуль которой  $F_2 = 15$  мкН. Определите диэлектрическую проницаемость диэлектрика.

**498.** Два положительных точечных заряда, находясь в диэлектрике на расстоянии  $r = 10$  см друг от друга, отталкиваются с силой, модуль которой  $F = 1,8$  Н. Какова

величина второго заряда, если первый заряд  $q_1 = 1$  мкКл? Диэлектрическая проницаемость диэлектрика  $\varepsilon = 4$ .

499. Если расстояние между двумя точечными зарядами уменьшить на  $\Delta r = 20$  см, сила взаимодействия между ними увеличится в  $n = 4$  раза. Определите первоначальное расстояние между зарядами.
500. Модуль силы, с которой отталкиваются две отрицательно заряженные маленькие пылинки, находящиеся в воздухе на расстоянии  $r = 3,2$  см друг от друга,  $F = 9,0 \cdot 10^{-5}$  Н. Определите число «избыточных» электронов на каждой пылинке, если заряды пылинок одинаковы.
501. На рисунке 88 показано положение двух точечных зарядов  $q_1 = 1,0$  мкКл и  $q_2 = 2,5$  мкКл в прямоугольной системе координат  $xOy$ . Определите проекции на оси координат силы, действующей на второй заряд. Заряды расположены в вакууме.

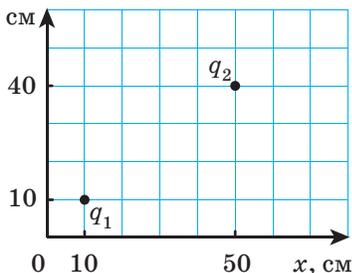


Рис. 88

502. Два заряженных шарика, находясь в вакууме на расстоянии, значительно превышающем их размеры, притягиваются друг к другу с некоторой силой, модуль которой равен  $F_0$ . В начальном состоянии заряды шариков равны  $|q_1| = |q_2|$ . Не изменяя расстояния между шариками, половину заряда с одного из них перенесли на другой. В результате модуль силы взаимодействия между шариками стал  $F = 12$  мН. Определите модуль силы  $F_0$ .
503. Во сколько раз изменится сила кулоновского отталкивания двух маленьких бусинок с первоначально одинаковыми зарядами, если, не изменяя расстояния между ними, перенести две трети заряда с одной бусинки на другую?

504. Два заряженных шарика, находясь в вакууме на расстоянии, значительно превышающем их размеры, притягиваются друг к другу с некоторой силой, модуль которой равен  $F_0$ . В начальном состоянии модули зарядов шариков одинаковы:  $|q_1| = |q_2|$ . Не изменяя расстояния между шариками, половину заряда с одного из них перенесли на другой. В результате модуль силы взаимодействия между шариками изменился на  $|\Delta F| = 12$  мкН. Определите модуль силы  $F_0$ .
505. Два металлических шарика равного диаметра находились в вакууме и имели заряды  $q_1 = -40$  мкКл и  $q_2 = 20$  мкКл. После соприкосновения шариков друг с другом и разведения их на прежнее расстояние модуль силы электростатического взаимодействия между ними стал  $F_1 = 11$  мН. Определите модуль силы электростатического взаимодействия между шариками до соприкосновения.
506. Два одинаковых по размеру одноименно заряженных маленьких металлических шарика находятся на расстоянии  $r_1 = 30$  см друг от друга. Заряд одного шарика в  $n = 9,0$  раза больше заряда другого. Шарики привели в соприкосновение и развели на расстояние  $r_2$ . Определите  $r_2$ , если сила взаимодействия между шариками осталась прежней.
507. Расстояние между точечными положительными зарядами увеличили на  $\Delta r = 24$  см, а величину каждого заряда увеличили в  $n = 3,0$  раза. Определите первоначальное расстояние между зарядами, если сила взаимодействия зарядов не изменилась.
508. Два одинаковых по размеру металлических шарика, находящиеся в вакууме, имеют заряды  $q_1 = 7$  мкКл и  $q_2 = -3$  мкКл. Шарики привели в соприкосновение и развели на некоторое расстояние  $r$ , после чего модуль силы их взаимодействия стал  $F = 0,4$  Н. Определите расстояние  $r$ .

- 509.** Два маленьких проводящих одинаковых по размерам шарика, находясь в воздухе, притягиваются друг к другу с силой, модуль которой  $F_1 = 1,6$  мкН. Модуль заряда одного из шариков в  $n = 4,0$  раза больше модуля заряда другого шарика. Определите модуль силы, с которой будут отталкиваться шарики, если их привести в соприкосновение и снова развести на прежнее расстояние.
- 510.** Два одинаковых металлических шарика притягиваются с некоторой силой. Шарики привели в соприкосновение и развели на расстояние в  $n = 2$  раза больше прежнего. При этом модуль силы взаимодействия между зарядами уменьшился в  $k = 5$  раз. Определите модуль заряда второго шарика до соприкосновения, если заряд первого шарика был  $q_1 = 15$  нКл.
- 511.** Два одинаковых проводящих шарика, обладающих зарядами  $q_1 = -50$  нКл и  $q_2 = 10$  нКл, находились на некотором расстоянии друг от друга. Их привели в соприкосновение и развели на прежнее расстояние. На сколько процентов при этом изменился модуль силы взаимодействия зарядов? Рассмотрите случай, когда первый шарик до соприкосновения имел заряд  $q_1 = 50$  нКл.
- 512.** Два одноименных точечных заряда, находящиеся в диэлектрике с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 6$  на расстоянии  $r = 2$  м друг от друга, отталкиваются с силой, модуль которой  $F = 3$  мН. Определите величину каждого заряда, если их суммарный заряд  $Q = 6$  мкКл.
- 513.** Шарик массой  $m = 90$  мг, находящийся в вакууме, подвешен на непроводящей нити и имеет заряд  $q_1 = 10$  нКл. После того как под шариком на расстоянии  $r = 10$  см от него поместили точечный заряд другого знака, сила натяжения нити увеличилась вдвое. Определите модуль точечного заряда.

- 514.** Тонкая шелковая нить, на которой в вакууме подвешен маленький шарик массой  $m = 600$  мг и зарядом  $q_1 = 16$  нКл, выдерживает максимальную силу натяжения, модуль которой  $F = 10$  мН. Снизу по одной вертикали к шарiku подносят другой маленький шарик, заряд которого  $q_2 = -9,0$  нКл. Определите максимальное расстояние между шариками, при котором нить разорвется.
- 515.** Два одинаковых небольших проводящих шарика массой  $m = 0,45$  г каждый подвешены на невесомых вертикальных нитях одинаковой длины  $l = 30$  см так, что их поверхности соприкасаются. После того как системе сообщили заряд, шарики разошлись так, что нити образовали между собой угол  $\varphi = 60^\circ$ . Определите заряд, сообщенный системе.
- 516.** Два одинаковых маленьких шарика массой  $m = 80$  г каждый подвешены в вакууме на невесомых нитях равной длины  $l = 30$  см. Свободные концы нитей закреплены в одной точке. Какой заряд надо сообщить каждому шарiku, чтобы нити разошлись под прямым углом друг к другу?
- 517.** Два маленьких шарика массой  $m = 6,0$  г каждый подвешены в вакууме на непроводящих легких нитях равной длины  $l = 13$  см. Свободные концы нитей закреплены в одной точке. Какой заряд надо сообщить каждому шарiku, чтобы они разошлись на расстояние  $r = 24$  см?
- 518.** На двух шелковых нитях равной длины в вакууме подвешен положительно заряженный шарик массой  $m = 1,8$  г (рис. 89). Снизу к нему подносят другой такой же шарик с таким же зарядом. При этом модуль силы натяжения каждой нити уменьшается в  $n = 2$  раза. Определите заряд каждого шарика, если расстояние между центрами шариков  $r = 1,0$  см.

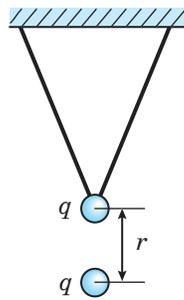


Рис. 89

519. Один из двух соприкасающихся и находящихся в вакууме одинаковых маленьких проводящих шариков неподвижно закреплен, а другой привязан к концу вертикальной невесомой нити длиной  $l = 20$  см. Масса каждого шарика  $m = 0,9$  г. Шарикам сообщили одинаковые электрические заряды, и нить отклонилась на угол  $\alpha = 60^\circ$  от вертикали. Какой заряд был сообщен каждому шарiku?

520. Маленький шарик массой  $m = 4$  г, заряженный положительным зарядом  $q_1 = 16$  нКл, подвешен в воздухе на невесомой непроводящей упругой нити. Когда к шарiku приблизили другой отрицательно заряженный шарик с зарядом  $q_2$ , нить отклонилась на угол  $\alpha = 45^\circ$  от вертикали, а расстояние между шариками стало  $r = 6$  см (рис. 90). Определите заряд  $q_2$ .

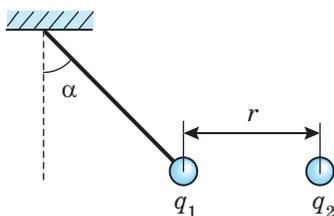


Рис. 90

521. Маленький шарик массой  $m = 2,0$  г и зарядом  $q = -0,10$  мкКл висит в воздухе на тонкой шелковой невесомой нити. На одной горизонтали с шариком расположен точечный заряд  $q_0 = -20$  нКл. Определите угол между нитью и вертикалью, если расстояние между шариком и точечным зарядом  $r = 3,0$  см.

522. Маленький шарик массой  $m$ , обладающий зарядом  $q_1 = -q$  (заряд  $q > 0$ ) и подвешенный на шелковой нити, вращают вокруг вертикальной оси так, что нить образует с вертикалью угол  $\alpha$ . Неподвижный заряд  $q_2 = q$  находится на оси вра-

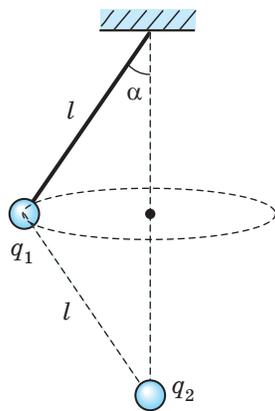


Рис. 91

щения на расстоянии  $l$  от шарика (рис. 91). Определите период обращения шарика. Длина нити равна  $l$ .

- 523.** Вокруг точечного заряда  $q_1 = 5,0$  нКл по окружности радиуса  $r = 3,0$  см в вакууме вращается с угловой скоростью  $\omega = 5,0 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  маленький отрицательно заряженный шарик. Определите отношение заряда шарика к его массе.
- 524.** Небольшой заряженный шарик, подвешенный на непроводящей нити, вращается в горизонтальной плоскости с угловой скоростью  $\omega_1 = 3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ , причем в центре описываемой им окружности расположен точно такой же заряд. Если знак заряда вращающегося шарика изменить на противоположный, то при том же радиусе вращения угловая скорость станет  $\omega_2 = 4 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ . Определите расстояние от точки подвеса шарика до плоскости его вращения.
- 525.** Два одинаковых маленьких шарика с зарядами  $q = -100$  нКл каждый движутся по окружности радиуса  $R = 10$  см вокруг закрепленного положительного заряда  $Q = |q| = 100$  нКл. При этом шарики находятся в диаметрально противоположных точках окружности. Определите угловую скорость обращения шариков, если масса каждого из них  $m = 0,30$  г.
- 526.** Подвешенный на непроводящей нити шарик массой  $m = 1,0$  г имеет заряд  $q = 3$  нКл и движется в горизонтальной плоскости по окружности радиусом  $r = 3,0$  см с угловой скоростью  $\omega_1 = 2,0 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ . В центр окружности поместили шар с таким же зарядом. Определите, какой должна стать угловая скорость вращения шарика, чтобы радиус окружности не изменился.

527. Маленький шарик массой  $m$  и зарядом  $q$ , подвешенный на непроводящей нити длиной  $l$ , вращается в вакууме вокруг вертикальной оси так, что нить образует с вертикалью угол  $\alpha$ . Определите модуль силы натяжения нити, если в точке подвеса нити находится еще один неподвижный точечный заряд  $q$ .

528. Два одинаковых заряженных шарика массой  $m = 5\sqrt{3}$  г и зарядом  $q = 5,0 \cdot 10^{-7}$  Кл каждый соединены двумя изолирующими невесомыми нитями длиной  $l$  и  $2l$ . Длина короткой нити  $l = 10$  см. Удерживая систему за середину длинной нити, начинают эту систему поднимать вверх с ускорением, модуль которого  $a = 5,0 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$  (рис. 92). Определите

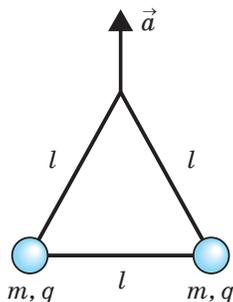


Рис. 92

модуль силы натяжения короткой нити, соединяющей шарики, во время их подъема.

529. Две маленькие плоские шайбы массами  $m_1 = m_0$  и  $m_2 = 2m_0$ , заряженные разноименными зарядами  $q_1 = 100$  нКл и  $q_2 = -100$  нКл, покоятся в вакууме на шероховатой горизонтальной непроводящей поверхности на расстоянии  $l = 10$  см друг от друга. При этом модуль силы кулоновского притяжения, действующей на шайбу  $m_1$ , равен модулю максимальной силы трения покоя, действующей на нее. Определите модуль минимальной горизонтально направленной силы, которую нужно приложить к шайбе  $m_2$ , чтобы она начала удаляться от шайбы  $m_1$ . Коэффициент трения покоя между шайбами и поверхностью одинаков.

530. Два одинаковых одноименно заряженных шарика висят на непроводящих невесомых нитях равной длины, закрепленных в одной точке. Определите плотность материала шариков, если угол расхождения нитей не

изменился после погружения шариков в жидкость плотностью  $\rho_{\text{ж}} = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  и диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 2,0$ .

- 531.** Два одноименно заряженных шарика массой  $m = 0,8$  г каждый подвешены в вакууме на тонких невесомых нерастяжимых и непроводящих нитях одинаковой длины. Нити, верхние концы которых привязаны в одной точке, образуют между собой угол  $\alpha = 90^\circ$ . Определите модуль силы натяжения нити, если всю систему погрузить в неэлектропроводящую жидкость, плотность которой равна плотности материала шариков, а ее диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon = 2$ .

- 532.** Маленькие шарики массой  $m = 10$  г каждый имеют одинаковые по модулю и противоположные по знаку заряды  $|q_1| = |q_2| = 1,0$  мкКл (рис. 93). Один из шариков подвешен на невесомой непроводящей пружине жесткостью  $k_{\text{п}} = 10 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  над другим шариком, который удерживается в равновесии шелковой нерастяжимой нитью. В начальном положении модуль силы кулоновского взаимодействия между шариками равен  $4mg$ . Прикладывая силу к верхнему концу пружины (точка  $O$ ), ее медленно поднимают. На какое минимальное расстояние нужно переместить вертикально вверх точку  $O$ ,



Рис. 93

стало равным нулю?

- 533.** Два маленьких одинаковых шарика заряжены равными по величине, но противоположными по знаку зарядами  $|q_1| = |q_2|$ . К шарикам прикреплены тонкие длинные легкие непроводящие нити, проходящие через одну вертикаль так, что расстояние между шариками равно  $r$  (рис. 94). После того как пространство заполнили

керосином, оказалось, что сила натяжения нити, к которой привязан второй шарик, не изменилась. Определите модуль силы натяжения этой нити и массу одного из шариков. Плотность керосина  $\rho_k$ , его диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ . Плотность вещества каждого шарика равна  $\rho$ .

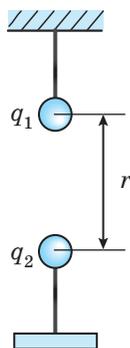


Рис. 94

- 534.** Точечные заряды  $q_1 = 54$  нКл и  $q_2 = 36$  нКл находятся в вакууме на расстоянии  $r_0 = 18$  см друг от друга. Определите модуль кулоновской силы, действующей на точечный заряд  $q_3 = 50$  нКл, помещенный на середине отрезка, соединяющего заряды.
- 535.** Два небольших шарика, заряды которых  $q_1 = -12$  нКл и  $q_2 = 24$  нКл, находятся в вакууме на расстоянии  $r = 9,0$  см друг от друга. Определите модуль кулоновской силы, действующей на заряд  $q_3 = 3,0$  нКл, помещенный между ними на расстоянии  $r_1 = 3,0$  см от первого заряда.
- 536.** После того как на середине отрезка, соединяющего два точечных одинаковых положительных заряда, поместили третий точечный заряд, система зарядов оказалась в равновесии (на каждый заряд равнодействующая сила электростатического взаимодействия стала равной нулю). Определите отношение модуля крайнего заряда к модулю среднего заряда.
- 537.** Два одинаковых точечных заряда находятся на некотором расстоянии друг от друга. Во сколько раз возрастет модуль силы, действующей на один из этих зарядов, если на середине прямой, соединяющей их, поместить третий: а) такой же по величине, но противоположный по знаку точечный заряд; б) такой же по знаку, но вдвое больший по величине точечный заряд?
- 538.** Три одинаковых незаряженных металлических шарика 1, 2 и 3 расположены вдоль одной прямой, и сосед-

ние шарики связаны между собой одинаковыми длинными изолирующими нитями. Четвертый такой же шарик зарядили и по очереди прикоснулись им к первым трем в порядке возрастания их номеров. Во сколько раз после этого отличаются силы натяжения нитей?

- 539.** Три одинаковых точечных заряда  $q_1 = q_2 = q_3 = q$  расположены на одной координатной оси  $Ox$  (рис. 95). Определите модуль кулоновской силы, действующей на третий заряд, если первый заряд действует на второй с силой, модуль которой  $F_{12} = 225$  мН.

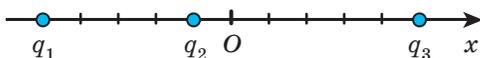


Рис. 95

- 540.** Точечные заряды  $q$ ,  $q$  и  $2q$  расположены на одной прямой друг за другом. Причем расстояние между соседними зарядами одинаково. На средний заряд действует сила, модуль которой  $F_1 = 2$  мН. Определите модуль силы, действующей на заряд  $2q$ .
- 541.** Два точечных заряда  $q$  и  $4q$  находятся в вакууме на расстоянии  $l$  друг от друга. Какой заряд нужно поместить и на каком расстоянии от заряда  $q$ , чтобы вся система находилась в равновесии?

- 542.** Три одинаковых металлических маленьких шарика с зарядами  $q_A = q > 0$ ,  $q_B = -3q < 0$  и  $q_C = q > 0$  расположены на прямой на равном расстоянии  $r$

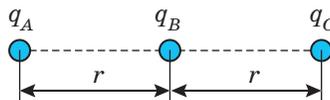


Рис. 96

друг от друга (рис. 96). Во сколько раз уменьшится модуль силы, действующей на заряд  $q_C$ , если шарики с зарядами  $q_A$  и  $q_B$  привести в соприкосновение и вернуть их на прежнее место?

- 543.** В вакууме в вершинах прямоугольного треугольника расположены точечные заряды  $q_1 = 64$  нКл,  $q_2 = -48$  нКл

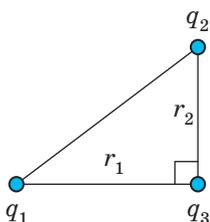


Рис. 97

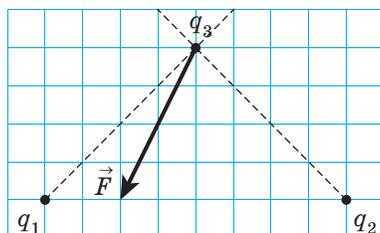


Рис. 98

и  $q_3 = 10$  нКл (рис. 97). Определите модуль кулоновской силы, действующей на заряд  $q_3$ . Расстояние  $r_1 = 80$  мм,  $r_2 = 60$  мм.

- 544.** Два положительных точечных заряда  $q_1$  каждый находятся в вакууме на расстоянии  $r$  друг от друга. Определите модуль силы, с которой они действуют на положительный точечный заряд  $q_2$ , находящийся на расстоянии  $r$  от каждого из них. Рассмотрите случай, если один из зарядов  $q_1$  отрицательный.
- 545.** Три точечных заряда  $q_1$ ,  $q_2$  и  $q_3$  лежат в одной плоскости. Результирующая  $\vec{F}$  кулоновских сил, с которыми точечные заряды  $q_1$  и  $q_2$  действуют на отрицательный заряд  $q_3$ , показана на рисунке 98. Определите соотношение между зарядами  $q_1$  и  $q_2$ .
- 546.** В вершинах правильного треугольника со стороной  $a$  расположены в вакууме одинаковые положительные точечные заряды  $q$ . Определите модуль силы, действующей со стороны двух зарядов на третий. Какой отрицательный заряд надо поместить в центр треугольника, чтобы вся система зарядов находилась в равновесии?
- 547.** В двух вершинах правильного треугольника со стороной  $a$  расположены в дистиллированной воде положительные точечные заряды  $q$ . В третьей вершине расположен отрицательный заряд  $-q$ . Определите модуль силы, действующей на один из положительных зарядов. Диэлектрическая проницаемость воды равна  $\epsilon$ .

548. В каждой вершине правильного треугольника расположены в вакууме одинаковые точечные заряды  $q = 1,0$  мкКл. Определите модуль силы, действующей на заряд  $q_0 = 16$  нКл, помещенный на середине одной из сторон треугольника. Сторона треугольника  $a = 8,0$  см.

549. Два точечных заряда  $q_1 = 5 \cdot 10^{-4}$  Кл и  $q_2 = -5 \cdot 10^{-4}$  Кл расположены в вакууме на расстоянии  $l = 10$  см друг от друга (рис. 99). Определите модуль кулоновской силы, действующей на капельку масла, расположенную в точке  $A$  на расстоянии  $r = 5$  см от середины отрезка, соединяющего заряды  $q_1$  и  $q_2$ . Капелька содержит  $n = 1 \cdot 10^{10}$  «избыточных» электронов.

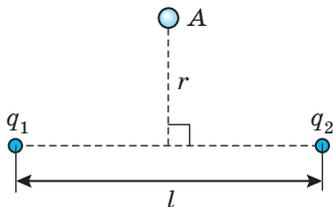


Рис. 99

550. Два точечных заряда  $q_1 = q_2 = 25$  нКл расположены в вакууме на расстоянии  $r = 24$  см друг от друга. Определите модуль равнодействующей силы, с которой эти заряды действуют на третий точечный заряд  $q_3 = 2$  нКл, помещенный в точку, удаленную на  $l = 15$  см от каждого из зарядов. Рассмотрите случай, когда заряды  $q_1$  и  $q_2$  разноименные.

551. В вакууме на одинаковом расстоянии друг от друга на окружности, радиус которой  $R = 9,0$  см, закреплены точечные заряды  $q_1 = q_2 = 3,0$  нКл и  $q_3 = -3,0$  нКл. Определите модуль результирующей электростатических сил, с которыми будут действовать эти заряды на точечный заряд  $q_0 = 1,5$  нКл, если его поместить в центр окружности.

552. Три точечных заряда  $q_1 = q = 10$  мкКл,  $q_2 = 2q$  и  $q_3 = -3q$  расположены в вакууме на окружности радиусом  $R = 30$  см (рис. 100). Определите модуль кулоновской силы, действующей на заряд  $q_1$ .

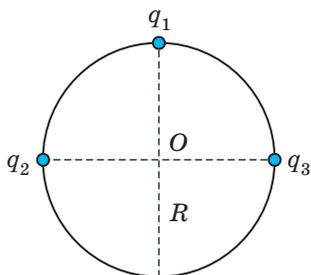


Рис. 100

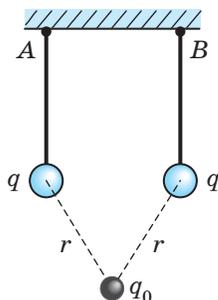


Рис. 101

- 553.** Два одинаковых шарика, заряженные равными одноименными зарядами  $q = 1,6$  мкКл каждый, подвешены в вакууме на одной высоте на непроводящих легких нитях равной длины. Расстояние между точками подвеса  $AB = 20$  см (рис. 101). Какой заряд нужно поместить на расстоянии  $r = 20$  см от каждого из шариков, чтобы нити были расположены вертикально?
- 554.** В вакууме в противоположных вершинах квадрата со стороной  $a = 10$  см расположены два точечных положительных заряда  $q_1 = 3$  нКл и  $q_2 = 4$  нКл. В третью вершину помещают заряд  $q_3 = 2$  нКл. Определите модуль силы, действующей на третий заряд.
- 555.** Четыре одинаковых точечных заряда  $q$  каждый расположены в вакууме в вершинах квадрата со стороной  $a$ . Определите модуль силы, действующей со стороны трех зарядов на четвертый. Какой заряд следует поместить в центр квадрата, чтобы равнодействующая кулоновских сил, действующих на каждый заряд, была равна нулю?
- 556.** В вершинах квадрата в вакууме находятся точечные заряды  $+q, +q, -q, -q$ . Причем на одной диагонали квадрата расположены разноименные заряды. На заряд  $q_0 = 4,0$  нКл, находящийся в центре квадрата, действует

кулоновская сила, модуль которой  $F = 9\sqrt{2}$  мН. Определите модуль каждого заряда, помещенного в вершины квадрата. Сторона квадрата  $a = 8,0$  см.

557. В двух противоположных вершинах квадрата находятся одинаковые заряды  $q = 1,0$  мкКл каждый. Во сколько раз увеличится модуль силы, действующей на один из этих зарядов, если в две другие вершины квадрата поместить заряды  $q_1 = 1,0$  мкКл и  $q_2 = -1,0$  мкКл?

558. Четыре положительных точечных заряда  $q_1 = q_3 = 5,0$  нКл,  $q_2 = q_4 = 7,0$  нКл, находящиеся в воздухе, связаны легкими шелковыми нитями одинаковой длины так, что они образуют два равносторонних треугольника, длины сторон которых  $l = 90$  мм (рис. 102). Определите модуль силы натяжения нити, связывающей заряды  $q_2$  и  $q_4$ .

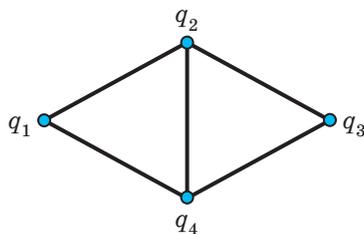


Рис. 102

559. Три одинаковых маленьких шарика, соединенные вместе двумя непроводящими пружинами жесткостью  $k_{\text{п}}$  каждая, расположены в воздухе вдоль одной прямой на гладкой горизонтальной поверхности. Расстояние между крайними шариками  $l_0$ . После того как каждому шарiku сообщили равные одноименные заряды, расстояние между крайними шариками стало равным  $l$ . Какой заряд сообщили каждому шарiku?
560. Три шарика соединены между собой одинаковыми резиновыми шнурами длиной  $l_0$  каждый так, что получился правильный треугольник. Система лежит на гладком горизонтальном столе. Какие одинаковые заряды надо сообщить шарикам, чтобы площадь треугольника увеличилась в  $n = 4$  раза? Жесткость каждого шнура равна  $k_{\text{ш}}$ .

## 14. Напряженность электростатического поля

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Напряженность электростатического поля	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$	$\vec{E}$ — напряженность электростатического поля; $q_0$ — пробный заряд; $\vec{F}$ — сила, действующая на пробный заряд
Напряженность поля, созданного точечным зарядом	$E = k \frac{ q }{\varepsilon r^2}$	$E$ — модуль напряженности поля, созданного точечным зарядом; $ q $ — модуль заряда, создающего электростатическое поле; $r$ — расстояние между точечным зарядом и точкой, в которой определяют напряженность; $k$ — коэффициент пропорциональности $(k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2},$ где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ — электрическая постоянная); $\varepsilon$ — диэлектрическая проницаемость вещества
Принцип суперпозиции электростатических полей, созданных точечными зарядами	$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n$	$\vec{E}$ — напряженность электростатического поля; $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3, \dots, \vec{E}_n$ — напряженность электростатического поля в данной

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
		точке, созданного первым, вторым, третьим, ... , $n$ -м точечным зарядом в отдаленности

- 561.** На точечный заряд  $q = 200$  нКл, находящийся в некоторой точке электростатического поля, действует сила, модуль которой  $F = 15$  мН. Определите модуль напряженности электростатического поля в этой точке.
- 562.** В некоторой точке электростатического поля модуль напряженности  $E = 1,15 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . В эту точку внесен точечный заряд, на который действует сила, модуль которой  $F = 23$  мкН. Определите модуль точечного заряда.
- 563.** В некоторой точке электростатического поля модуль напряженности  $E = 1,5 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . Определите модуль силы, с которой электростатическое поле действует на точечный заряд  $q = 56$  мкКл, помещенный в эту точку.
- 564.** Заряженная частица находится в вакууме и создает электростатическое поле. В точке  $A$  модуль напряженности этого поля  $E_0 = 6 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . Пространство, окружающее частицу, заполняют керосином, диэлектрическая проницаемость которого  $\varepsilon = 2$ . Определите модуль силы, с которой будет действовать электростатическое поле на заряд  $q = 3$  нКл, помещенный в точку  $A$ .
- 565.** Определите модуль силы, с которой однородное электростатическое поле действует на движущийся в нем электрон, если модуль напряженности поля  $E = 2,5 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . Пренебрегая силой тяжести, действующей на электрон, опишите характер его движения, если электрон влетел

- в поле: а) по направлению вектора  $\vec{E}$ ; б) против направления вектора  $\vec{E}$ ; в) перпендикулярно вектору  $\vec{E}$ .
- 566.** Подвешенный на шелковой невесомой нити положительно заряженный шарик массой  $m = 40$  г находится в однородном горизонтальном электростатическом поле, модуль напряженности которого  $E = 160 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . Определите заряд шарика, если нить образует с вертикалью угол  $\alpha = 45^\circ$ .
- 567.** В вакууме в однородном электростатическом поле, вектор напряженности которого направлен вертикально вверх, находится в равновесии пылинка массой  $m = 4,0 \cdot 10^{-8}$  кг и зарядом  $q = 4,0$  нКл. Определите: а) модуль напряженности поля; б) модуль ускорения, с которым начнет двигаться пылинка, если ее заряд уменьшить вдвое; в) модуль ускорения, с которым начнет двигаться пылинка, если, не изменяя ее заряда, уменьшить напряженность поля на 25 %.
- 568.** Маленький шарик, подвешенный в вакууме на невесомой шелковой нити, имеет заряд  $q = 0,60$  мкКл и массу  $m = 8,0$  г. Определите модуль силы натяжения нити, если шарик помещен в однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого  $E = 100 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ , а линии напряженности поля направлены: а) вертикально вниз; б) вертикально вверх; в) горизонтально.
- 569.** На столе в вертикальном положении закреплена упругая непроводящая пружина жесткостью  $k$ . Сверху на пружине лежит шарик, заряженный положительным зарядом  $q$ . После включения однородного электростатического поля, вектор напряженности которого направлен вертикально вниз, длина пружины уменьшилась на  $|\Delta x|$ . Определите модуль напряженности электростатического поля.

570. В вакууме в однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого  $E = 1,0 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}$ , на непроводящей легкой нити висит шарик массой  $m = 2,0$  г и зарядом  $q = 20$  нКл. Определите модуль силы натяжения нити, если вектор напряженности поля направлен вверх под углом  $\alpha = 60^\circ$  к вертикали.
571. Шарик массой  $m = 2,0$  г и зарядом  $q = 1,0$  мкКл подвешен в вакууме на невесомой непроводящей нити, другой конец которой закреплен. После того как систему поместили в однородное вертикально направленное электростатическое поле, модуль силы натяжения нити остался таким же, как и при отсутствии поля. Определите модуль напряженности поля.
572. Протон разгоняется из состояния покоя в однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого  $E = 3,0 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}$ . Определите модуль скорости протона через промежуток времени  $\Delta t = 1,0$  нс после начала движения.
573. Электрон движется по направлению силовых линий однородного электростатического поля, модуль напряженности которого равен  $E$ . Пренебрегая силой тяжести, действующей на электрон, определите путь, пройденный электроном до остановки, если модуль его начальной скорости равен  $v_0$ . За какой промежуток времени будет пройден этот путь?
574. Ось координат  $Ox$  направлена вдоль силовой линии однородного электростатического поля, в котором по направлению вектора напряженности движется заряженная частица массой  $m = 6,0 \cdot 10^{-12}$  кг и зарядом  $q = 3$  мкКл. Зависимость координаты частицы от времени имеет вид:  $x = At + Bt^2$ , где  $A = 2 \frac{\text{КМ}}{\text{с}}$ ,  $B = 5 \cdot 10^5 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$ .

Определите модуль напряженности электростатического поля. Силой тяжести, действующей на частицу, пренебречь.

- 575.** Две заряженные частицы находятся в вакууме на расстоянии  $l = 1,0$  м друг от друга. Заряд первой частицы  $q_1 = -2,0$  мкКл, ее масса  $m_1 = 2,0$  мг. Заряд второй частицы  $q_2 = 4,0$  мкКл, ее масса  $m_2 = 4,0$  мг. Определите модуль напряженности однородного электростатического поля, которое необходимо создать, чтобы частицы двигались с одинаковыми ускорениями, т. е. расстояние между ними не изменялось. Силой тяжести, действующей на частицы, пренебречь.
- 576.** В вакууме в однородном электрическом поле, вектор напряженности которого направлен горизонтально, на гладкой непроводящей горизонтальной поверхности находятся два небольших шарика, заряженные равными по величине, но противоположными по знаку зарядами  $|q_1| = |q_2| = 30$  мкКл. Шарик, соединенные невесомой непроводящей упругой пружиной жесткостью  $k_{\text{п}} = 3,0 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ , лежат на одной силовой линии. При этом пружина не деформирована. Определите модуль напряженности поля, если при изменении направления поля на противоположное пружина сжимается вдвое.
- 577.** Шарик с зарядом  $q = 0,10$  мкКл плавает в керосине в однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого в этой жидкости  $E = 2,1 \cdot 10^5 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ . Плотность керосина  $\rho_1 = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , плотность вещества шарика  $\rho_2 = 1,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ . Определите массу шарика, если он плавает, полностью погрузившись в керосин.
- 578.** Железный шар радиусом  $R$  и зарядом  $q$  помещен в керосин, плотность которого  $\rho_{\text{к}}$ . Определите модуль

напряженности однородного электростатического поля в керосине, если шар плавает, полностью погрузившись в эту жидкость. Плотность железа равна  $\rho_{\text{ж}}$ .

- 579.** Заряженный алюминиевый шарик подвешен на непроводящей легкой тонкой нити в вакууме и находится в однородном горизонтально направленном электростатическом поле. Во сколько раз необходимо увеличить модуль напряженности поля, чтобы при помещении этой системы в воду угол между нитью и вертикалью не изменился? Диэлектрическая проницаемость воды  $\epsilon = 81$ . Плотность алюминия  $\rho_{\text{ал}} = 2,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ , плотность воды  $\rho_{\text{в}} = 1,0 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

- 580.** Положительно заряженная частица влетает в пространство между двумя разноименно заряженными параллельными пластинами на равном расстоянии от них. Начальная скорость частицы направлена параллельно пластинам. Модуль этой скорости  $v_0 = 980 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . Расстояние между пластинами  $d = 20$  мм. Модуль однородного электростатического поля, созданного между пластинами,  $E = 5,0 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . Определите удельный заряд  $\left(\frac{q}{m}\right)$  частицы, если к моменту касания одной из пластин частица пролетела вдоль нее расстояние  $l = 20$  см. Силой тяжести, действующей на частицу, пренебречь.

- 581.** Электрон влетает в пространство между двумя разноименно заряженными параллельными пластинами на равном расстоянии от них. Через какое время электрон попадет на одну из пластин? Определите модуль скорости в момент касания пластины. Скорость электрона при влете параллельна пластинам, а ее модуль равен  $v_0$ .

Модуль напряженности однородного электростатического поля между пластинами равен  $E$ . Расстояние между пластинами  $d$ . Силой тяжести, действующей на электрон, пренебречь.

- 582.** Однородное электростатическое поле создано двумя горизонтальными разноименно заряженными параллельными пластинами. Протон и  $\alpha$ -частица, двигаясь с одинаковыми скоростями, влетают в это поле перпендикулярно вектору напряженности. Заряд и масса  $\alpha$ -частицы соответственно в два и четыре раза больше заряда и массы протона ( $q_\alpha = 2q_p$ ,  $m_\alpha = 4m_p$ ). Определите, во сколько раз отличаются отклонения частиц от прямолинейного распространения при вылете из области поля. Силой тяжести, действующей на частицы, пренебречь.
- 583.** Электрон влетает между двумя разноименно заряженными параллельными пластинами параллельно им. Длина пластин  $l$ . Модуль напряженности однородного электростатического поля между пластинами равен  $E$ . Определите модуль начальной скорости электрона, если, пролетев между пластинами, электрон отклонился на расстояние  $h$ . Силой тяжести, действующей на электрон, пренебречь.
- 584.** На шелковой нити длиной  $l$  подвешен маленький шарик массой  $m$  и положительным зарядом  $q$ . Шарик обращается с постоянной угловой скоростью вокруг вертикальной оси в однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого равен  $E$ , а вектор напряженности направлен вертикально вниз. Определите угловую скорость обращения шарика и модуль силы натяжения нити, если угол, образуемый нитью и вертикалью, равен  $\alpha$ . Найдите кинетическую энергию шарика.
- 585.** Подвешенный на легкой нерастяжимой непроводящей нити шарик массой  $m = 10$  г движется в горизонтальной плоскости по окружности со скоростью, модуль которой

постоянен. Во сколько раз изменится период обращения шарика по прежней траектории, если ему сообщить заряд  $q = 30$  мкКл и создать однородное направленное вертикально вниз электростатическое поле, модуль напряженности которого  $E = 10 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ ?

- 586.** Модуль напряженности электростатического поля точечного заряда в вакууме в точке, расположенной на расстоянии  $r = 25$  см от него,  $E = 7,2 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . Определите модуль этого заряда.
- 587.** На каком расстоянии от точечного заряда  $q = -8$  мкКл, находящегося в вакууме, модуль напряженности электростатического поля  $E = 0,8 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}$ ? Постройте график зависимости модуля напряженности электростатического поля заряда  $q$  от расстояния до него.
- 588.** Точечный заряд создает в некоторой точке в вакууме электростатическое поле, модуль напряженности которого  $E_0 = 600 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ . Каким будет модуль напряженности поля в этой точке, если заряд увеличить в  $n = 5,0$  раза, а пространство вокруг него заполнить керосином с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2,0$ ?
- 589.** Во сколько раз модуль напряженности электростатического поля точечного заряда на расстоянии  $r_1 = 25$  см от него отличается от модуля напряженности поля этого же заряда на расстоянии  $r_2 = 75$  см?
- 590.** Определите модуль напряженности электростатического поля в точке, удаленной на расстояние  $r_1 = 60$  см от точечного заряда, создающего поле, если в точке, удаленной на расстояние  $r_2 = 20$  см от него, модуль напряженности поля  $E_2 = 0,90 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ .

591. Вследствие «стекания заряда» с маленького шарика модуль напряженности электростатического поля на расстоянии  $r = 30$  см от него уменьшился на  $|\Delta E| = 200 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ . На сколько уменьшился заряд шарика?
592. В точке  $A$  модуль напряженности электростатического поля, созданного точечным зарядом,  $E_A = 3,60 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ , а в точке  $C$ , лежащей на той же силовой линии, что и точка  $A$ ,  $E_C = 225 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ . Определите модуль напряженности электростатического поля на середине отрезка  $AC$ .

593. Модуль напряженности электростатического поля, созданного точечным зарядом  $q$ , находящимся в вершине прямого угла (рис. 103), в точке  $A$  и  $C$  соответственно равен  $E_A = 0,2 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$  и  $E_C = 0,1 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . Определите модуль напряженности поля в точке  $B$ .

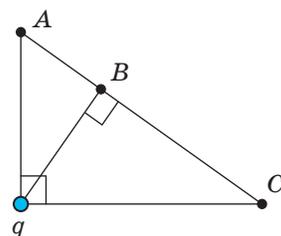


Рис. 103

594. На рисунке 104,  $a$ — $г$  изображены векторы напряженности электростатических полей в точках, равноудаленных от точечных зарядов, модули которых одинаковы. Заряды помещены в различные однородные диэлектрики. Укажите знаки зарядов и наибольшую диэлектрическую проницаемость среды.

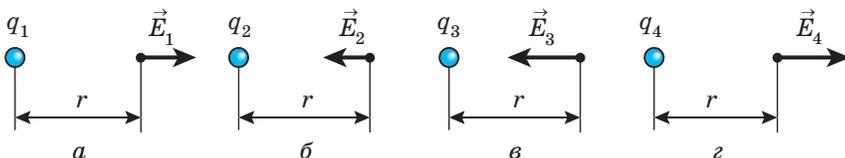


Рис. 104

595. На рисунке 105 в точке  $A$  показан вектор напряженности  $\vec{E}$  электростатического поля, созданного малень-

ким шариком, заряд которого  $Q$ . Избытком или недостатком электронов образован заряд шарика?



Рис. 105

596. Изобразите линии напряженности электростатического поля, созданного точечным: а) положительным зарядом  $q$ ; б) отрицательным зарядом  $-2q$ .
597. Как направлена сила электростатического поля, действующая: а) на отрицательно заряженный ион, помещенный в точку  $A$ ; б) положительно заряженный ион, помещенный в точку  $B$  (рис. 106)?

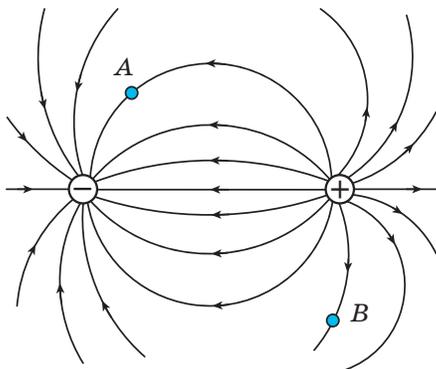


Рис. 106

598. Два маленьких одинаковых по размеру проводящих шарика имеют заряды  $q_1 = 49$  мкКл и  $q_2 = -17$  мкКл. Шарики сначала привели в соприкосновение, а затем расположили их в вакууме на расстоянии  $r = 90$  см друг от друга. Определите модуль напряженности электростатического поля в точке, находящейся на расстоянии  $r_1 = 30$  см от одного из зарядов и лежащей на отрезке, соединяющем эти заряды.
599. Два разноименных точечных заряда  $q_1 = 4$  нКл и  $q_2 = -4$  нКл находятся в вакууме на расстоянии  $l = 60$  см друг от друга. Определите модуль напряженности поля в точке, расположенной на середине отрезка, соединяющего заряды.

600. Два одинаковых по величине точечных заряда находятся на некотором расстоянии друг от друга. В каком случае напряженность в точке, лежащей посередине между зарядами, больше: если заряды одноименные или разноименные?

601. Два разноименных заряда  $q_1$  и  $q_2$  (рис. 107), модули которых равны, создают электростатическое поле. В какой точке — 1, 2 или 3 — на пробный заряд действует наибольшая сила?

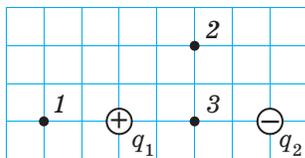


Рис. 107

602. Два точечных заряда  $q_1 = +25q$  и  $q_2 = -9q$  расположены на расстоянии  $l = 10$  см друг от друга. На каком расстоянии от второго заряда на линии, проходящей через эти заряды, напряженность электростатического поля равна нулю?

603. Электростатическое поле создано двумя положительными точечными зарядами  $q_1 = 9,0$  нКл и  $q_2 = 4,0$  нКл. Определите расстояние между этими зарядами, если известно, что точка, в которой напряженность поля равна нулю, находится на расстоянии  $r = 33$  см от первого заряда.

604. Два точечных заряда  $q_1 = 10$  нКл и  $q_2 = 90$  нКл, находящиеся в вакууме, взаимодействуют с силой, модуль которой  $F = 90$  мкН. Определите модуль напряженности электростатического поля в точке, являющейся серединой отрезка, соединяющего заряды.

605. На середине отрезка, соединяющего два точечных неподвижных заряда  $q_1 = 2,0$  нКл и  $q_2 = -4,0$  нКл, модуль результирующей напряженности поля  $E = 600 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ . Определите в этой же точке модуль напряженности поля, созданного только первым зарядом.

606. Расстояние между двумя положительными точечными зарядами  $r = 8$  см. На расстоянии  $r_1 = 6$  см от первого заряда на прямой, соединяющей заряды, напряженность поля равна нулю. Определите отношение зарядов.

607. Три одинаковых точечных заряда  $q$  каждый расположены в вакууме вдоль прямой линии (рис. 108). Расстояние между соседними зарядами равно  $l$ . Опре-

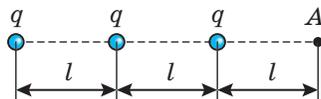


Рис. 108

делите модуль результирующей напряженности электростатического поля, созданного этими зарядами, в точке  $A$ .

608. В вакууме в точке  $A$  расположен точечный заряд  $q_1$ , а в точке  $B$  — точечный заряд  $q_2$  (рис. 109). Определите проекцию на ось  $Ox$  результирующего вектора напряженности электростатического поля, созданного этими зарядами, в точках  $C$  и  $D$ . Решите задачу для следующих значений зарядов: а)  $q_1 = 40$  нКл,  $q_2 = 10$  нКл; б)  $q_1 = 40$  нКл,  $q_2 = -10$  нКл; в)  $q_1 = -40$  нКл,  $q_2 = 10$  нКл; г)  $q_1 = -40$  нКл,  $q_2 = -10$  нКл.

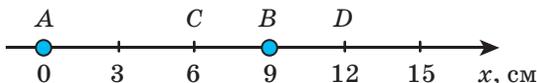


Рис. 109

609. В пространстве созданы два однородных электростатических поля, модули напряженностей которых  $E_1 = 1,2 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$  и  $E_2 = 1,6 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . Определите модуль результирующей напряженности электростатического поля, если линии напряженности этих полей взаимно перпендикулярны.

610. Два точечных заряда  $q_1 = -60$  нКл и  $q_2 = 80$  нКл находятся в вакууме (рис. 110). Определите модуль

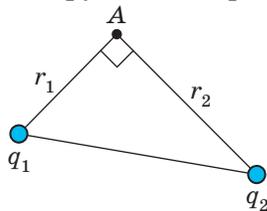


Рис. 110

результатирующей напряженности электростатического поля, созданного этими зарядами, в точке  $A$ , если расстояние  $r_1 = 15$  см,  $r_2 = 20$  см.

- 611.** В двух вершинах равностороннего треугольника помещены одинаковые точечные заряды  $q_1 = q_2 = 2,8$  мкКл. Какой точечный заряд следует поместить в середину стороны, соединяющей эти заряды, чтобы напряженность электростатического поля в третьей вершине треугольника стала равной нулю?
- 612.** Два одинаковых точечных заряда  $q$  каждый находятся в вакууме на расстоянии  $r$  друг от друга. Определите модуль напряженности электростатического поля в точке, удаленной на расстояние  $r$  от каждого из зарядов.
- 613.** Два точечных заряда, модуль каждого из которых  $q = 6,25$  мкКл, расположены в вакууме на расстоянии  $r_1 = 6,0$  см друг от друга. Определите модуль напряженности поля в точке, удаленной на  $r_2 = 5,0$  см от каждого из зарядов. Решите задачу для случаев: а) оба заряда положительные; б) один заряд положительный, а другой — отрицательный.
- 614.** В двух противоположных вершинах квадрата со стороной  $a = 30$  см находятся в вакууме заряды  $q = 2,0 \cdot 10^{-7}$  Кл каждый. Определите модуль напряженности поля в двух других вершинах квадрата.
- 615.** Точечные заряды  $q_1 = 5,0$  нКл и  $q_2 = -5,0$  нКл расположены в вакууме в двух вершинах равностороннего треугольника, сторона которого  $r = 30$  см. Определите модуль напряженности электростатического поля в третьей вершине треугольника.
- 616.** В двух вершинах равностороннего треугольника находятся положительные точечные заряды, а в третьей —

отрицательный. Модули всех зарядов одинаковы. Определите модуль напряженности электростатического поля, созданного этими зарядами, в центре треугольника, если в точке, расположенной на середине стороны треугольника, соединяющего одноименные заряды,

$$E = 10 \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

- 617.** В вакууме в вершинах двух острых углов ромба, составленного из двух равносторонних треугольников со стороной  $a$ , помещены положительные заряды  $q_1$ . В вершине одного из тупых углов находится положительный заряд  $q_2$ . Определите модуль напряженности электростатического поля в четвертой вершине ромба.
- 618.** Три одинаковых маленьких металлических шарика, имеющие заряды  $q_1 = 30,0$  нКл,  $q_2 = -20,0$  нКл и  $q_3 = 5,0$  нКл, сначала привели в соприкосновение, а затем развели их и поместили в вакууме в вершины квадрата со стороной  $a = 10$  см. Определите модуль напряженности электростатического поля в четвертой вершине квадрата, если все шарики после соприкосновения были заряженными.
- 619.** В вакууме в двух вершинах правильного треугольника со стороной  $a = 20$  см находятся точечные заряды по  $q_1 = 14$  пКл каждый, а в третьей вершине — точечный заряд  $q_2 = -2$  пКл. Определите модуль напряженности электростатического поля в середине стороны, соединяющей разноименные заряды.
- 620.** В двух вершинах правильного треугольника со стороной  $a = 30$  см в вакууме находятся разные по знаку, но равные по величине точечные заряды  $|q_1| = |q_2| = 25$  пКл, а в третьей вершине — точечный заряд  $q_3 = 55$  пКл. Определите модуль напряженности поля в центре треугольника.

## 15. Работа сил электростатического поля. Потенциал

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Потенциал электростатического поля	$\varphi = \frac{W_{\text{п}}}{q_0}$	$\varphi$ — потенциал электростатического поля; $q_0$ — пробный заряд; $W_{\text{п}}$ — потенциальная энергия взаимодействия пробного заряда и электростатического поля, в котором находится этот заряд
Потенциал электростатического поля, созданного точечным зарядом	$\varphi = k \frac{q}{\varepsilon r}$	$q$ — точечный заряд, создающий электростатическое поле; $r$ — расстояние между точечным зарядом и точкой, в которой определяют потенциал; $k$ — коэффициент пропорциональности $\left( k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \right),$ где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ — электрическая постоянная); $\varepsilon$ — диэлектрическая проницаемость вещества
Работа сил электростатического поля	$A = -\Delta W_{\text{п}},$ где $\Delta W_{\text{п}} = W_{\text{п}2} - W_{\text{п}1}$	$A$ — работа сил электростатического поля при перемещении заряда из начальной точки в конечную; $\Delta W_{\text{п}}$ — изменение потенциальной энергии взаимодействия заряда и электростатического поля; $W_{\text{п}1}$ и $W_{\text{п}2}$ — потенциальные энергии взаимодействия заряда и электростатического поля

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
		в начальной точке <i>1</i> и конечной точке <i>2</i> этого поля
Работа силы однородного электростатического поля	$A_{12} = qEd_{12}$	$A_{12}$ — работа силы однородного электростатического поля при перемещении заряда из начальной точки <i>1</i> в конечную точку <i>2</i> ; $q$ — заряд, который перемещают; $E$ — модуль напряженности однородного электростатического поля; $d_{12}$ — проекция перемещения $\Delta r_{12}$ заряда из начальной точки <i>1</i> в конечную точку <i>2</i> на направление напряженности поля
Работа сил электростатического поля и разность потенциалов	$A_{12} =$ $= q(\varphi_1 - \varphi_2)$ или $A_{12} = qU_{12}$	$A_{12}$ — работа сил электростатического поля при перемещении заряда из начальной точки <i>1</i> в конечную точку <i>2</i> ; $q$ — заряд, который перемещают; $\varphi_1 - \varphi_2$ — разность потенциалов при перемещении заряда из начальной точки <i>1</i> в конечную точку <i>2</i> поля; $U_{12}$ — напряжение между точками <i>1</i> и <i>2</i> электростатического поля
Принцип суперпозиции электростатических полей (для потенциала)	$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 +$ $+ \dots + \varphi_n$	$\varphi$ — потенциал электростатического поля системы точечных зарядов; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$ — потенциал электростатического поля в данной точке, созданного первым, вторым, третьим, ..., $n$ -м точечным зарядом в отдельности

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Связь между напряжением и напряженностью однородного электростатического поля	$E = \frac{U_{12}}{d_{12}}$	$E$ — модуль напряженности однородного электростатического поля; $U_{12}$ — напряжение между точками 1 и 2 электростатического поля; $d_{12}$ — проекция перемещения $\overline{\Delta r_{12}}$ заряда из начальной точки 1 в конечную точку 2 на направление напряженности поля

- 621.** На рисунке 111 изображена траектория  $ABCDM$  движения точечного заряда  $q$  в однородном электростатическом поле. На каких участках траектории работа сил поля равна нулю?
- 622.** Положительный точечный заряд перенесли из точки  $A$  в точку  $B$  в однородном электростатическом поле по траекториям 1 и 2 (рис. 112). Сравните работу силы электростатического поля при этих перемещениях заряда.
- 623.** В однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого  $E = 10 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ , переместили заряд  $q = -25 \text{ нКл}$  в направлении силовой линии на расстояние  $\Delta d = 2 \text{ см}$ . Определите работу силы электростатического поля, совершенную при перемещении заряда.

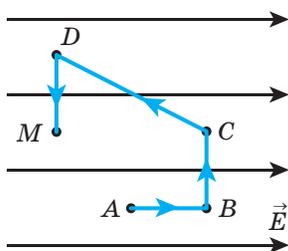


Рис. 111

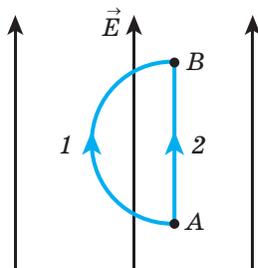


Рис. 112

**624.** В однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого  $E = 60 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ , переместили заряд  $q = 5,0 \text{ нКл}$ . Перемещение, модуль которого  $\Delta r = 20 \text{ см}$ , образует угол  $\alpha = 60^\circ$  с вектором напряженности поля. Определите работу силы электростатического поля и изменение потенциальной энергии взаимодействия заряда и поля.

**625.** В однородном электростатическом поле (рис. 113), модуль напряженности которого  $E = 15 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ , перемещали заряд  $q = 2,5 \text{ мкКл}$ . Определите работу, совершенную силой электростатического поля при перемещении заряда: а) из точки  $A$  в точку  $B$ ; б) из точки  $A$  в точку  $C$ ; в) из точки  $C$  в точку  $B$ .

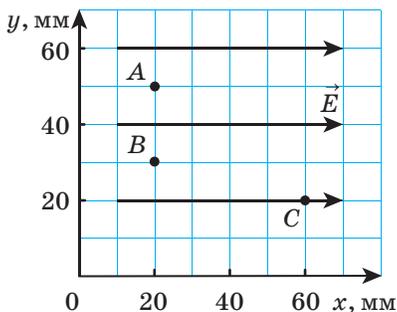


Рис. 113

**626.** Пробный заряд  $q = 4,6 \text{ мкКл}$ , внесенный в некоторую точку электростатического поля, обладает потенциальной энергией  $W_{\text{п}} = 0,69 \text{ мДж}$ . Определите потенциал этой точки поля.

**627.** Пробный заряд  $q_1 = q$ , помещенный в некоторую точку электростатического поля, обладает потенциальной энергией  $W_{\text{п}1} = 1 \text{ мДж}$ . Определите, какой потенциальной энергией будет обладать пробный заряд  $q_2 = -2q$ , помещенный в ту же точку электростатического поля.

**628.** В электростатическом поле переместили заряд  $q = 1,2 \text{ нКл}$  из точки с потенциалом  $\phi_1 = 120 \text{ В}$  в точку с потенциалом  $\phi_2 = 40 \text{ В}$ . Определите работу сил электростатического поля и изменение потенциальной энергии заряда.

**629.** При перемещении в электростатическом поле точечного заряда  $q = 1,5 \text{ мкКл}$  из точки с потенциалом  $\phi_1 = 70 \text{ В}$

в точку с потенциалом  $\varphi_2$  силы электростатического поля совершили работу  $A = 60$  мкДж. Определите потенциал поля  $\varphi_2$ .

- 630.** При перемещении в электростатическом поле точечного заряда из точки с потенциалом  $\varphi_1 = -600$  В в точку с потенциалом  $\varphi_2 = -100$  В силы электростатического поля совершили работу  $A = 36$  мДж. Определите заряд, перемещенный в этом поле.
- 631.** При медленном перемещении в электростатическом поле заряда  $q = 10$  нКл из бесконечности в точку  $C$  внешняя сила совершила работу  $A_C = 10$  мкДж. Определите работу сил поля при перемещении заряда  $q$  из точки  $C$  в точку с потенциалом  $\varphi = 400$  В.
- 632.** Точка  $A$  лежит на одной из линий напряженности однородного электростатического поля, модуль напряженности которого  $E = 60 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . Найдите разность потенциалов между точкой  $A$  и точкой  $B$ , расположенной на расстоянии  $d = 10$  см от точки  $A$ . Рассмотрите случаи: а) точки  $A$  и  $B$  лежат на одной линии напряженности; б) точки  $A$  и  $B$  лежат на прямой, перпендикулярной линиям напряженности; в) точки  $A$  и  $B$  лежат на прямой, составляющей угол  $\alpha = 60^\circ$  с линиями напряженности.
- 633.** Между двумя заряженными горизонтальными пластинами, расположенными в вакууме на расстоянии  $d = 4,8$  см друг от друга, находится в равновесии отрицательно заряженная капелька масла массой  $m = 10$  нг. Сколько «избыточных» электронов имеет капелька, если напряжение между пластинами  $U = 1,0$  кВ?
- 634.** Две горизонтальные металлические пластины, находящиеся на расстоянии  $d = 2,5$  см друг от друга в вакууме, заряжены до напряжения  $U = 1,0$  кВ. Между пластинами находится маленький шарик с зарядом  $q = 9$  мкКл.

Определите массу шарика, если он равноускоренно движется вверх вдоль силовой линии однородного электростатического поля с ускорением, модуль которого

$$a = 80 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

- 635.** Маленький заряженный шарик находится в покое между большими горизонтальными пластинами, напряжение между которыми  $U_1 = 300$  В. Расстояние от шарика до нижней пластины  $h = 8,1$  мм. Напряжение между пластинами уменьшили до  $U_2 = 240$  В. Определите промежуток времени, в течение которого шарик будет падать на нижнюю пластину. Система находится в вакууме.
- 636.** Расстояние между двумя горизонтально расположенными пластинами  $d = 0,50$  см. Если на пластины подано напряжение  $U = 500$  В, то находящаяся между ними заряженная капелька воды массой  $m = 1,0 \cdot 10^{-10}$  кг падает вертикально вниз с некоторой постоянной скоростью  $\vec{v}$ . Если же пластины отключены от источника напряжения, то капелька падает с постоянной скоростью  $2\vec{v}$ . Определите модуль заряда капельки, если сила сопротивления воздуха, действующая на капельку, прямо пропорциональна скорости ее падения.
- 637.** Однородное электростатическое поле образовано двумя параллельными заряженными пластинками, расстояние между которыми  $d = 1,6$  мм, а напряжение  $U = 91$  В. Определите модуль скорости, которую приобретет электрон, если он из состояния покоя пройдет путь  $l = 0,2$  мм вдоль линии напряженности этого поля.
- 638.** Электрон разгоняется из состояния покоя в электростатическом поле между точками с разностью потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2 = -10$  кВ и влетает посередине между параллельно расположенными пластинами. Причем вектор скорости направлен параллельно пластинам.

При каком максимальном напряжении между пластинами электрон сможет вылететь из области поля, созданного заряженными пластинами? Длина каждой пластины  $l = 10$  см, расстояние между ними  $d = 3,0$  см. Силой тяжести, действующей на электрон, пренебречь. Поле между пластинами считать однородным.

- 639.** Протон влетает в однородное электростатическое поле под углом  $\alpha$  к параллельным заряженным пластинам, создающим однородное электростатическое поле. Расстояние между пластинами  $d$ , длина пластин  $l$ , а разность потенциалов между ними  $U$ . Определите кинетическую энергию протона при влете в электростатическое поле, если на вылете из него он движется параллельно пластинам. Силой тяжести пренебречь.
- 640.** Точечный заряд  $q = 4,2$  нКл создает в вакууме электростатическое поле. Определите потенциал поля на расстоянии  $r = 70$  см от него.
- 641.** Потенциал электростатического поля, созданного точечным зарядом, в точке, находящейся в вакууме на расстоянии  $r = 15$  см от него,  $\varphi = 36$  В. Определите модуль заряда, создающего поле.
- 642.** Точечный заряд  $q = -72$  пКл создает электростатическое поле. На каком расстоянии от заряда в воздухе потенциал поля  $\varphi = -8,0$  В?
- 643.** Точка  $A$  находится на расстоянии  $r_1 = 1,0$  м, а точка  $B$  — на расстоянии  $r_2 = 2,0$  м от точечного заряда  $q = 0,10$  мкКл, создающего электростатическое поле. Определите разность потенциалов между точками  $A$  и  $B$ , если заряд находится: а) в вакууме; б) среде с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 4,5$ .
- 644.** В некоторых двух точках электростатического поля точечного заряда напряженности отличаются в  $n$  раз. Во сколько раз отличаются потенциалы поля в этих точках?

- 645.** Точечный заряд  $q = 80$  нКл создает в глицерине электростатическое поле. В точках  $A$  и  $B$ , расположенных на одной линии напряженности, потенциал поля соответственно равен  $\varphi_A = 50$  В и  $\varphi_B = 20$  В. Определите расстояние между точками  $A$  и  $B$ . Диэлектрическая проницаемость глицерина  $\varepsilon = 40$ .
- 646.** Четыре положительных точечных заряда  $q_1 = q$ ,  $q_2 = 2q$ ,  $q_3 = 3q$  и  $q_4 = 4q$  расположены в вакууме на одной прямой. Расстояние между соседними зарядами равно  $l$  (рис. 114). Определите потенциал и модуль напряженности электростатического поля, созданного этими зарядами, в точке  $A$ , находящейся посередине между зарядами  $q_2$  и  $q_3$ .

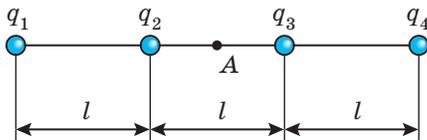


Рис. 114

- 647.** Электростатическое поле создано точечным зарядом. Потенциалы точек  $A$  и  $C$ , расположенных на одной силовой линии, равны соответственно  $\varphi_A = 30$  В и  $\varphi_C = 10$  В. Найдите потенциал точки  $O$ , лежащей на середине отрезка  $AC$ .
- 648.** Два точечных заряда  $q_1 = 6,4$  мкКл и  $q_2 = -3,2$  мкКл притягиваются в вакууме друг к другу с силой, модуль которой  $F = 288$  мН. Определите потенциал электростатического поля, созданного этими зарядами, на середине отрезка, соединяющего заряды.
- 649.** Расстояние между точечными зарядами  $q_1 = 10$  нКл и  $q_2 = -1,0$  нКл, находящимися в вакууме,  $l = 1,1$  м. Определите модуль напряженности поля в точке, лежащей на прямой, проходящей через заряды и находящейся между ними, если потенциал поля в этой точке равен нулю.

650. На координатной оси  $Ox$  расположены два точечных заряда  $q_1$  и  $q_2$  (рис. 115). Определите проекцию напряженности электростатического поля в точке  $B$ , если в точке  $A$  потенциал поля  $\varphi_A = 110$  В, а в точке  $C$  потенциал  $\varphi_C = 190$  В.

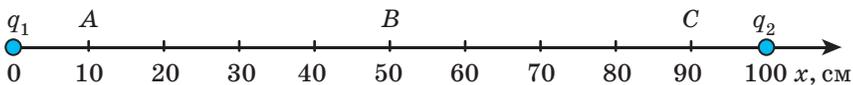


Рис. 115

651. Три точечных заряда  $q_1 = 2,0$  нКл,  $q_2 = -1,0$  нКл и  $q_3 = 2,0$  нКл находятся в вакууме в вершинах ромба, длина стороны которого  $a = 30$  см, острый угол  $\alpha = 60^\circ$  (рис. 116). Определите потенциал поля в четвертой свободной вершине ромба.
652. Два разноименных точечных заряда, модули которых одинаковы:  $|q_1| = |q_2| = 40$  нКл, расположены в вакууме в двух вершинах правильного треугольника со стороной  $a = 2,0$  м. Определите потенциал и модуль напряженности электростатического поля в третьей вершине треугольника.
653. В вакууме в вершинах равнобедренного прямоугольного треугольника находятся точечные заряды  $q_1 = 1,0$  нКл,  $q_2 = 2,0$  нКл и  $q_3 = 3,0$  нКл (рис. 117). Определите потенциал электростатического поля в середине гипотенузы, если ее длина  $a = 20$  см.

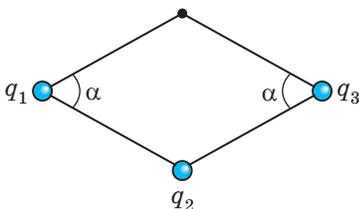


Рис. 116

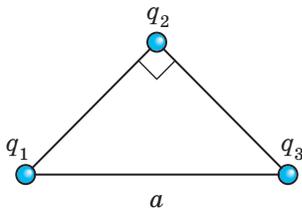


Рис. 117

654. Электростатическое поле создано двумя равными положительными точечными зарядами, расположенными в вакууме в вершинах острых углов равнобедренного прямоугольного треугольника, длина катета которого  $a = 20\sqrt{2}$  см. Определите потенциал электростатического поля в вершине прямого угла, если модуль напряженности поля в этой вершине  $E = 200 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ .

655. Точечный заряд  $q$ , расположенный в точке  $A$  (рис. 118), создает в точке  $C$  электростатическое поле, модуль напряженности которого  $E = 40 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ .

Определите потенциал электростатического поля в точке  $C$ , если в точку  $B$  поместить дополнительно заряд  $q$ . Расстояние  $AC = 30$  мм,  $BC = 40$  мм.

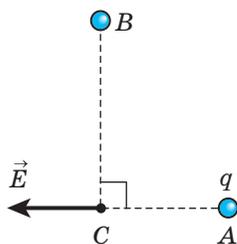


Рис. 118

656. В вакууме в вершинах квадрата со стороной  $a$  находятся четыре одноименных точечных заряда  $q$  каждый. Определите потенциал электростатического поля в центре квадрата.

657. В воздухе в вершинах квадрата со стороной  $a = 45$  см расположены точечные заряды  $q_1 = 4,5$  нКл,  $q_2 = -2,5$  нКл,  $q_3 = 2,5$  нКл,  $q_4 = -5,4$  нКл. Найдите потенциал поля в точке, являющейся серединой стороны, соединяющей заряды  $q_1$  и  $q_4$ .

658. В вакууме в вершинах квадрата расположены точечные заряды  $q_1 = 1,0$  нКл,  $q_2 = -2,0$  нКл,  $q_3 = 4,0$  нКл и  $q_4 = -6,0$  нКл (рис. 119). Определите потенциал и модуль напряженности электростатического поля в центре квадрата. Диагональ квадрата  $d = 20$  см.

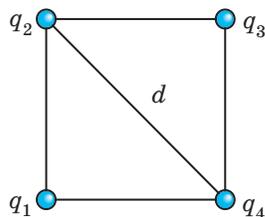


Рис. 119

659. На окружности радиусом  $R = 36$  см в вакууме расположены пять одинаковых зарядов  $q = 6,0$  нКл каждый. Определите потенциал электростатического поля в центре окружности.
660. Шесть точечных зарядов  $q_1 = q_2 = q_3 = 10$  нКл и  $q_4 = q_5 = q_6 = -20$  нКл находятся в вакууме в вершинах правильного шестиугольника. Определите длину стороны шестиугольника, если в его центре потенциал поля  $\varphi = -0,45$  кВ.
661. Какую работу нужно совершить, чтобы медленно переместить в вакууме точечный заряд  $q$  из точки  $A$  в точку  $B$ , расположенные в электростатическом поле, созданном двумя точечными зарядами  $q_1$  и  $q_2$  (рис. 120)? Все заряды являются одноименными.

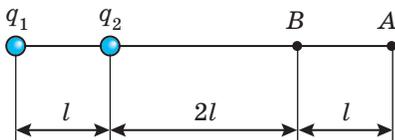


Рис. 120

662. Два точечных заряда  $q = 1,0$  мкКл каждый находятся в вакууме на расстоянии  $r_1 = 50$  см друг от друга. Определите минимальную работу, которую надо совершить, чтобы сблизить их до расстояния  $r_2 = 10$  см.
663. В начале прямоугольной системы координат  $xOy$  находится точечный заряд  $Q = 2,0$  мкКл (рис. 121), создающий электростатическое поле. Определите работу, совершенную силой электростатического поля при перемещении точечного заряда  $q = 15$  нКл из точки  $B$  в точку  $C$ .
664. Два точечных заряда  $q_1 = 20$  мкКл и  $q_2 = 30$  мкКл расположены в вакууме в вершинах  $A$  и  $B$  прямоугольника  $ABCD$ , стороны которого  $r_1 = 60$  мм и  $r_2 = 80$  мм (рис. 122). Определите работу, совершенную силами

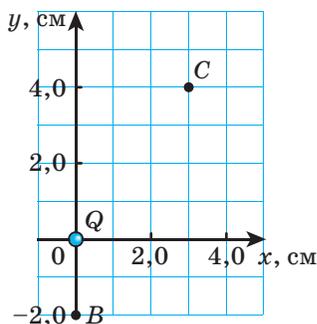


Рис. 121

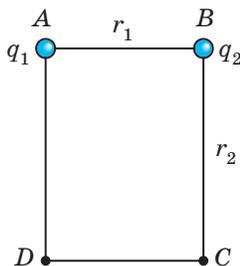


Рис. 122

электростатического поля при перемещении заряда  $q = 4,0$  нКл из вершины  $C$  в вершину  $D$  прямоугольника.

- 665.** Четыре точечных заряда  $q_A = 0,20$  нКл,  $q_B = 0,10$  нКл,  $q_C = 0,40$  нКл и  $q_D = -0,40$  нКл находятся в вакууме в соответствующих вершинах квадрата  $ABCD$  (рис. 123), длина стороны которого  $a = 60$  см. Определите работу сил электростатического поля при перемещении заряда  $q = -1,0$  мкКл из центра  $O$  квадрата в точку  $M$ , лежащую на середине стороны  $AB$ .

- 666.** Положительный точечный заряд  $q$  создает электростатическое поле, модуль напряженности которого в точках 1 и 2 соответственно равен  $E_1$  и  $E_2$ . Какую работу совершают силы электростатического поля при перемещении точечного заряда  $q_0$  из точки 1 в точку 2 (рис. 124)? Диэлектрическая проницаемость среды, окружающей заряд, равна  $\epsilon$ .

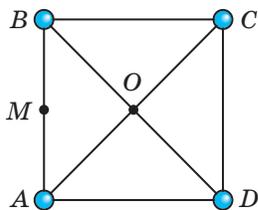


Рис. 123

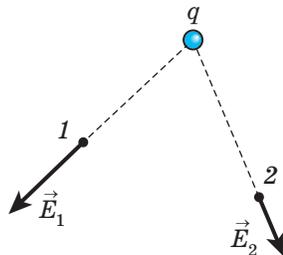


Рис. 124

667. Частица зарядом  $q = 20$  мкКл и массой  $m = 7,5 \cdot 10^{-7}$  кг под действием силы электростатического поля переместилась из точки, потенциал которой  $\varphi_1 = 136$  В, в точку, потенциал которой  $\varphi_2 = 16$  В. Определите модуль конечной скорости движения частицы, если ее начальная скорость равна нулю.
668. Частица зарядом  $q$  и массой  $m$  под действием силы однородного электростатического поля переместилась из точки, потенциал которой  $\varphi_1$ , в точку, потенциал которой  $\varphi_2$ . При этом кинетическая энергия частицы увеличилась в  $k$  раз. Определите модуль начальной и конечной скорости движения частицы. Силой тяжести пренебречь.
669. Определите отношение кинетических энергий и модулей скоростей протона и  $\alpha$ -частицы, прошедших одинаковую ускоряющую разность потенциалов, если заряд  $\alpha$ -частицы вдвое больше заряда протона ( $q_\alpha = 2q_p$ ), а масса  $\alpha$ -частицы в четыре раза больше массы протона ( $m_\alpha = 4m_p$ ). Начальные скорости обеих частиц равны нулю.
670. \*Определите энергию взаимодействия двух точечных зарядов  $q_1 = 50$  мкКл и  $q_2 = 60$  мкКл, находящихся в вакууме на расстоянии  $r = 27$  см друг от друга.
671. \*Точечные заряды  $q_1 = -1,0$  мкКл,  $q_2 = 2,0$  мкКл и  $q_3 = 3,0$  мкКл расположены в вакууме в вершинах правильного треугольника со стороной  $a = 20$  см. Определите потенциальную энергию этой системы зарядов.
672. \*Определите потенциальную энергию взаимодействия трех зарядов  $q_1 = 20$  нКл,  $q_2 = 10$  нКл и  $q_3 = 30$  нКл, расположенных в керосине на одной прямой (рис. 125) на расстоянии  $l = 30$  см друг от друга.

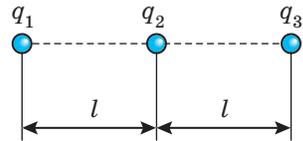


Рис. 125

673. \*Три точечных заряда  $q = 1,0$  нКл каждый расположены в вакууме вдоль прямой на расстоянии  $a = 45$  см друг от друга. Какую минимальную работу необходимо совершить, чтобы разместить эти заряды в вершинах равностороннего треугольника со стороной  $a$ ?
674. \*В одной из вершин равностороннего треугольника со стороной  $a = 20$  см закреплен точечный заряд  $q_1 = 40$  нКл, а в двух других находятся частицы с зарядами  $q_2 = q_3 = 10$  нКл. Масса каждой частицы  $m = 0,5$  мг. Частицы отпускают, и они разлетаются. Определите модуль скорости каждой частицы на большом расстоянии от заряда. Излучением электромагнитной энергии пренебречь.
675. \*В вершинах острых углов ромба закреплены точечные заряды  $q_0 = 7,0$  нКл, а в вершинах тупых углов находятся частицы массой  $m = 2,0$  мг и зарядом  $q = 2,0$  нКл каждая. Частицы одновременно отпускают, и они приходят в движение. Определите модуль скорости частиц после их разлета на большое расстояние. Сторона ромба  $a = 3$  см, а его острый угол  $\alpha = 60^\circ$ . Силой тяжести и излучением электромагнитной энергии пренебречь.
676. \*Двум электронам, находящимся в вакууме на большом расстоянии друг от друга, одновременно сообщают скорости, направленные навстречу друг другу. На какое минимальное расстояние смогут приблизиться электроны, если модуль начальной скорости, сообщенной каждому электрону,  $v_0$ ?
677. \*Протон, летящий в направлении «незакрепленного» ядра атома гелия, на очень большом расстоянии от него имеет скорость, модуль которой  $v$ . На какое минимальное расстояние сможет приблизиться протон к ядру гелия? Масса протона  $m_p$ , масса ядра гелия в 4 раза больше массы протона ( $m_\alpha = 4m_p$ ). Заряд протона  $q_p$ , заряд ядра гелия в 2 раза больше заряда протона ( $q_\alpha = 2q_p$ ). Излучением электромагнитной энергии пренебречь.

678. \* Два одинаковых шарика, имеющие заряд  $q = 400$  нКл каждый, соединены невесомой непроводящей пружиной и находятся в вакууме на гладком горизонтальном столе. Вначале шарики удерживают так, что длина сжатой пружины  $l_1 = 20$  мм. Затем шарики отпускают, и они приходят в движение. Определите жесткость пружины, если максимальная длина растянутой пружины  $l_2 = 80$  мм, а длина недеформированной пружины  $l_0 = 40$  мм.
679. \* Два маленьких шарика массой  $m = 15$  г каждый, лежащие в вакууме на гладкой непроводящей горизонтальной плоскости, соединены недеформированной легкой непроводящей пружиной длиной  $l_0 = 24$  см и жесткостью  $k_{\text{пр}} = 1,0 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ . После сообщения шарикам зарядов одного знака длина пружины стала  $l = 2l_0$ . Определите модуль минимального одинакового импульса, который надо одновременно сообщить каждому шарiku навстречу друг другу, чтобы они сблизилась до прежнего расстояния.
680. \* Две маленькие шайбы массой  $m = 50$  г и зарядом  $q = 10$  мкКл каждая сначала удерживали в вакууме на горизонтальной плоскости на расстоянии  $r_1 = 2,0$  м друг от друга. Затем шайбы одновременно отпустили, и они удалились друг от друга на максимальное расстояние  $r_2 = 9,0$  м. Определите коэффициент трения между шайбами и плоскостью.
681. \* На горизонтальной поверхности в вакууме на расстоянии  $l = 20$  см друг от друга удерживаются связанные легкой нерастяжимой нитью два одинаковых маленьких бруска с зарядом  $q = 1$  мкКл каждый. Нить пережигают, и бруски удаляются друг от друга. При этом каждый брусок до остановки проходит путь  $s = 35$  см. Определите массу каждого бруска, если коэффициент трения скольжения между каждым бруском и плоскостью  $\mu = 0,20$ .

- 682.** \*Две маленькие шайбы массой  $m = 5,0$  г каждая, заряженные одинаковым зарядом  $q = 1,0$  мкКл, находятся на горизонтальной плоскости на расстоянии  $l = 1,0$  м друг от друга. Коэффициент трения шайб о плоскость  $\mu = 0,50$ . Определите модуль минимальной начальной скорости, которую надо сообщить одной из шайб, чтобы сдвинуть с места другую.
- 683.** \*Два маленьких тела массой  $m = 1,0$  г каждое удерживаются на горизонтальной плоскости на расстоянии  $l = 1,0$  м друг от друга. Заряд каждого тела  $q = 1,0$  мкКл. Коэффициент трения тел о плоскость  $\mu = 0,10$ . Тела одновременно освобождают. Определите модуль максимальной скорости тел, которой они достигнут при движении.
- 684.** \*Под точечным закрепленным зарядом  $q_1 = 10$  мкКл на расстоянии  $l = 5,0$  м от него удерживают маленький шарик массой  $m = 9,0$  г и зарядом  $q_2 = -4,0$  мкКл. Определите модуль минимальной вертикальной скорости, которую надо сообщить шарiku, чтобы он долетел до закрепленного заряда.
- 685.** \*В однородном электростатическом поле, направленном вертикально вниз, закреплен точечный заряд  $q_1 = -10$  мкКл, а под ним на расстоянии  $r = 5,0$  м удерживают маленький шарик массой  $m = 5,0$  г и зарядом  $q_2 = 4,0$  мкКл. Определите модуль минимальной вертикальной скорости, которую надо сообщить шарiku, чтобы он долетел до закрепленного заряда, если модуль напряженности электростатического поля  $E = 10 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ .
- 686.** \*На расстоянии  $l_0 = 1,0$  м от закрепленного точечного заряда  $q_1 = -0,1$  мкКл расположен в вакууме другой точечный заряд массой  $m = 0,1$  г и зарядом  $q_2 = 2$  мкКл (рис. 126). Заряды находятся во внешнем однородном электростатическом поле, модуль напряженности

которого  $E = 100 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ . Определи-

те модуль минимальной скорости, которую надо сообщить второму заряду в направлении силовых линий внешнего поля, чтобы он улетел в бесконечность.

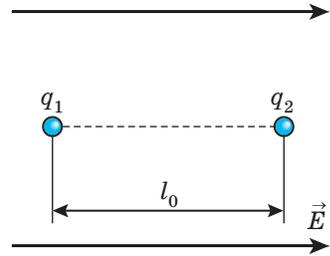


Рис. 126

- 687.** \*Двум маленьким шарикам, массы и заряды которых  $m_1 = 2,0$  г,  $m_2 = 3,0$  г и  $q_1 = 3,0$  мкКл,  $q_2 = -12$  мкКл соответственно, сообщили противоположно направленные скорости. И шарики стали удаляться друг от друга. В некоторый момент времени, когда расстояние между шариками стало  $l = 10$  м, они приобрели скорости, модули которых  $v_1 = v_2 = 3,0 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ . Определите максимальное расстояние, на которое смогут удалиться шарики друг от друга.
- 688.** \*В вакууме в однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого  $E = 1 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ , подвешен на легкой нерастяжимой непроводящей нити длиной  $l = 15$  см шарик массой  $m = 10$  г и зарядом  $q = 20$  мкКл. Линии напряженности поля направлены вертикально вниз. Какую минимальную горизонтальную скорость необходимо сообщить шарiku, чтобы он совершил в вертикальной плоскости полный оборот?
- 689.** \*В воздухе на расстоянии  $h = 30$  мм от середины шероховатого горизонтального стержня и на расстоянии  $l = 50$  мм от его концов закреплен точечный положительный заряд  $q$  (рис. 127). В точке А на стержне находится маленькая бусинка с зарядом  $q_0 = 5,0$  нКл, которой сообщают начальную кинетическую энергию  $E_A = 68$  мДж. Определите заряд  $q$ , если при скольжении

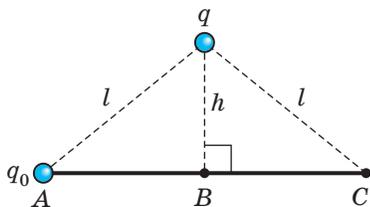


Рис. 127

бусинки по стержню ее кинетическая энергия в точках  $B$  и  $C$  соответственно равна  $E_B = 40$  мДж и  $E_C = 36$  мДж.

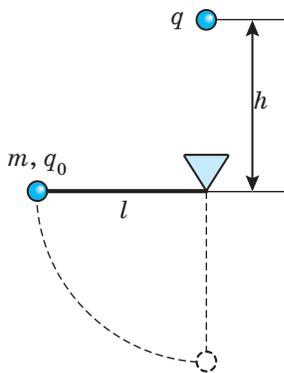


Рис. 128

- 690.** Электрон влетает в однородное электростатическое поле напряженностью  $\vec{E}$  со скоростью  $\vec{v}_0$ , направленной перпендикулярно линиям поля. Определите кинетическую энергию электрона через время  $t$  после того, как он попадает в это поле.
- 691.** \*Небольшой шарик массой  $m = 9$  г, имеющий заряд  $q_0 = 1$  мкКл, подвешен в вакууме на непроводящей легкой нити длиной  $l = 40$  см. Над точкой подвеса на расстоянии  $h = 30$  см от нее помещен точечный заряд  $q = 7$  мкКл (рис. 128). Шарик отклоняют на натянутой нити от положения равновесия до горизонтального положения нити и отпускают. Определите модуль скорости шарика в момент прохождения им положения равновесия.
- 692.** \*По гладкой наклонной плоскости, составляющей угол  $\alpha = 30^\circ$  с горизонтом, с ее вершины с высоты  $h = 40$  см в вакууме без начальной скорости соскальзывает маленькая шайба массой  $m = 10$  г, заряженная положительным зарядом  $q_1 = 1,0$  мкКл. В точке пересечения вертикали, проведенной через начальное положение шайбы, и основания плоскости закреплен положительный заряд  $q_2 = 2,0$  мкКл. Определите модуль скорости, с которой шайба достигнет основания плоскости.

- 693.** \*Маленький шарик массой  $m = 0,10$  кг и зарядом  $q = 20$  мкКл подвешен на легкой шелковой нити длиной  $l = 30$  см. На одной вертикали под ним закреплен другой шарик с отрицательным зарядом  $Q = -20$  мкКл. Когда нить отклонили на угол  $\alpha = 90^\circ$  от вертикали, расстояние между центрами шариков стало  $s = 50$  см. Маленький шарик, привязанный к нити, отпустили без начальной скорости. Определите его кинетическую энергию в момент прохождения им положения равновесия.
- 694.** \*Маленький шарик массой  $m = 1,0$  г и зарядом  $q = 2,0$  мкКл подвешен на легкой шелковой нити длиной  $l = 25$  см. На одной горизонтали с точкой  $O$  подвеса на расстоянии  $L = 2l$  (рис. 129) от нее в точке  $A$  закреплен отрицательный точечный заряд  $Q = -2,0$  мкКл. Определите модуль минимальной горизонтальной скорости, которую надо сообщить шарик, чтобы он, двигаясь по дуге, смог достичь ее верхней точки  $B$ .
- 695.** На рисунке 130 показаны штриховыми линиями две окружности с центром в точечном положительном заряде  $q_0$ , создающем электростатическое поле. Сравните работы сил электростатического поля при перемещении положительного заряда  $q$  из точки  $A$  в точки  $B$ ,  $C$  и  $D$  соответственно по траекториям 1, 2 и 3.

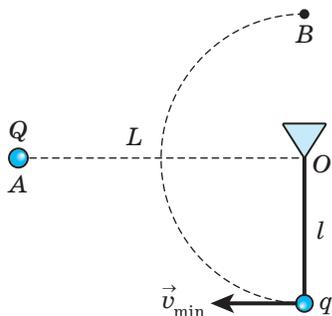


Рис. 129

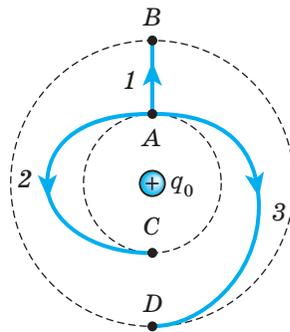


Рис. 130

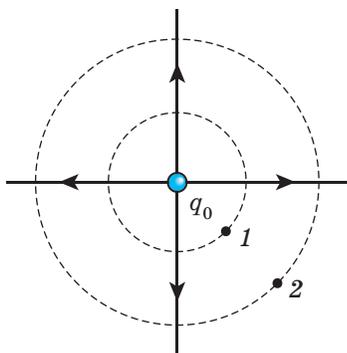


Рис. 131

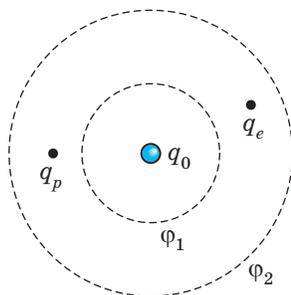


Рис. 132

**696.** На рисунке 131 показаны силовые линии электростатического поля (сплошные линии) и две концентрические окружности с центром в точечном заряде  $q_0$ , создающем электростатическое поле. Сравните: а) модули напряженности поля в точках 1 и 2; б) потенциалы поля в точках 1 и 2.

**697.** На рисунке 132 показаны штриховыми линиями две концентрические окружности с центром в точечном заряде  $q_0$ , создающем электростатическое поле. Укажите направления сил электростатического поля, действующих на протон ( $q_p$ ) и на электрон ( $q_e$ ), находящиеся в этом поле, если потенциал  $\varphi_1 = -20$  В,  $\varphi_2 = -10$  В.

**698.** \*Потенциал одной из пластин  $\varphi_1 = 60$  В (рис. 133). Вторая пластина заземлена. Определите потенциалы точек А, В и С, показанных на рисунке. Постройте график зависимости потенциала электростатического поля, созданного между пластинами, от расстояния до заземленной пластины.

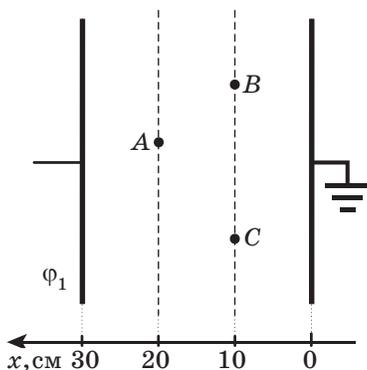


Рис. 133

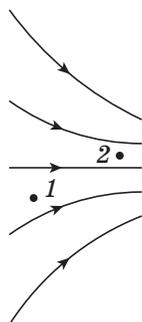


Рис. 134

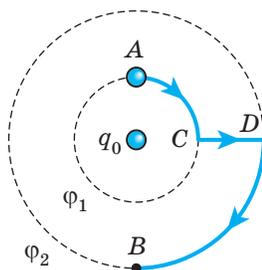


Рис. 135

- 699.** На рисунке 134 показаны линии напряженности электростатического поля. Сравните: а) модули напряженности поля в точках 1 и 2; б) потенциалы поля в точках 1 и 2.
- 700.** На рисунке 135 показаны штриховыми линиями две concentric окружности с центром в точечном заряде  $q_0$ , создающем электростатическое поле. Определите работу сил электростатического поля при перемещении заряда  $q = 72$  мкКл из точки А в точку В по траектории ACDB, если потенциал  $\varphi_1 = 50$  В,  $\varphi_2 = 25$  В.

## 16. Электроёмкость. Конденсаторы

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Электроёмкость конденсатора	$C = \frac{q}{U}$	$C$ — электроёмкость конденсатора; $q$ — электрический заряд конденсатора; $U$ — электрическое напряжение между обкладками конденсатора
Электроёмкость плоского конденсатора	$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$	$C$ — электроёмкость плоского конденсатора;

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
		<p><math>S</math> — площадь каждой обкладки конденсатора;</p> <p><math>d</math> — расстояние между обкладками конденсатора;</p> <p><math>\varepsilon</math> — диэлектрическая проницаемость вещества;</p> <p><math>\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}</math> — электрическая постоянная</p>
Энергия электростатического поля конденсатора	$W = \frac{CU^2}{2},$ $W = \frac{q^2}{2C},$ $W = \frac{qU}{2}$	<p><math>W</math> — энергия электростатического поля заряженного конденсатора;</p> <p><math>q</math> — электрический заряд конденсатора;</p> <p><math>U</math> — электрическое напряжение между обкладками конденсатора;</p> <p><math>C</math> — электроемкость конденсатора</p>

- 701.** \*Сравните электроемкости однородных медного и алюминиевого шаров: а) равного объема; б) равной массы. Шары находятся в воздухе.
- 702.** Изменится ли электроемкость заряженного конденсатора, если модуль заряда каждой обкладки уменьшить в  $n$  раз?
- 703.** Изменится ли электроемкость заряженного конденсатора, если одну из обкладок заземлить?
- 704.** На рисунках 136 и 137 показаны графики зависимости электроемкости  $C$  плоского воздушного конденсатора от некоторых величин, влияющих на его электроемкость. Поясните, какой величиной может быть  $x$  и  $y$ .

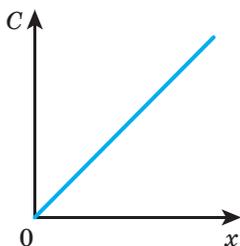


Рис. 136

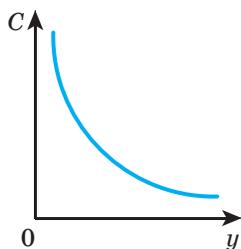


Рис. 137

**705.** На рисунке 138, а, б показаны два одинаковых по размерам плоских конденсатора, заполненные разными однородными диэлектриками и заряженные одинаковыми зарядами. Сравните электроемкости конденсаторов.

**706.** Как изменится разность потенциалов между пластинами плоского заряженного конденсатора, отключенного от источника напряжения, если: а) увеличить расстояние между пластинами в 2 раза; б) пространство между ними заполнить слюдой; в) одну из пластин заземлить?

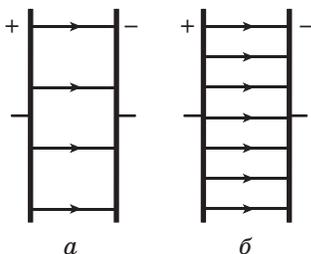


Рис. 138

**707.** Определите электроемкость конденсатора, если напряжение между его обкладками  $U = 1,4$  кВ, а его заряд  $q = 42$  нКл.

**708.** Определите напряжение между обкладками конденсатора, электроемкость которого  $C = 75$  мкФ, если его заряд  $q = 69$  мКл.

**709.** На рисунке 139 представлен график зависимости напряжения на конденсаторе от его заряда. Определите электроемкость конденсатора.

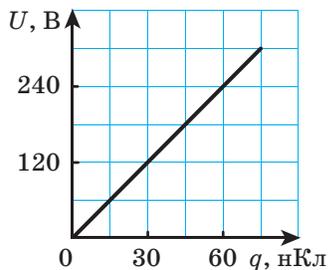


Рис. 139

710. Сравните заряды двух конденсаторов, электроемкости которых  $C_1 = 1,8$  нФ и  $C_2 = 90$  нФ, если разности потенциалов между их обкладками одинаковы.
711. Два конденсатора, электроемкости которых  $C_1 = 1,25$  мкФ и  $C_2 = 50$  нФ, имеют одинаковые заряды. Сравните напряжения, поданные на эти конденсаторы.
712. Площадь каждой пластины плоского конденсатора  $S = 520$  см<sup>2</sup>. На каком расстоянии друг от друга должны быть расположены пластины в воздухе, чтобы электроемкость конденсатора была  $C = 46$  пФ?
713. Обкладки плоского конденсатора, электроемкость которого  $C = 7,5 \cdot 10^{-10}$  Ф, имеют площадь  $S = 500$  см<sup>2</sup> и расположены на расстоянии  $d = 3,54$  мм друг от друга. Определите диэлектрическую проницаемость вещества, которым заполнено пространство между обкладками конденсатора.
714. При заполнении пространства между пластинами воздушного конденсатора диэлектриком напряжение на конденсаторе уменьшилось от  $U_1 = 400$  В до  $U_2 = 50$  В. Какова диэлектрическая проницаемость диэлектрика, если заряд на конденсаторе оставался постоянным?
715. Плоский воздушный конденсатор зарядили и отключили от источника тока. Изменится ли напряжение между обкладками конденсатора, если: а) увеличить расстояние между пластинами; б) одну пластину сместить параллельно другой (уменьшить площадь перекрытия пластин), не изменяя расстояния между ними?
716. Как изменится емкость плоского воздушного конденсатора, если: а) расстояние между пластинами уменьшить в два раза; б) расстояние между пластинами увеличить в два раза, а пространство между ними заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 6$ ?

717. Плоский воздушный конденсатор, расстояние между пластинами которого  $d = 1,2$  мм, имеет заряд  $q = 2,4$  мкКл. Определите емкость конденсатора, если модуль напряженности электростатического поля между пластинами конденсатора  $E = 0,4 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ .
718. Плоский воздушный конденсатор емкостью  $C = 1$  мкФ имеет заряд  $q = 10$  мкКл. Определите модуль напряженности поля внутри конденсатора, если расстояние между его пластинами  $d = 5$  мм.
719. Заряд плоского конденсатора  $q = 4,0$  нКл. Определите модуль напряженности электростатического поля конденсатора, если площадь каждой его обкладки  $S = 70$  см<sup>2</sup>, а пространство между ними заполнено полистиролом.
720. Плоский воздушный конденсатор, площадь каждой обкладки которого  $S = 90$  см<sup>2</sup>, заряжен до напряжения  $U = 0,50$  кВ. Определите модуль силы электростатического взаимодействия заряженных обкладок, если расстояние между ними  $d = 2$  мм.
721. Определите первоначальное расстояние между обкладками плоского воздушного конденсатора, если после увеличения расстояния между ними на  $\Delta d = 2$  мм и заполнения этого пространства слюдой электроемкость конденсатора увеличилась в  $\alpha = 2$  раза.
722. Обкладки плоского воздушного конденсатора площадью пластин  $S = 150$  см<sup>2</sup> каждая находятся на расстоянии  $d = 2$  мм друг от друга. Определите напряжение между обкладками конденсатора, если его заряд  $q = 2,6$  нКл.
723. Плоский воздушный конденсатор, расстояние между пластинами которого  $d_1 = 2$  мм, заряжен до напряжения  $U_1 = 50$  В. Определите, каким станет напряжение на конденсаторе, если, не изменяя заряда конденсатора, расстояние между пластинами увеличить до  $d_2 = 4,8$  мм.
724. Расстояние между пластинами плоского воздушного конденсатора  $d_1 = 2$  мм. Напряжение между ними

$U_1 = 0,1$  кВ. Определите разность потенциалов между пластинами, если, не изменяя заряда, расстояние между ними увеличить на  $d_2 = 6$  мм.

- 725.** Обкладки плоского воздушного конденсатора площадью пластин  $S = 160$  см<sup>2</sup> каждая находятся на расстоянии  $d = 1,77$  мм друг от друга. Определите напряжение между обкладками конденсатора, если на отрицательно заряженной обкладке содержится  $N = 2,5 \cdot 10^{10}$  «избыточных» электронов.
- 726.** Плоский воздушный конденсатор, расстояние между пластинами которого  $d_1 = 2,5$  мм, заряжен до напряжения  $U_1 = 50$  В. Определите, каким станет напряжение, если, не изменяя заряда конденсатора, расстояние между пластинами увеличить до  $d_2 = 4,8$  мм, а пространство между ними полностью заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 3,0$ .
- 727.** Плоский воздушный конденсатор состоит из двух круглых пластин радиусом  $R = 10$  см, расположенных на расстоянии  $d = 2$  мм друг от друга. Конденсатор подключен к источнику постоянного напряжения  $U = 20$  В. Пространство между пластинами полностью заполнили жидким диэлектриком. При этом по проводам, соединяющим обкладки конденсатора и источник тока, прошел заряд  $|\Delta q| = 4,0$  нКл. Определите диэлектрическую проницаемость диэлектрика.
- 728.** Между обкладками изолированного плоского конденсатора, заряженного до разности потенциалов  $U_1 = 0,4$  кВ, находится пластина, заполняющая все пространство. Какова будет разность потенциалов между обкладками конденсатора после удаления пластины, если диэлектрическая проницаемость вещества пластины  $\epsilon = 5$ ?
- 729.** Плоский воздушный конденсатор зарядили до разности потенциалов  $U_0 = 0,2$  кВ и отключили от источника тока. На сколько уменьшится разность потенциалов между

пластинами конденсатора, если расстояние между ними увеличить от  $d_0 = 0,2$  мм до  $d = 0,7$  мм, а пространство между ними заполнить слюдой?

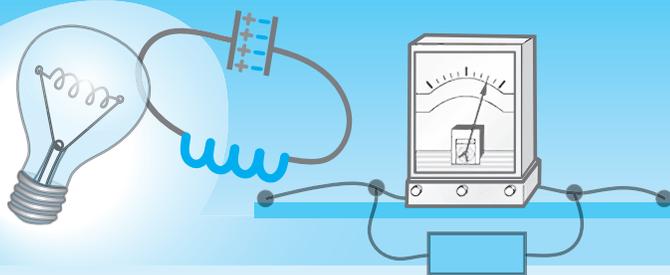
- 730.** Какой заряд пройдет по проводам, соединяющим пластины плоского воздушного конденсатора и источник тока с напряжением  $U$ , при полном погружении конденсатора в жидкий диэлектрик с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ ? Площадь каждой пластины конденсатора  $S$ , расстояние между пластинами  $d$ .
- 731.** Частица с положительным зарядом  $q$  разгоняется до кинетической энергии  $E_k$  и влетает в плоский воздушный конденсатор параллельно обкладкам на равном расстоянии от них. Емкость конденсатора  $C$ , его заряд  $Q$ , расстояние между обкладками  $d$ . Какой должна быть максимальная длина обкладки конденсатора, чтобы частица не коснулась ее поверхности? Силой тяжести, действующей на частицу, пренебречь.
- 732.** Электрон влетает в плоский конденсатор через очень малое отверстие в положительно заряженной пластине перпендикулярно ей. Модуль скорости движения электрона при влете в конденсатор  $v_0 = 1,0 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Емкость конденсатора  $C = 3,2$  мкФ. Какой наименьший заряд должен быть на пластинах конденсатора, чтобы электрон вылетел обратно из конденсатора? Силой тяжести, действующей на электрон, пренебречь.
- 733.** В плоский воздушный конденсатор емкостью  $C$  и длиной пластин  $l$  влетает протон под углом  $\alpha$  к пластинам. Кинетическая энергия протона равна  $E_k$ . Расстояние между пластинами конденсатора  $d$ . Определите заряд на обкладках конденсатора, при котором протон вылетит из конденсатора параллельно пластинам. Силой тяжести, действующей на протон, пренебречь.

- 734.** Заряженный плоский воздушный конденсатор заполняют диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ . Как изменятся заряд на обкладках конденсатора, напряжение на конденсаторе, напряженность поля в конденсаторе, энергия конденсатора, если: а) конденсатор отключен от источника тока; б) конденсатор подключен к источнику тока?
- 735.** Определите энергию электростатического поля конденсатора электроемкостью  $C = 50$  мкФ, заряженного до напряжения  $U = 80$  В.
- 736.** Определите энергию электростатического поля конденсатора электроемкостью  $C = 25$  нФ, если его заряд  $q = 6,0$  мкКл.
- 737.** Определите заряд конденсатора, заряженного до напряжения  $U = 200$  В, если энергия электростатического поля в конденсаторе  $W = 1,7$  мДж.
- 738.** Энергия плоского воздушного конденсатора  $W = 2 \cdot 10^{-7}$  Дж. Определите энергию этого конденсатора после заполнения его диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 2$ , если: а) конденсатор отключен от источника питания; б) конденсатор подключен к источнику постоянного напряжения.
- 739.** Определите энергию электростатического поля плоского конденсатора электроемкостью  $C = 40$  нФ, если расстояние между обкладками конденсатора  $d = 5,0$  мм, а модуль напряженности электростатического поля  $E = 60 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ .
- 740.** Энергия электростатического поля плоского конденсатора  $W = 7,2$  мкДж, а модуль его напряженности  $E = 4,0 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . Определите расстояние между обкладками конденсатора, если электроемкость конденсатора  $C = 25$  нФ.

741. Энергия электростатического поля плоского конденсатора  $W = 885$  нДж, а модуль его напряженности  $E = 12,5 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . Диэлектрическая проницаемость однородного диэлектрика, заполняющего конденсатор,  $\varepsilon = 4,0$ . Определите площадь каждой пластины конденсатора, если расстояние между ними  $d = 5,0$  мм.
742. Конденсатор емкостью  $C = 1,4$  мФ, заряженный до напряжения  $U = 3$  кВ, разрядили через резистор, погруженный в сосуд с водой. На сколько увеличилась температура воды, если ее масса  $m = 100$  г? Считать, что вся энергия конденсатора пошла на нагревание воды.
743. Импульсную стыковую сварку медной проволоки осуществляют с помощью разряда конденсатора емкостью  $C = 1,0$  мФ при напряжении на конденсаторе  $U = 1,0$  кВ. Какова средняя полезная мощность разряда импульса, если время разряда  $\tau = 2,0$  мкс и КПД сварочной установки  $\eta = 4,0$  %?
744. Воздушный конденсатор емкостью  $C = 18$  мкФ зарядили до напряжения  $U = 100$  В и отключили от источника питания. Определите работу, совершенную силами электрического поля при заполнении пространства между обкладками конденсатора диэлектриком, диэлектрическая проницаемость которого  $\varepsilon = 3,0$ .
745. Из заряженного плоского конденсатора вытащили диэлектрик, диэлектрическая проницаемость которого  $\varepsilon$ . Во сколько раз изменилась энергия конденсатора, если заряд конденсатора оставался постоянным?
746. Во сколько раз увеличили расстояние между пластинами плоского воздушного конденсатора, если при этом была выполнена работа  $A = 1,0$  нДж? Заряд пластин конденсатора  $q = 1,0 \cdot 10^{-10}$  Кл. Площадь пластин

$S = 10 \text{ см}^2$ . Первоначальное расстояние между пластинами  $d = 0,59 \text{ мм}$ . Конденсатор заряжен и отключен от источника тока.

- 747.** Плоский конденсатор, заполненный диэлектриком, обладает энергией  $W = 20 \text{ мкДж}$ . Конденсатор отключили от источника тока. Диэлектрик вытащили, совершив при этом работу  $A = 70 \text{ мкДж}$ . Определите диэлектрическую проницаемость диэлектрика.
- 748.** Стеклопластиковая пластина целиком заполняет зазор между обкладками плоского конденсатора, емкость которого в отсутствие пластины  $C = 5,0 \text{ мкФ}$ . Конденсатор зарядили до напряжения  $U = 1,0 \text{ кВ}$  и отключили от источника тока. Какую механическую работу необходимо совершить против электрических сил, чтобы извлечь пластину из конденсатора? Диэлектрическая проницаемость стекла  $\varepsilon = 5,0$ .
- 749.** \*Внутри плоского конденсатора параллельно его обкладкам находится стеклянная пластина, площадь которой равна площади обкладок, а толщина вдвое меньше расстояния между ними. Конденсатор заряжен до напряжения  $U = 300 \text{ В}$  и отключен от источника. Какую работу надо совершить, чтобы медленно извлечь пластину из конденсатора? Емкость конденсатора без пластины  $C = 4,0 \text{ мкФ}$ . Диэлектрическая проницаемость стекла  $\varepsilon = 2,0$ .
- 750.** Между обкладками заряженного и отключенного от источника энергии плоского конденсатора находится скипидар. При этом энергия конденсатора  $W_1 = 60 \text{ мкДж}$ . Какой станет энергия конденсатора, если скипидар слить, расстояние между обкладками увеличить в  $n = 1,4$  раза и пространство между ними полностью заполнить вдвинутой стеклянной пластинкой? Диэлектрическая проницаемость скипидара  $\varepsilon_1 = 2,2$ , диэлектрическая проницаемость стекла  $\varepsilon_2 = 7,7$ .



## IV. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

### 17. Законы постоянного электрического тока

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Сила тока	$I = \frac{q}{\Delta t}$	$I$ — сила тока в проводнике; $q$ — заряд, прошедший через поперечное сечение проводника; $\Delta t$ — время прохождения заряда $q$
Сопротивление проводника	$R = \rho \frac{l}{S}$	$R$ — сопротивление проводника цилиндрической формы; $\rho$ — удельное сопротивление вещества; $l$ — длина проводника; $S$ — площадь поперечного сечения проводника
Закон Ома для однородного участка цепи	$I = \frac{U}{R}$	$I$ — сила тока в однородном участке цепи; $U$ — напряжение на концах однородного участка цепи; $R$ — сопротивление однородного участка цепи

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Последовательное соединение проводников	Сила тока: $I = I_1 = I_2 = \dots = I_n.$ Напряжение: $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n.$ Сопротивление: $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$I_1, I_2, \dots, I_n$ — сила тока в первом, втором, ..., $n$ -м проводниках; $U_1, U_2, \dots, U_n$ — напряжение на первом, втором, ..., $n$ -м проводниках; $R_1, R_2, \dots, R_n$ — сопротивление первого, второго, ..., $n$ -го проводников
Параллельное соединение проводников	Сила тока: $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n.$ Напряжение: $U = U_1 = U_2 = \dots = U_n.$ Величина, обратная сопротивлению: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$ Сопротивление двух проводников, соединенных параллельно: $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	$I_1, I_2, \dots, I_n$ — сила тока в первом, втором, ..., $n$ -м проводниках; $U_1, U_2, \dots, U_n$ — напряжение на первом, втором, ..., $n$ -м проводниках; $R_1, R_2, \dots, R_n$ — сопротивление первого, второго, ..., $n$ -го проводников
Закон Джоуля — Ленца	$Q = I^2 R \Delta t$	$I$ — сила тока в проводнике; $R$ — сопротивление проводника; $\Delta t$ — время прохождения тока по проводнику

751. Аккумулятор, подключенный к зарядному устройству, заряжали в течение промежутка времени  $\Delta t = 1,25$  ч при силе тока  $I = 6,0$  А. Определите заряд, прошедший через аккумулятор за это время.
752. Определите число электронов, прошедших за промежуток времени  $\Delta t = 5$  мин через поперечное сечение проволоки при силе тока в ней  $I = 3,2$  А.
753. Определите сопротивление нихромовой проволоки длиной  $l = 2,0$  м и массой  $m = 8,3$  г.
754. Две проволоки — медная и алюминиевая — имеют одинаковые массы. Длина медной проволоки в  $n = 2$  раза больше длины алюминиевой. Во сколько раз сопротивление медной проволоки больше сопротивления алюминиевой? Плотность меди в  $k_1 = 3,3$  раза больше плотности алюминия, а удельное сопротивление меди в  $k_2 = 1,65$  раза меньше удельного сопротивления алюминия.

755. Для проведения эксперимента использовали две медные проволоки равной длины. По результатам исследований построили вольт-амперные характеристики этих проволок (рис. 140). Определите площадь поперечного сечения тонкой проволоки, если площадь поперечного сечения толстой проволоки  $S_{\text{толс.}} = 0,8$  мм<sup>2</sup>.

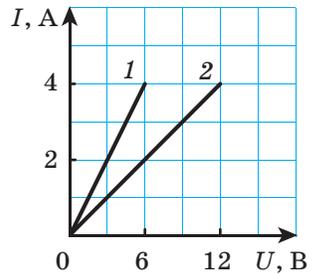


Рис. 140

756. На рисунке 141 показаны вольт-амперные характеристики двух алюминиевых проволок равного поперечного сечения. Определите отношение масс проволок.

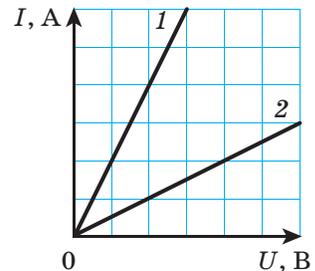


Рис. 141

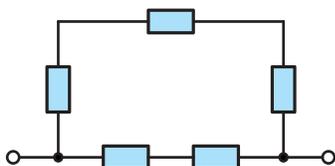


Рис. 142

**757.** Определите сопротивление электрической цепи, схема которой показана на рисунке 142. Сопротивление каждого резистора  $R = 10$  Ом.

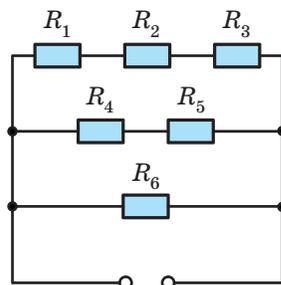


Рис. 143

**758.** Определите сопротивление электрической цепи, схема которой показана на рисунке 143. Сопротивления резисторов  $R_1 = R_2 = R_3 = 2$  Ом,  $R_4 = R_5 = 3$  Ом,  $R_6 = 6$  Ом.

**759.** Участок электрической цепи состоит из трех параллельно соединенных резисторов  $R_1 = 30$  Ом,  $R_2 = 10$  Ом и  $R_3 = 15$  Ом. Определите силу тока, протекающего через каждый резистор, если общая сила тока в цепи  $I = 1,2$  А.

**760.** На сколько равных частей нужно разрезать однородную проволоку, имеющую сопротивление  $R_1 = 36$  Ом, чтобы сопротивление ее частей, соединенных параллельно, стало  $R_2 = 1$  Ом?

**761.** К источнику постоянного напряжения  $U = 120$  В подключают два резистора. При их последовательном соединении сила тока в цепи  $I_1 = 3,0$  А, а при параллельном — суммарная сила тока в цепи  $I_2 = 16,0$  А. Определите сопротивления резисторов.

**762.** В электрическую цепь включены последовательно резистор и лампочка, сопротивления которых  $R_1 = 50$  Ом и  $R_2 = 60$  Ом соответственно. Определите напряжение на лампочке, если напряжение на резисторе  $U_1 = 75$  В.

**763.** В электрической цепи, схема которой показана на рисунке 144, сопротивления резисторов  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10$  Ом,

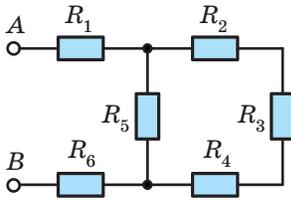


Рис. 144

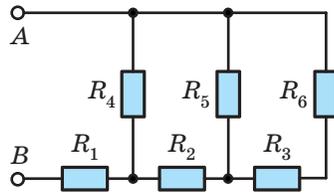


Рис. 145

$R_5 = R_6 = 30$  Ом. Определите напряжение между точками  $A$  и  $B$ , если сила тока, протекающего в третьем резисторе,  $I_3 = 2,0$  А.

- 764.** В электрической цепи, схема которой показана на рисунке 145, сопротивления резисторов  $R_1 = R_2 = R_3 = 2,0$  Ом,  $R_4 = R_5 = R_6 = 1,0$  Ом. Определите напряжение между точками  $A$  и  $B$ , если напряжение на шестом резисторе  $U_6 = 1,0$  В.
- 765.** В электрической цепи, схема которой показана на рисунке 146, сопротивления резисторов  $R_1 = 40$  Ом,  $R_2 = 24$  Ом,  $R_3 = 60$  Ом. Амперметр  $A_1$  показывает силу тока  $I_1 = 5,0$  А. Определите показания амперметров  $A_2$  и  $A_3$ , если их внутреннее сопротивление пренебрежимо мало.
- 766.** К концам электрической цепи, схема которой показана на рисунке 147, приложено напряжение  $U = 14$  В. Сопротивления резисторов  $R_1 = R_2 = 10$  Ом,  $R_3 = 20$  Ом. Определите показание амперметра, если его сопротивление  $R_A = 2,0$  Ом.

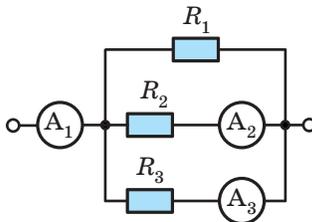


Рис. 146

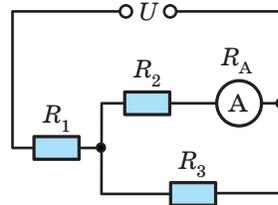


Рис. 147

- 767.** К источнику постоянного напряжения  $U_0 = 200$  В подключены два резистора сопротивлениями  $R_1 = 200$  Ом и  $R_2 = 1,0$  кОм, соединенные между собой последовательно. К концам резистора  $R_2$  параллельно подключен вольтметр. Определите сопротивление вольтметра, если он показывает напряжение  $U_V = 160$  В.
- 768.** В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 148, амперметр показывает силу тока  $I = 40$  мА, а вольтметр — напряжение  $U = 10$  В. Определите сопротивление вольтметра, если сопротивление резистора  $R = 300$  Ом.
- 769.** В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 149, вольтметр, включенный параллельно первому резистору, показывает напряжение  $U_V = 30$  В. Сопротивления резисторов  $R_1 = 40$  Ом,  $R_2 = 60$  Ом. Напряжение на концах цепи  $U = 90$  В. Определите отношение силы тока во втором резисторе к силе тока в вольтметре.
- 770.** Резистор сопротивлением  $R_1 = 200$  Ом и вольтметр, соединенные последовательно, подключены к источнику постоянного напряжения  $U = 6,0$  В. Вольтметр показывает напряжение  $U_1 = 4,8$  В. Определите показание вольтметра, если его соединить последовательно с резистором сопротивлением  $R_2 = 400$  Ом и подключить их к тому же источнику напряжения.

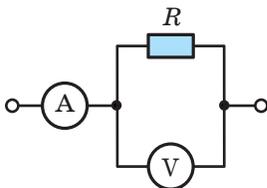


Рис. 148

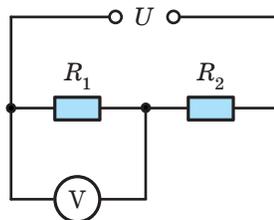


Рис. 149

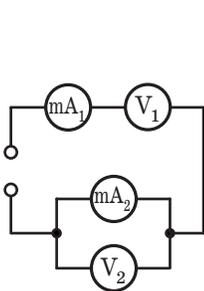


Рис. 150

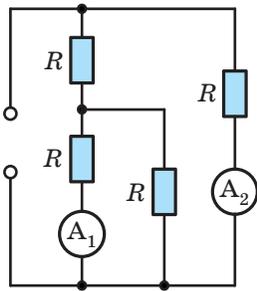


Рис. 151

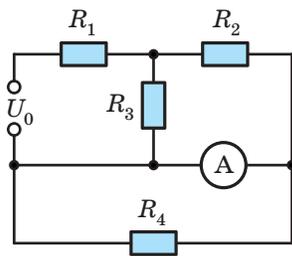


Рис. 152

- 771.** Миллиамперметры, включенные в электрическую цепь (рис. 150), показывают силу тока  $I_1 = 10,0$  мА и  $I_2 = 8,0$  мА соответственно. Определите показание первого вольтметра, если второй вольтметр показывает напряжение  $U_2 = 1,6$  В. Сопротивления вольтметров одинаковы.
- 772.** Амперметр  $A_1$ , включенный в электрическую цепь (рис. 151), показывает силу тока  $I_1 = 1$  А. Определите показание амперметра  $A_2$ , если сопротивлением амперметров пренебречь.
- 773.** В электрической цепи, схема которой показана на рисунке 152, напряжение  $U_0 = 40$  В, сопротивления резисторов  $R_1 = R_2 = 2$  Ом,  $R_3 = 5$  Ом,  $R_4 = 10$  Ом. Определите показание амперметра, если его сопротивление  $R_A = 40$  Ом.
- 774.** В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 153, амперметр показывает силу тока  $I_A = 1,2$  А. Сопротивление каждого резистора, включенного в цепь,  $R = 100$  Ом. Определите сопротивление вольтметра, если он показывает напряжение  $U_V = 90$  В.

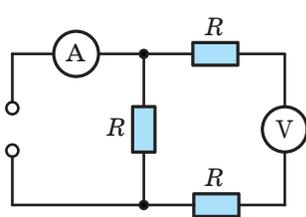


Рис. 153

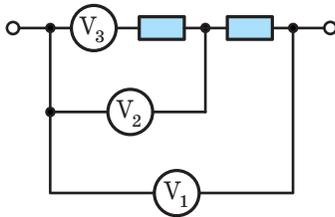


Рис. 154

- 775.** Электрическая цепь, схема которой показана на рисунке 154, собрана из одинаковых резисторов и одинаковых вольтметров. Вторым и третьим вольтметрами показывают напряжение  $U_2 = 6,0$  В и  $U_3 = 4,0$  В соответственно. Определите показание первого вольтметра.
- 776.** В электрической цепи, схема которой показана на рисунке 155, все амперметры и все резисторы одинаковы. Первый и второй амперметры показывают силу тока  $I_1 = 1,0$  мА и  $I_2 = 4,0$  мА соответственно. Определите показание третьего амперметра.
- 777.** Участок электрической цепи состоит из лампочки, амперметра и вольтметра, соединенных последовательно. На концах цепи поддерживается постоянное напряжение  $U_0 = 6$  В. При подключении резистора параллельно вольтметру показания вольтметра уменьшаются в  $n = 2$  раза, а показания амперметра возрастают в  $k = 2$  раза. Определите показание вольтметра до подключения резистора.
- 778.** В электрическую цепь, схема которой представлена на рисунке 156, включены четыре резистора сопротивлениями  $R_1 = 6$  Ом,  $R_2 = 3$  Ом,  $R_3 = 15$  Ом,  $R_4 = 8$  Ом и два амперметра, сопротивления которых пренебрежимо малы. К концам  $AB$  цепи приложено постоянное напряжение. Определите показание второго амперметра, если показание первого амперметра  $I_1 = 0,1$  А.

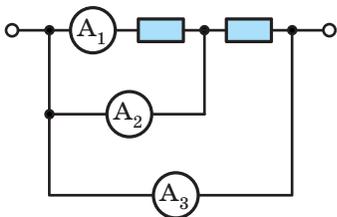


Рис. 155

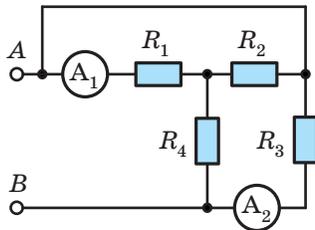


Рис. 156

779. За промежуток времени  $\Delta t = 10$  с через проводник, на напряжение на котором  $U = 12$  В, прошел заряд  $\Delta q = 10$  Кл. Определите работу и мощность электрического тока.
780. Два одинаковых резистора подключают к источнику постоянного напряжения  $U = 20$  В, сначала соединив их между собой последовательно, затем — параллельно. При этом мощность, потребляемая резисторами, во втором случае на  $\Delta P = 6$  Вт больше, чем в первом. Определите сопротивление каждого резистора.
781. Проволоку, в которой выделялась мощность  $P_0 = 30$  Вт, укоротили на 25 % ее длины. Какая мощность стала выделяться на проволоке, если напряжение на ней осталось прежним?
782. Две электрические лампочки рассчитаны на одно и то же напряжение сети. Их номинальные мощности  $P_1$  и  $P_2 = 3P_1$ . В какой лампочке будет выделяться большая мощность при последовательном их включении в сеть? Ответ поясните. Сопротивление лампочек считать постоянным.
783. Две электрические лампочки с номинальными мощностями  $P_1 = 5$  Вт и  $P_2 = 20$  Вт, рассчитанные на одинаковое напряжение  $U$ , соединены последовательно и подключены к клеммам аккумулятора с напряжением  $U$ . Какие мощности потребляют лампочки? Сопротивление лампочек считать постоянным.
784. Две лампы имеют мощности  $P_1 = 20$  Вт и  $P_2 = 40$  Вт при некотором напряжении на них  $U$ . При их последовательном включении в цепь с большим, чем  $U$ , напряжением оказалось, что в первой лампе выделяется такая же мощность, как и при напряжении  $U$ . Какая мощность выделяется при этом во второй лампе? Сопротивления ламп считать постоянными.
785. Проволочное кольцо подключено к источнику постоянного электрического напряжения так, что контакты делят длину кольца в соотношении 1 : 2. При этом в

кольце выделяется мощность  $P = 2,7$  Вт. Какая мощность будет выделяться в кольце, если контакты расположить: а) по диаметру кольца; б) в точках, делящих кольцо в соотношении  $1 : 3$ ?

- 786.** Два одинаковых металлических кольца спаяны в точках  $A$  и  $B$  (рис. 157). Центральный угол  $\alpha = 90^\circ$ . Сначала кольца подключили к источнику постоянного напряжения в точках  $A$  и  $B$ . И в них выделялась тепловая мощность  $P_1 = 8$  Вт. Определите мощность, которая будет выделяться в кольцах, если их подключить к тому же источнику тока в точках  $C$  и  $D$ .
- 787.** По проводнику сопротивлением  $R = 6$  Ом пропускали постоянный ток в течение промежутка времени  $\Delta t = 9$  с. Какое количество теплоты выделилось в проводнике за это время, если через его сечение прошел заряд  $\Delta q = 3$  Кл?
- 788.** Два электронагревателя, сопротивления которых  $R_1 = 16,0$  Ом и  $R_2 = 4,0$  Ом, подключены к источнику постоянного напряжения  $U = 10$  В. Какое суммарное количество теплоты выделяется в нагревателях за время  $\tau = 24$  с, если они соединены: а) последовательно; б) параллельно?
- 789.** Электрический нагреватель, состоящий из трех одинаковых спиралей  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  (рис. 158), подключен к источнику постоянного тока. Определите количество теплоты, выделяемое за некоторое время нагревателем, если на второй спирали за это же время выделяется  $Q_2 = 10$  Дж теплоты.

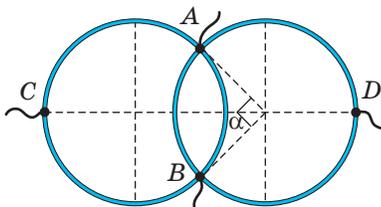


Рис. 157

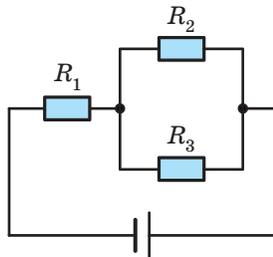


Рис. 158

790. Четыре одинаковых резистора  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_4$  подключены к источнику постоянного напряжения (рис. 159). При этом в третьем резисторе выделяется за некоторое время количество теплоты  $Q_3 = 18$  Дж. Определите количество теплоты, которое выделится за такое же время в третьем резисторе, если четвертый резистор отключить.

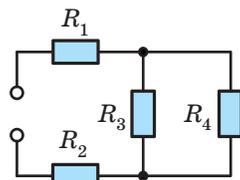


Рис. 159

791. Три резистора, сопротивления которых  $R_1 = 3$  Ом,  $R_2 = 6$  Ом и  $R_3 = 8$  Ом, соединены параллельно и подключены к источнику постоянного напряжения. За некоторое время в первом резисторе выделилось количество теплоты  $Q_1 = 289$  Дж. Определите количество теплоты, которое выделится в первом резисторе за то же время при их последовательном соединении.

792. На участке электрической цепи, схема которой показана на рисунке 160, сопротивления резисторов  $R_1 = 1,0$  Ом,  $R_2 = 1,0$  Ом,  $R_3 = 2,0$  Ом,  $R_4 = 3,0$  Ом. При прохождении тока в первом резисторе выделилось количество теплоты  $Q_1 = 242$  Дж. Определите количество теплоты, выделившееся за то же время во втором резисторе.

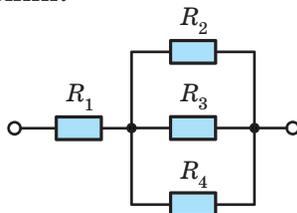


Рис. 160

793. К источнику постоянного электрического напряжения подключено четное число одинаковых последовательно соединенных проволок. При этом в них за некоторый промежуток времени выделилось количество теплоты  $Q_1 = 12$  Дж. Определите количество теплоты, которое выделится за тот же промежуток времени в проволоках, если каждую вторую из них укоротить вдвое.
794. Определите длину нихромовой проволоки площадью поперечного сечения  $S = 0,42$  мм<sup>2</sup>, использованную для

изготовления нагревателя, который за время  $\tau = 2,5$  мин нагреет воду массой  $m = 1,5$  кг от температуры  $t_1 = 10$  °С до температуры  $t_2 = 98$  °С. КПД нагревателя  $\eta = 60$  %. Напряжение на концах проволоки  $U = 220$  В.

- 795.** На электроплитке стоит кастрюля с кипящей водой. Напряжение на нагревательном элементе плитки  $U = 220$  В, сила тока в нем  $I = 11,3$  А. Определите время, в течение которого из кастрюли испарится  $m = 66$  г воды, если вода получает  $\eta = 50$  % энергии, выделяющейся в электроплитке.
- 796.** Нагреватель в электрочайнике состоит из двух секций равного сопротивления. При подключении одной секции к источнику постоянного напряжения вода в чайнике закипает через время  $\tau_1 = 22$  мин. Определите, через какой промежуток времени после начала нагревания закипит вода в чайнике, если обе секции соединить между собой параллельно и подключить их к тому же источнику напряжения. Масса и изменение температуры воды в обоих случаях одинаковые. Сопротивления секций не зависят от условий работы электрочайника. Потерями энергии пренебречь.
- 797.** Электронагреватель имеет две нихромовые проволоки, длины которых отличаются в два раза, а площади поперечного сечения одинаковые. При подключении к источнику постоянного напряжения этих проволок, соединенных последовательно, снег, находящийся при температуре плавления в электронагревателе, плавится за время  $\tau_1 = 7,2$  мин. Определите время плавления снега в нагревателе, если обе проволоки соединить между собой параллельно и подключить к тому же источнику напряжения. Масса снега в обоих случаях одинаковая. Сопротивления проволок не зависят от условий работы электронагревателя. Потерями энергии пренебречь.

- 798.** Электродвигатель подключен к источнику постоянного тока, напряжение на клеммах которого  $U = 100$  В. КПД электродвигателя  $\eta = 80\%$ . Определите сопротивление обмотки электродвигателя, если в ней протекает ток  $I = 8,0$  А.
- 799.** Трамвай движется по горизонтальному участку дороги со скоростью, модуль которой  $v = 18 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Электродвигатель трамвая работает при силе тока  $I = 100$  А и напряжении  $U = 500$  В. Определите сопротивление обмотки электродвигателя, если модуль силы тяги трамвая  $F = 4,0$  кН.
- 800.** Электробус массой  $m = 10$  т движется вверх по склону горы со скоростью, модуль которой  $v = 54 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Определите силу тока в электродвигателе, если напряжение в сети, к которой он подключен,  $U = 1,5$  кВ. КПД электробуса  $\eta = 90\%$ , уклон горы  $k = 0,050$  ( $k = \sin\alpha = 0,050$ ), а коэффициент сопротивления движению  $\mu = 0,020$ .

### 18. Электродвижущая сила источника тока. Закон Ома для полной электрической цепи

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
ЭДС источника тока	$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}$	$\mathcal{E}$ — ЭДС источника тока; $A_{\text{ст}}$ — работа сторонних сил по перемещению заряда внутри источника тока; $q$ — заряд, перемещенный внутри источника тока под действием сторонних сил
Закон Ома для полной цепи	$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$	$I$ — сила тока в электрической цепи; $\mathcal{E}$ — ЭДС источника тока;

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
		$R$ — сопротивление внешнего участка цепи; $r$ — сопротивление внутреннего участка цепи (источника тока)
Сила тока короткого замыкания	$I_{\text{к.з.}} = \frac{\mathcal{E}}{r}$	$I_{\text{к.з.}}$ — сила тока короткого замыкания; $\mathcal{E}$ — ЭДС источника тока; $r$ — сопротивление источника тока

- 801.** Какую работу совершают сторонние силы при перемещении заряда  $q = 0,24$  Кл внутри источника тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 1,5$  В?
- 802.** Сторонние силы, совершив работу  $A_{\text{ст}} = 72$  Дж, переместили заряд  $q = 20$  Кл. Определите ЭДС источника тока.
- 803.** ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 4,5$  В. Определите заряд, который был перемещен внутри источника тока, если сторонние силы совершили работу  $A_{\text{ст}} = 0,18$  Дж.
- 804.** Через лампочку, подключенную к гальваническому элементу, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 1,5$  В, протекает ток  $I = 0,20$  А. Определите работу сторонних сил в элементе, совершенную за промежуток времени  $\Delta t = 1,0$  мин.
- 805.** Определите работу, совершенную сторонними силами источника тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 9,0$  В при перемещении по электрической цепи  $N = 2,5 \cdot 10^{19}$  электронов.
- 806.** К гальваническому элементу, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 1,5$  В, а внутреннее сопротивление  $r = 1,2$  Ом, подключен резистор сопротивлением  $R = 4,8$  Ом. Определите силу тока, протекающую через резистор.
- 807.** К фотоэлементу, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 0,40$  В и внутреннее сопротивление  $r = 0,20$  Ом, подключен миллиамперметр,

показывающий силу тока  $I = 0,25$  А. Определите сопротивление миллиамперметра.

- 808.** К источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 1,2$  В, подключили резистор сопротивлением  $R = 5,0$  Ом. Определите внутреннее сопротивление источника тока, если в цепи протекает ток  $I = 0,20$  А.
- 809.** При подключении лампочки к батарее с ЭДС  $\mathcal{E} = 4,5$  В напряжение на лампочке  $U = 4$  В. Определите внутреннее сопротивление батареи, если через лампочку протекает ток  $I = 0,25$  А.
- 810.** При подключении электроприбора к источнику тока, внутреннее сопротивление которого  $r = 4,0$  Ом и ЭДС  $\mathcal{E} = 15,0$  В, напряжение на полюсах источника тока  $U = 9,0$  В. Определите силу тока в цепи и сопротивление электроприбора.
- 811.** ЭДС батареи  $\mathcal{E} = 6,4$  В, ее внутреннее сопротивление  $r = 1,5$  Ом. Определите напряжение на полюсах батареи и падение напряжения на внутреннем участке цепи, если сопротивление внешнего участка цепи  $R = 2,5$  Ом.
- 812.** Проводник сопротивлением  $R = 10$  Ом подключен к источнику тока, внутреннее сопротивление которого  $r = 1,5$  Ом. Определите ЭДС источника тока, если за промежуток времени  $\Delta t = 2,0$  мин через поперечное сечение проводника прошло  $N = 1,5 \cdot 10^{21}$  электронов.
- 813.** При подключении электромагнита к источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 30$  В и внутреннее сопротивление  $r = 2$  Ом, напряжение на полюсах источника стало  $U = 28$  В. Определите работу, совершенную сторонними силами источника тока за промежуток времени  $\Delta t = 5$  мин.
- 814.** Определите длину проволоки сечением  $S = 1,0$  мм<sup>2</sup>, которую необходимо присоединить к полюсам источника тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 12,5$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1,0$  Ом, чтобы напряжение на полюсах источ-

ника было  $U = 10$  В. Удельное сопротивление вещества проволоки  $\rho = 1,6 \cdot 10^{-8}$  Ом  $\cdot$  м.

- 815.** К полюсам источника тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 5,0$  В и внутреннее сопротивление  $r = 0,80$  Ом, присоединена никелиновая проволока длиной  $l = 2,1$  м и сечением  $S = 0,21$  мм<sup>2</sup>. Определите напряжение на полюсах источника тока.
- 816.** Определите площадь поперечного сечения вольфрамовой проволоки длиной  $l = 2,0$  м, которую подключили к полюсам источника тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 3,9$  В и внутренним сопротивлением  $r = 0,75$  Ом, если в проволоке протекает ток  $I = 3,0$  А.
- 817.** В электрической цепи, состоящей из источника тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 6$  В и внутренним сопротивлением  $r = 2$  Ом и реостата, протекает ток  $I_1 = 1$  А. Определите силу тока в цепи, если сопротивление реостата уменьшить в  $n = 4$  раза.
- 818.** К источнику тока подключен реостат, напряжение на котором равно  $U$ . Определите ЭДС источника тока, если при увеличении сопротивления реостата в  $n = 3$  раза напряжение на нем увеличивается в  $k = 2$  раза.

- 819.** Как изменятся показания амперметра и вольтметра, включенных в электрическую цепь (рис. 161), если увеличить сопротивление реостата?

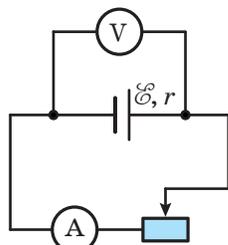


Рис. 161

- 820.** На рисунке 162 представлена схема электрической цепи, в которую включены три амперметра, сопротивления которых пренебрежимо малы. Как изменятся показания амперметров, если уменьшить сопротивление реостата?
- 821.** На рисунке 163 представлена схема электрической цепи, в которую включены три вольтметра, сопротивления

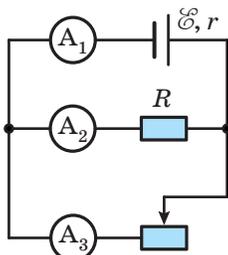


Рис. 162

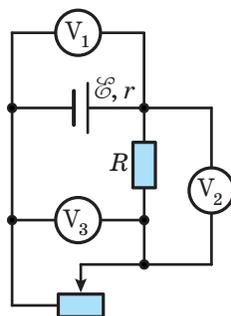


Рис. 163

которых бесконечно большие. Как изменятся показания вольтметров, если уменьшить сопротивление реостата?

- 822.** К аккумулятору, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 15$  В и внутреннее сопротивление  $r = 1,4$  Ом, подключены два резистора, соединенные между собой параллельно. Определите напряжение на полюсах аккумулятора, если сопротивления резисторов  $R_1 = 2$  Ом,  $R_2 = 8$  Ом.
- 823.** Две одинаковые лампы и резистор сопротивлением  $R_p = 30$  Ом соединены последовательно и подключены к источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 97$  В и внутреннее сопротивление  $r = 4,0$  Ом. Определите силу тока в цепи, если напряжение на каждой лампе  $U_{л} = 40$  В.
- 824.** Два резистора сопротивлениями  $R_1 = 2$  Ом и  $R_2 = 3$  Ом соединены между собой параллельно и подключены к источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 7,5$  В и внутреннее сопротивление  $r = 0,3$  Ом. Определите силу тока в каждом резисторе.
- 825.** К источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 130$  В и внутренним сопротивлением  $r = 2,0$  Ом подключены резистор сопротивлением  $R_1 = 34$  Ом и последовательно с ним два параллельно соединенных резистора сопротивлениями  $R_2 = 20$  Ом и  $R_3 = 80$  Ом. Определите напряжение на первом резисторе.

- 826.** К источнику тока подключены два одинаковых резистора, соединенные между собой последовательно. Сопротивление каждого резистора больше внутреннего сопротивления источника тока в  $n = 4$  раза. Во сколько раз увеличится сила тока в цепи, если резисторы соединить между собой параллельно и подключить к тому же источнику тока?
- 827.** Источник тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r$  замкнут на три резистора с сопротивлением  $R = 3r$  каждый, соединенные последовательно. Во сколько раз изменятся сила тока в цепи и напряжение на полюсах источника, если резисторы соединить параллельно?
- 828.** К источнику тока были подключены две одинаковые лампочки, соединенные между собой последовательно. После того как к одной из лампочек параллельно подключили еще одну такую же лампочку, сила тока в цепи увеличилась в  $n = 1,3$  раза. Во сколько раз сопротивление одной лампочки больше внутреннего сопротивления источника?
- 829.** Кусок однородной проволоки сопротивлением  $R = 10$  Ом свернули в кольцо и подключили к источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 3$  В и внутреннее сопротивление  $r = 0,5$  Ом, в двух точках, лежащих на противоположных концах диаметра кольца. Определите силу тока, протекающего через источник тока.
- 830.** К источнику тока, внутреннее сопротивление которого  $r = 2,0$  Ом, подключены две лампочки, соединенные между собой параллельно. Сопротивление каждой лампочки  $R = 8,0$  Ом. Амперметр в неразветвленной части цепи показывает силу тока  $I_1 = 2,0$  А. Определите показание амперметра, если одна из лампочек перегорит. Сопротивлением амперметра пренебречь.
- 831.** В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 164, ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 24$  В, внутреннее

сопротивление  $r = 1,0$  Ом, сопротивления резисторов  $R_1 = 10,0$  Ом,  $R_2 = 6,0$  Ом,  $R_3 = 4,0$  Ом,  $R_4 = 10,0$  Ом. Определите силу тока в цепи.

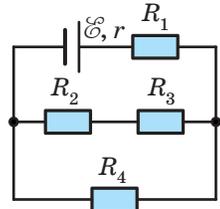


Рис. 164

**832.** К источнику тока подключены две лампочки, соединенные между собой параллельно. Сопротивление каждой лампочки  $R = 4,0$  Ом. Идеальный вольтметр, подключенный к полюсам источника, показывает напряжение  $U_1 = 6,0$  В. Определите ЭДС источника и его внутреннее сопротивление, если при перегорании одной из лампочек показание вольтметра возрастает до  $U_2 = 8,0$  В.

**833.** Какая относительная погрешность измерения ЭДС источника тока будет допущена, если показание школьного лабораторного вольтметра, присоединенного к его полюсам, принять за ЭДС источника тока? Внутреннее сопротивление источника тока  $r = 5,0$  Ом, сопротивление вольтметра  $R_V = 2,0$  кОм. Во сколько раз сопротивление внешнего участка должно быть больше сопротивления источника тока, чтобы при измерении ЭДС источника тока ошибка не превышала 1 %?

**834.** В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 165, сопротивления резисторов  $R_1 = R_2 = R_5 = R_6 = 3,0$  Ом,  $R_3 = 20$  Ом,  $R_4 = 24$  Ом, ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 40$  В. Определите внутреннее сопротивление источника тока, если сила тока в цепи  $I = 2$  А.

**835.** К полюсам источника тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 32$  В и внутренним сопротивлением  $r = 3,2$  Ом подключены четыре одинаковых резистора сопротивлением  $R = 24$  Ом каждый и две одинаковые лампы сопротивлением  $R_1 = R_2 = 16$  Ом (рис. 166). Определите напряжение на второй лампе.

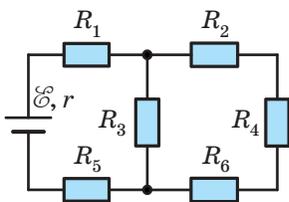


Рис. 165

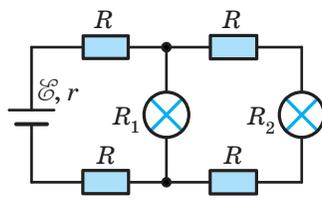


Рис. 166

**836.** Батарея аккумуляторов, ЭДС которой  $\mathcal{E} = 60$  В, а внутреннее сопротивление пренебрежимо мало, замкнута на два последовательно соединенных резистора сопротивлением  $R = 5,0$  кОм каждый. Определите показания вольтметра, подключенного параллельно к одному из резисторов, если сопротивление вольтметра  $R_V = 10$  кОм.

**837.** В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 167, сопротивления резисторов  $R_1 = 6,0$  Ом,  $R_2 = 12,0$  Ом,  $R_3 = 5,0$  Ом. Определите силу тока, протекающего через каждый резистор, и падение напряжения на них. ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 36$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 3,0$  Ом.

**838.** В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 168, ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 2,1$  В, сопротивления резисторов  $R_1 = 2,0$  Ом,  $R_2 = 20,0$  Ом и  $R_3 = 5,0$  Ом. Определите внутреннее сопротивление источника, если сила тока, протекающего через третий резистор,  $I_3 = 0,24$  А.

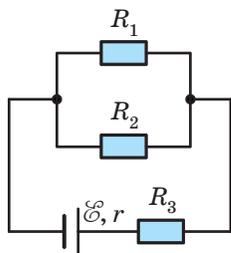


Рис. 167

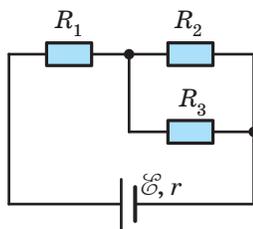


Рис. 168

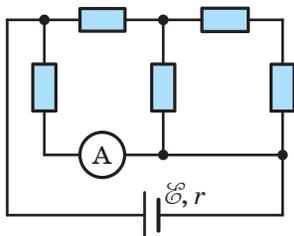


Рис. 169

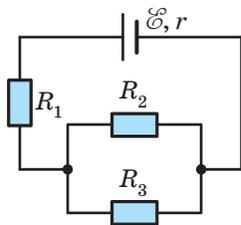


Рис. 170

- 839.** Электрическая цепь, схема которой показана на рисунке 169, состоит из пяти одинаковых резисторов сопротивлением  $R = 72$  Ом каждый, источника тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 19,2$  В и внутренним сопротивлением  $r = 3,0$  Ом. Определите показание идеального амперметра.
- 840.** Электрическая цепь состоит из источника тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 2,8$  В и трех резисторов сопротивлениями  $R_1 = 1,8$  Ом,  $R_2 = 2,0$  Ом и  $R_3 = 3,0$  Ом (рис. 170). Определите внутреннее сопротивление источника тока, если через второй резистор протекает ток  $I_2 = 0,48$  А.
- 841.** На рисунке 171 представлена схема электрической цепи, в которую включен источник тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 9,0$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1,8$  Ом. Сопротивление первого резистора  $R_1 = 3,6$  Ом. Определите сопротивление второго резистора, если через первый резистор протекает ток  $I_1 = 1,0$  А.
- 842.** ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 9,0$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 2,0$  Ом (рис. 172). Сопротив-

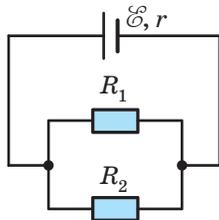


Рис. 171

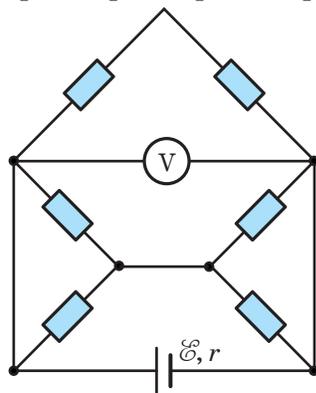


Рис. 172

ление каждого резистора  $R = 6,0$  Ом. Определите показание вольтметра, сопротивление которого значительно больше сопротивления резистора.

**843.** При подключении к источнику тока резистора сопротивлением  $R_1 = 16$  Ом сила тока в цепи  $I_1 = 1,0$  А, а при подключении резистора сопротивлением  $R_2 = 8$  Ом сила тока в цепи  $I_2 = 1,8$  А. Определите ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

**844.** К источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 6,0$  В и внутренним сопротивлением  $r = 0,2$  Ом подключены резистор сопротивлением  $R = 0,8$  Ом и амперметр, имеющий некоторое сопротивление. Амперметр и резистор соединены последовательно. Амперметр показывает силу тока  $I_1 = 4,0$  А. Определите показание амперметра, если параллельно ему подключить еще один такой же амперметр.

**845.** Напряжение на внешнем участке цепи  $U_1 = 5,0$  В, сила тока в цепи  $I_1 = 3,0$  А. После изменения сопротивления внешнего участка напряжение на нем стало  $U_2 = 8,0$  В, сила тока —  $I_2 = 2,0$  А. Определите ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

**846.** К источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 27$  В, подключены резисторы сопротивлениями  $R_1 = 30$  Ом,  $R_2 = 18$  Ом,  $R_3 = 20$  Ом (рис. 173). Определите внутреннее сопротивление источника тока. Идеальный амперметр показывает силу тока  $I_A = 0,72$  А.

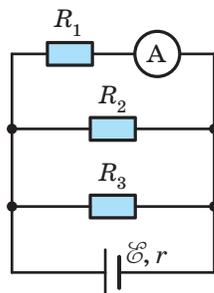


Рис. 173

**847.** Определите внутреннее сопротивление аккумулятора, если известно, что при замыкании его на внешнее сопротивление  $R_1 = 1,0$  Ом напряжение на зажимах аккумулятора  $U_1 = 2,0$  В, а при замыкании на внешнее сопротивление  $R_2 = 2,0$  Ом напряжение на зажимах  $U_2 = 2,4$  В.

848. При подключении к аккумулятору резистора сопротивлением  $R_1 = 7,0$  Ом сила тока в цепи  $I_1 = 7,0$  А. Определите ЭДС аккумулятора, если после замены резистора на лампочку сопротивлением  $R_2 = 27$  Ом напряжение на лампочке  $U_2 = 54$  В.
849. На полюсах аккумулятора, к которому подключен реостат, напряжение  $U_1 = 10$  В. При увеличении сопротивления реостата в  $n = 6,0$  раза напряжение на полюсах аккумулятора увеличивается в  $k = 2,0$  раза. Определите ЭДС аккумулятора.
850. В цепь, состоящую из аккумулятора и резистора сопротивлением  $R = 20$  Ом, включают вольтметр сначала последовательно, а затем параллельно резистору. Показания вольтметра в обоих случаях одинаковы. Определите сопротивление вольтметра, если внутреннее сопротивление аккумулятора  $r = 0,1$  Ом.
851. Электрическая цепь состоит из источника тока и лампочки сопротивлением  $R_1 = 15$  Ом. К лампочке подключают резистор сопротивлением  $R_2 = 45$  Ом сначала параллельно, а затем последовательно ей. Определите внутреннее сопротивление источника тока, если через резистор в обоих случаях протекает одинаковый ток.

852. К источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 135$  В и внутреннее сопротивление  $r = 10$  Ом, подключены резисторы сопротивлениями  $R_1 = 500$  Ом,  $R_2 = 240$  Ом и  $R_3 = 250$  Ом (рис. 174). Определите показание вольтметра, если его сопротивление  $R_V = 2,0$  кОм.

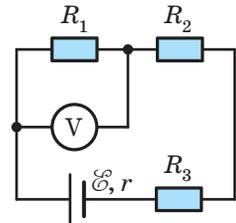


Рис. 174

853. В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 175, сопротивления резисторов  $R_1 = 2$  Ом,  $R_2 = 4$  Ом и  $R_3 = 6$  Ом. Определите показание идеального амперметра, включенного в цепь, если ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 12$  В, а его внутреннее сопротивление  $r = 0,4$  Ом.

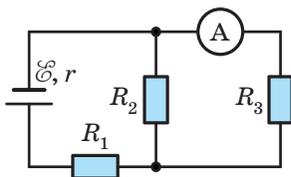


Рис. 175

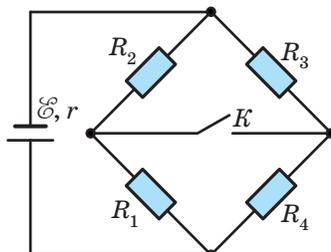


Рис. 176

**854.** В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 176, сопротивления резисторов  $R_1 = R_3 = R$ ,  $R_2 = R_4 = 2R$ . ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 6,0$  В, а его внутреннее сопротивление  $r = 1,0$  Ом. Определите силу тока в цепи при разомкнутом ключе  $K$ , если при замкнутом ключе сила тока в цепи  $I_1 = 0,40$  А.

**855.** Амперметр, включенный в электрическую цепь (рис. 177), показывает силу тока  $I_A = 0,60$  А. Сопротивления резисторов  $R_1 = 3,0$  Ом,  $R_2 = 1,8$  Ом,  $R_3 = 2,0$  Ом,  $R_4 = 3,0$  Ом. Определите ЭДС источника тока, если его внутреннее сопротивление  $r = 1,5$  Ом. Сопротивлением амперметра пренебречь.

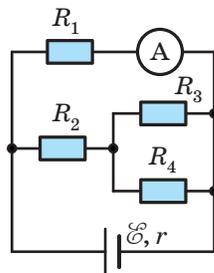


Рис. 177

**856.** При подключении к источнику тока двух одинаковых резисторов, соединенных между собой параллельно, напряжение на каждом из них  $U_1 = 10$  В. Определите ЭДС источника, если напряжение на одном резисторе, подключенном к тому же источнику тока,  $U_2 = 12$  В.

**857.** Два одинаковых вольтметра, соединенные последовательно и подключенные к источнику тока, показывают напряжение  $U_1 = 2,0$  В каждый. Определите ЭДС источника тока, если один вольтметр, подключенный к тому же источнику, показывает напряжение  $U_2 = 3,0$  В.

858. Два вольтметра, соединенные последовательно, подключены к источнику тока и показывают разное напряжение:  $U_1 = 10$  В и  $U_2 = 15$  В. Если в цепи оставить только первый вольтметр, он покажет напряжение  $U = 20$  В. Определите ЭДС источника тока.
859. Вольтметр, подключенный к полюсам источника тока, показал напряжение  $U_1 = 6$  В. Когда к тем же полюсам подключили еще и резистор, вольтметр стал показывать напряжение  $U_2 = 3$  В. Определите показания вольтметра, если вместо одного подключить к тому же источнику два таких резистора, соединенные между собой: а) последовательно; б) параллельно.
860. В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 178, сопротивления резисторов  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом. Определите внутреннее сопротивление источника тока, если при разомкнутом ключе  $K$  через первый резистор протекает ток  $I_1 = 2,8$  А, а при замкнутом ключе  $K$  через второй резистор протекает ток  $I_2 = 1,0$  А.

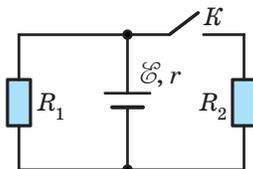


Рис. 178

861. Две одинаковые лампочки и резистор сопротивлением  $R = 8$  Ом подключили к источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 9$  В, внутреннее сопротивление  $r = 2$  Ом, сначала так, как показано на рисунке 179, а, затем так, как показано на рисунке 179, б. Определите силу тока, протекающего через каждую лампочку, если в обоих случаях сила тока в каждой лампочке была одинаковой.

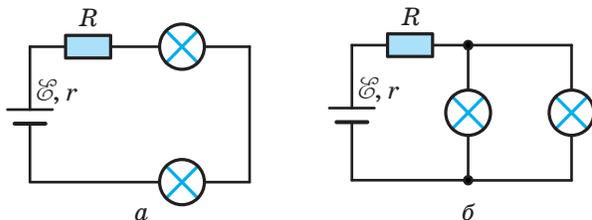


Рис. 179

862. К источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 9,0$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1,5$  Ом подключены резисторы сопротивлением  $R_1 = 15$  Ом,  $R_2 = R_3 = R_4 = 10$  Ом (рис. 180). Определите показание амперметра и напряжение на четвертом резисторе. Сопротивлением амперметра пренебречь.

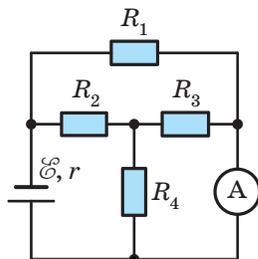


Рис. 180

863. К гальваническому элементу, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 1,6$  В и внутреннее сопротивление  $r = 0,2$  Ом, сначала коротко подключили амперметр, который показал силу тока  $I_1 = 4,0$  А. Затем параллельно амперметру еще подключили резистор сопротивлением  $R = 0,1$  Ом. Определите показание амперметра в этом случае.
864. Показания вольтметра, сопротивление которого  $R_V = 500$  Ом, подключенного непосредственно к полюсам источника тока,  $U_1 = 25$  В. Если вместо вольтметра к источнику подключить резистор сопротивлением  $R = 5,0$  Ом, сила тока, протекающего в цепи, будет  $I_2 = 2,8$  А. Определите ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.
865. Вольтметр соединяют последовательно с резистором сопротивлением  $R_1$  и подключают их к источнику тока. При этом вольтметр показывает напряжение  $U_1 = 80$  В. После замены резистора на лампочку сопротивлением  $R_2$  напряжение на вольтметре становится  $U_2 = 160$  В. Определите отношение сопротивлений  $\frac{R_1}{R_2}$ , если ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 240$  В, а его внутреннее сопротивление пренебрежимо мало.
866. Электрическая цепь состоит из источника тока и двух последовательно соединенных резисторов  $R_1$  и  $R_2$ . Если вольтметр подключить параллельно сначала резистору  $R_1$ ,

а затем —  $R_2$ , он покажет напряжение соответственно  $U_1 = 6,0$  В и  $U_2 = 4,0$  В. Если вольтметр подключить непосредственно к источнику тока, он покажет напряжение  $U = 12,0$  В. Определите напряжение на резисторах  $R_1$  и  $R_2$  до подключения вольтметра. Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

- 867.** При разомкнутом ключе  $K$  (рис. 181) вольтметр  $V_1$  показывает напряжение  $0,9\mathcal{E}$ , где  $\mathcal{E}$  — ЭДС источника тока. Определите показания вольтметров при замкнутом ключе, если сопротивление вольтметра  $V_2$  вдвое меньше сопротивления вольтметра  $V_1$ .

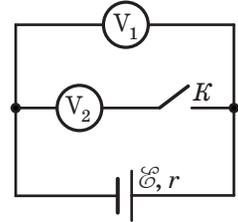


Рис. 181

- 868.** Вольтметр, подключенный к полюсам источника тока, показал напряжение  $U_1 = 10$  В. Другой вольтметр, подключенный к тому же источнику вместо первого, показал напряжение  $U_2 = 15$  В. После соединения этих вольтметров последовательно друг с другом и подключения их к полюсам источника первый вольтметр показал напряжение  $U'_1 = 4,0$  В, второй —  $U'_2 = 12$  В. Определите ЭДС источника тока.
- 869.** В резисторе сопротивлением  $R = 3$  Ом, подключенном к источнику тока, протекает ток  $I = 0,5$  А. Определите силу тока при коротком замыкании данного источника, если при перемещении внутри его заряда  $q = 0,8$  Кл сторонней силой совершена работа  $A_{\text{ст}} = 1,6$  Дж.
- 870.** Электрическая цепь состоит из двух параллельно соединенных резисторов сопротивлениями  $R_1 = 40$  Ом и  $R_2 = 10$  Ом, подключенных к источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 10$  В. Сила тока, протекающего в цепи,  $I = 1$  А. Определите силу тока при коротком замыкании источника тока.
- 871.** Амперметр сопротивлением  $R_1 = 2,0$  Ом, подключенный к источнику тока, показывает силу тока  $I_1 = 5,0$  А. При

подключении к источнику тока только резистора сопротивлением  $R_2 = 15$  Ом напряжение на полюсах источника тока  $U_2 = 12$  В. Определите силу тока при коротком замыкании данного источника.

- 872.** В проводнике сопротивлением  $R = 2,0$  Ом, подключенном к гальваническому элементу с ЭДС  $\mathcal{E} = 1,1$  В, сила тока  $I = 0,50$  А. Определите силу тока при коротком замыкании данного элемента.
- 873.** К гальваническому элементу, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 4,5$  В, подключили резистор сопротивлением  $R = 20$  Ом. Падение напряжения на резисторе  $U = 4,0$  В. Определите силу тока при коротком замыкании гальванического элемента.
- 874.** К батарее, ЭДС которой  $\mathcal{E} = 1,6$  В, подключена лампочка. Определите, во сколько раз сила тока при коротком замыкании батарейки больше силы тока, протекающего через лампочку, если напряжение на клеммах батарейки  $U = 1,2$  В.
- 875.** Сила тока при коротком замыкании источника тока равна  $I_{\text{к. з.}}$ . При подключении к этому источнику резистора сопротивлением  $R$  в цепи протекает ток  $I$ . Определите ЭДС источника тока.
- 876.** Определите силу тока при коротком замыкании аккумулятора, если известно, что при замыкании его на внешнее сопротивление  $R_1 = 1$  Ом напряжение на полюсах аккумулятора  $U_1 = 2,0$  В, а при замыкании на сопротивление  $R_2 = 2$  Ом —  $U_2 = 2,4$  В.
- 877.** Определите силу тока при коротком замыкании гальванического элемента, если известно, что при внешней нагрузке  $R_1 = 1,5$  Ом в цепи протекает ток  $I_1 = 0,5$  А, а при внешней нагрузке  $R_2 = 4,5$  Ом —  $I_2 = 0,25$  А.
- 878.** При замыкании источника тока на лампочку сопротивлением  $R_1 = 12$  Ом сила тока в цепи  $I_1 = 2$  А. При замыкании того же источника на резистор на полюсах

источника тока устанавливается напряжение  $U_2 = 23$  В, а в цепи протекает ток  $I_2 = 2,5$  А. Определите силу тока при коротком замыкании источника тока.

- 879.** К источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 3,6$  В и внутреннее сопротивление  $r = 2,0$  Ом, подключены резистор сопротивлением  $R = 7,0$  Ом и конденсатор (рис. 182). Определите емкость конденсатора, если его заряд  $q = 70$  нКл.

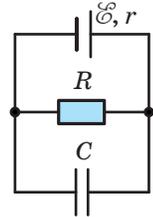


Рис. 182

- 880.** К источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 12$  В и внутреннее сопротивление  $r = 2,0$  Ом, подключены два резистора сопротивлением  $R = 2,0$  Ом каждый и конденсатор емкостью  $C = 2,0$  мкФ (рис. 183, а—г). Определите заряд конденсатора.

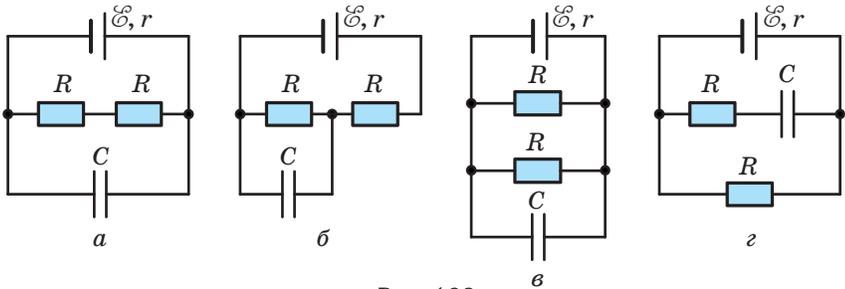


Рис. 183

- 881.** К источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 3,6$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом подключены два резистора и конденсатор емкостью  $C = 2$  мкФ, заряд которого  $q = 4,2$  мкКл (рис. 184). Определите сопротивление первого резистора, если сопротивление второго резистора  $R_2 = 7$  Ом.

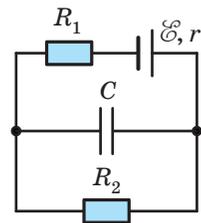


Рис. 184

- 882.** В электрической цепи, схема которой показана на рисунке 185, ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 7$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 2$  Ом. Сопротивления резисторов

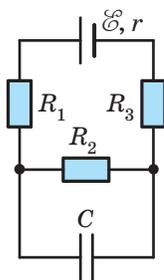


Рис. 185

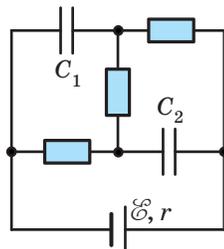


Рис. 186

$R_1 = 2$  Ом,  $R_2 = 4$  Ом,  $R_3 = 6$  Ом. Определите энергию электростатического поля конденсатора, если его емкость  $C = 3$  мкФ.

**883.** Определите заряды на конденсаторах емкостями  $C_1 = 1$  мкФ и  $C_2 = 3$  мкФ, включенных в электрическую цепь (рис. 186). Сопротивление каждого резистора  $R = 6$  Ом, ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 5$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 2$  Ом.

**884.** Определите заряды на конденсаторах емкостями  $C_1 = 20$  нФ и  $C_2 = 60$  нФ, включенных в электрическую цепь (рис. 187). Сопротивление каждого резистора  $R = 9$  Ом, ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 4,5$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 3$  Ом.

**885.** ЭДС источника тока, включенного в электрическую цепь, схема которой показана на рисунке 188,  $\mathcal{E} = 18$  В. Емкость конденсатора  $C = 4,0$  мкФ. Определите энергию

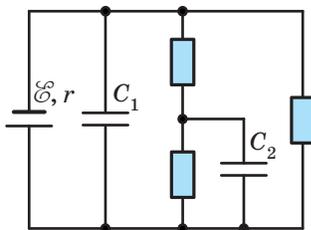


Рис. 187

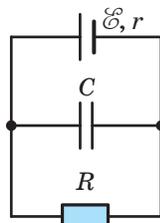


Рис. 188

электростатического поля в конденсаторе, если при коротком замыкании сила тока, проходящего через источник, возрастает в  $n = 6,0$  раза.

- 886.** На рисунке 189 представлена схема электрической цепи, в которую включен источник тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 20$  В и внутренним сопротивлением  $r$ . Сопротивления резисторов  $R_1 = r$ ,  $R_2 = 5r$ ,  $R_3 = 2r$  и  $R_4 = 4r$ . Электроемкость плоского конденсатора  $C = 6,4$  мкФ. Определите работу, которую надо совершить, чтобы быстро (без изменения заряда на конденсаторе) увеличить расстояние между пластинами конденсатора в  $n = 2,5$  раза.
- 887.** На рисунке 190 представлена схема электрической цепи, в которую включены два источника тока с ЭДС  $\mathcal{E}_1 = 10$  В и  $\mathcal{E}_2 = 16$  В, конденсатор электроемкостью  $C = 2,5$  нФ и резистор. Определите изменение заряда конденсатора, если ключ  $K$  из положения 1 перевести в положение 2.
- 888.** Два конденсатора емкостями  $C_1 = 1,0$  мкФ и  $C_2 = 2,0$  мкФ подключены к источнику постоянного тока (рис. 191). Сопротивления резисторов  $R_1 = 300$  Ом,  $R_2 = 100$  Ом,  $R_3 = 90$  Ом. При разомкнутом ключе заряд второго конденсатора  $q_2 = 4,0$  мкКл. Определите ЭДС источника тока и заряд, который установится на первом конденсаторе, если ключ  $K$  замкнуть. Внутреннее сопротивление источника тока  $r = 10$  Ом.

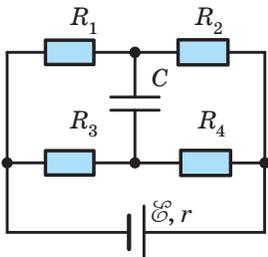


Рис. 189

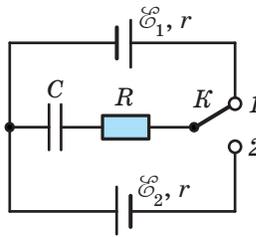


Рис. 190

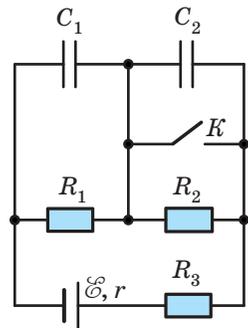


Рис. 191

**889.** При разомкнутом ключе  $K$  (рис. 192) заряд конденсатора  $q_1 = 60$  мкКл. Определите ЭДС источника тока и заряд конденсатора, если замкнуть ключ  $K$ . Электроёмкость конденсатора  $C = 5,0$  мкФ, а внутреннее сопротивление источника тока  $r = R$ .

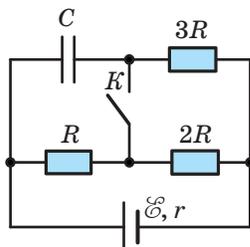


Рис. 192

**890.** К источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 8,0$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1,6$  Ом подключены резисторы сопротивлениями  $R_1 = 1,0$  Ом,  $R_2 = 2,0$  Ом,  $R_3 = 3,0$  Ом,  $R_4 = 4,0$  Ом и четыре конденсатора (рис. 193). Определите электроёмкость конденсаторов  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$ , если электроёмкость четвертого конденсатора  $C_4 = 20$  мкФ, а заряды на всех конденсаторах одинаковы.

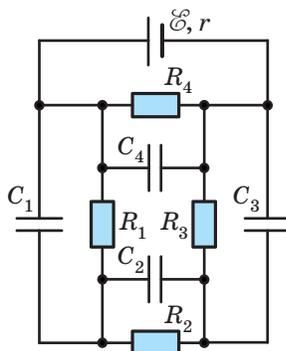


Рис. 193

## 19. Работа и мощность тока. Закон Джоуля — Ленца

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Работа электрического тока	Работа тока во всей электрической цепи: $A = I\mathcal{E}\Delta t.$ Работа тока на внешнем участке цепи: $A_{\text{внеш}} = IU\Delta t$	$A$ — работа тока в электрической цепи; $I$ — сила тока в электрической цепи; $\mathcal{E}$ — ЭДС источника тока; $\Delta t$ — промежуток времени, в течение которого совершается работа; $U$ — напряжение на внешнем участке цепи

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Полезная работа электрического тока	$A_{\text{полезн}} = I^2 R \Delta t$	$A_{\text{полезн}}$ — полезная работа электрического тока (работа на внешнем участке цепи, в котором выделяется только тепловая энергия); $I$ — сила тока в электрической цепи; $R$ — сопротивление внешнего участка цепи; $\Delta t$ — промежуток времени, в течение которого совершается полезная работа
Полезная мощность электрического тока	<p>Полезная тепловая мощность электрического тока (мощность тока на внешнем участке цепи):</p> $P_{\text{полезн}} = \left( \frac{\mathcal{E}}{R+r} \right)^2 R;$ $P_{\text{полезн}} = IU.$ <p>Максимальная полезная тепловая мощность электрического тока (мощность тока на внешнем участке цепи при выполнении условия <math>R = r</math>):</p> $P_{\text{полезн}}^{\text{max}} = \frac{\mathcal{E}^2}{4r}$	$P_{\text{полезн}}$ — полезная тепловая мощность; $\mathcal{E}$ — ЭДС источника тока; $R$ — сопротивление внешнего участка цепи; $r$ — сопротивление внутреннего участка цепи (источника тока); $I$ — сила тока в электрической цепи; $U$ — напряжение на внешнем участке цепи; $P_{\text{полезн}}^{\text{max}}$ — максимальная полезная тепловая мощность

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
<p>Полная мощность электрического тока</p>	<p>Полная тепловая мощность электрического тока (мощность тока во всей цепи):</p> $P_{\text{полн}} = \frac{\mathcal{E}^2}{R + r};$ $P_{\text{полн}} = I\mathcal{E}$	<p><math>P_{\text{полн}}</math> — тепловая мощность, развиваемая сторонними силами источника;  <math>\mathcal{E}</math> — ЭДС источника тока;  <math>R</math> — сопротивление внешнего участка цепи;  <math>r</math> — сопротивление источника тока;  <math>I</math> — сила тока в электрической цепи</p>
<p>Коэффициент полезного действия источника тока</p>	$\eta = \frac{P_{\text{полезн}}}{P_{\text{полн}}} \cdot 100 \%;$ $\eta = \frac{R}{R + r} \cdot 100 \%;$ $\eta = \frac{U}{\mathcal{E}} \cdot 100 \%$	<p><math>P_{\text{полезн}}</math> — полезная тепловая мощность;  <math>P_{\text{полн}}</math> — тепловая мощность, развиваемая сторонними силами источника;  <math>R</math> — сопротивление внешнего участка цепи;  <math>r</math> — сопротивление источника тока;  <math>U</math> — напряжение на внешнем участке цепи;  <math>\mathcal{E}</math> — ЭДС источника тока</p>

**891.** Резистор сопротивлением  $R = 6,8$  Ом подключен к источнику тока, внутреннее сопротивление которого  $r = 1,2$  Ом. Определите мощность тока, выделяющуюся в резисторе и во всей цепи, если сила тока в ней  $I = 0,50$  А.

**892.** К источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 6,0$  В подключен резистор сопротивлением  $R = 3,2$  Ом. Определите мощность тока, выделяющуюся в источнике и во всей цепи, если сила тока в ней  $I = 1,5$  А.

893. К источнику тока с внутренним сопротивлением  $r = 1,2$  Ом подключена проволока сопротивлением  $R = 4,3$  Ом. Определите полную мощность, выделяющуюся в цепи, если электрическое напряжение на проволоке  $U = 8,6$  В.
894. К источнику тока с внутренним сопротивлением  $r = 1,0$  Ом подключена проволочная спираль. Определите мощность, развиваемую сторонними силами источника тока, если сила тока в цепи  $I = 2,0$  А, а напряжение на концах спирали  $U = 10$  В.
895. К источнику тока с внутренним сопротивлением  $r = 1,0$  Ом подключен резистор сопротивлением  $R = 3,5$  Ом. Определите ЭДС источника тока, если за время  $\Delta t = 15$  с в резисторе выделяется  $Q = 210$  Дж тепловой энергии.
896. К источнику тока, внутреннее сопротивление которого  $r = 1,0$  Ом и ЭДС  $\mathcal{E} = 8,0$  В, подключен резистор сопротивлением  $R = 7,0$  Ом. Определите количество теплоты, выделяющееся в резисторе за время  $\Delta t = 40$  с.
897. Источник тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 6,0$  В, замкнут на резистор сопротивлением  $R = 2,0$  Ом. При этом в резисторе выделяется мощность  $P = 8,0$  Вт. Определите внутреннее сопротивление источника и мощность тока во всей цепи.
898. К аккумулятору подключен резистор, сопротивление которого в  $n = 2$  раза больше внутреннего сопротивления аккумулятора. В резисторе протекает электрический ток  $I = 2,0$  А. Определите ЭДС аккумулятора, если мощность тока, выделяющаяся в резисторе,  $P = 12$  Вт.
899. Две электрические лампочки, соединенные параллельно, подключены к источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 8,0$  В и внутреннее сопротивление  $r = 1,6$  Ом. Сопротивления лампочек  $R_1 = 36$  Ом и  $R_2 = 24$  Ом. Определите мощность тока на внешнем и внутреннем участках цепи.
900. К источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 5$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом подключены последовательно соеди-

ненные резисторы, сопротивления которых  $R_1 = 1$  Ом и  $R_2 = 3$  Ом. Определите полезную и полную мощности тока в цепи.

**901.** Два резистора сопротивлениями  $R_1 = 1,8$  Ом и  $R_2 = 1,0$  Ом соединены последовательно и подключены к источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 6$  В и внутреннее сопротивление  $r = 0,2$  Ом. Определите мощность тока, выделяющуюся во втором резисторе.

**902.** Два резистора, вольт-амперные характеристики которых показаны на рисунке 194, соединены последовательно и подключены к источнику, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 8$  В и внутреннее сопротивление  $r = 2$  Ом. Определите полезную мощность, выделяющуюся в цепи.

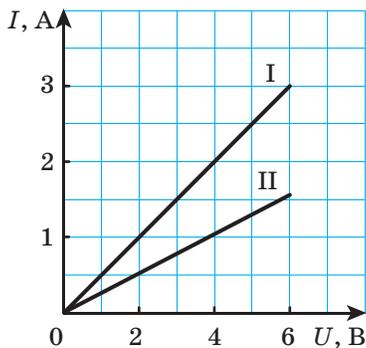


Рис. 194

**903.** Резистор сопротивлением  $R = 190$  Ом подключен к источнику тока с внутренним сопротивлением  $r = 10$  Ом. Во сколько раз уменьшится тепловая мощность тока в этом резисторе, если параллельно ему подсоединить второй такой же резистор?

**904.** Электрическая цепь состоит из источника тока, к которому подключены лампочка и резистор, соединенные последовательно. Поясните, как изменится мощность тока, выделяемая в источнике тока, если резистор и лампочку соединить параллельно и снова подключить к источнику тока.

**905.** ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 2,0$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 1,0$  Ом. Определите силу тока в цепи, если полезная мощность, выделяющаяся в ней,  $P = 0,75$  Вт.

**906.** Аккумуляторная батарея имеет ЭДС  $\mathcal{E} = 12$  В и внутреннее сопротивление  $r = 0,1$  Ом. Сколько одинаковых лампочек

мощностью  $P_0 = 25$  Вт каждая можно подключить, соединив их между собой параллельно, к этой батарее, чтобы напряжение на каждой из них было  $U = 10$  В?

- 907.** К аккумулятору с внутренним сопротивлением  $r = 0,5$  Ом поочередно подключают резисторы. При силе тока  $I_1 = 4$  А на внешнем участке цепи выделяется мощность  $P_1 = 8$  Вт. Определите мощность, которая выделяется на внешнем участке цепи при силе тока  $I_2 = 6$  А.
- 908.** Определите ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока, если при подключении к нему резистора сопротивлением  $R_1 = 14$  Ом сила тока в цепи  $I_1 = 1$  А, а при подключении к нему резистора сопротивлением  $R_2 = 4$  Ом полезная мощность в цепи  $P = 36$  Вт.
- 909.** Определите ЭДС источника тока, если при силе тока  $I_1 = 1,5$  А на внешнем участке цепи выделяется за время  $\tau_1 = 20$  с количество теплоты  $Q_1 = 315$  Дж, а при силе тока  $I_2 = 2,0$  А на внешнем участке цепи выделяется мощность  $P_2 = 20$  Вт.
- 910.** Определите ЭДС источника тока, если при силе тока  $I_1 = 1,5$  А на внешнем участке цепи выделяется тепловая мощность  $P_1 = 6$  Вт, а при силе тока  $I_2 = 2$  А выделяется мощность  $P_2 = 8$  Вт.
- 911.** Определите ток короткого замыкания аккумуляторной батареи, если при силе тока  $I_1 = 5,0$  А полезная мощность в цепи  $P_1 = 30$  Вт, а при силе тока  $I_2 = 10$  А полезная мощность в цепи  $P_2 = 40$  Вт.
- 912.** При замыкании источника тока на резистор сопротивлением  $R_1 = 2$  Ом в резисторе за время  $\tau = 25$  с выделяется тепловая энергия  $Q_1 = 800$  Дж, а при замыкании на резистор сопротивлением  $R_2 = 3$  Ом в цепи выделяется полная мощность  $P_2 = 36$  Вт. Определите ток короткого замыкания для данного источника.
- 913.** Электрическая цепь, схема которой представлена на рисунке 195, состоит из источника тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 14$  В

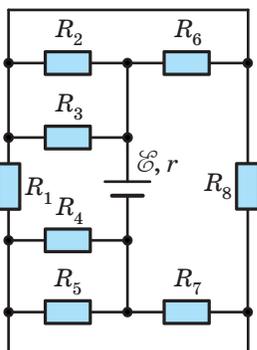


Рис. 195

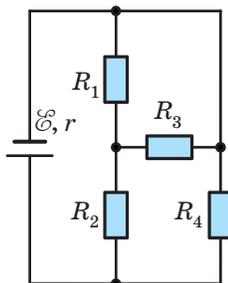


Рис. 196

и внутренним сопротивлением  $r = 2,0$  Ом и восьми резисторов сопротивлениями  $R_1 = 24r$ ,  $R_2 = 2r$ ,  $R_3 = 3r$ ,  $R_4 = 4r$ ,  $R_5 = 5r$ ,  $R_6 = 6r$ ,  $R_7 = 20r$ ,  $R_8 = 8r$ . Определите мощность, которая выделяется внутри источника тока.

- 914.** В электрическую цепь, схема которой представлена на рисунке 196, включены резисторы сопротивлениями  $R_1 = 4$  Ом,  $R_2 = 3$  Ом,  $R_3 = 12$  Ом,  $R_4 = 6$  Ом. Определите количество теплоты, выделяемое в третьем резисторе, если ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 8$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 1,0$  Ом, а время протекания тока  $\tau = 12$  с.
- 915.** Электрочайник, содержащий  $m = 1,0$  кг холодной воды, подключен к источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 120$  В и внутренним сопротивлением  $r = 4$  Ом. Сопротивление спирали электрочайника  $R = 44$  Ом. КПД чайника  $\eta = 80\%$ . За какой промежуток времени вода в чайнике нагреется на  $\Delta T = 44$  К?
- 916.** Электронагреватель подключен к источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 215$  В и внутреннее сопротивление  $r = 5,0$  Ом. Сила тока, протекающего в нагревателе,  $I = 1,0$  А. Определите начальную температуру воды массой  $m = 0,80$  кг, находящуюся в нагревателе, если за время  $\tau = 16$  мин температура воды в нагревателе стала  $t_2 = 62$  °С. КПД электронагревателя  $\eta = 75\%$ .

917. Источник тока замкнули сначала на резистор сопротивлением  $R_1 = 4$  Ом, а затем — на резистор сопротивлением  $R_2 = 9$  Ом. В обоих случаях мощность, выделявшаяся в резисторах, оказалась одинаковой. Определите внутреннее сопротивление источника.
918. Две проволочные спирали с сопротивлениями  $R_1 = 1$  Ом и  $R_2 = 4$  Ом поочередно подключали к источнику тока. При этом на них выделялась одинаковая мощность  $P = 4$  Вт. Определите ток короткого замыкания для данного источника.
919. Два резистора сопротивлениями  $R_1 = 1,6$  Ом и  $R_2 = 3,6$  Ом поочередно подключают к одному и тому же источнику тока. При этом на них выделяется одинаковая мощность. Определите ток короткого замыкания для источника тока, если его ЭДС  $\mathcal{E} = 12$  В.

920. В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 197, сопротивления резисторов  $R_1 = 12$  Ом и  $R_2 = 4$  Ом. Определите внутреннее сопротивление источника тока, если мощность, выделяемая на внешнем участке цепи, одинаковая как при разомкнутом, так и при замкнутом ключе  $K$ .

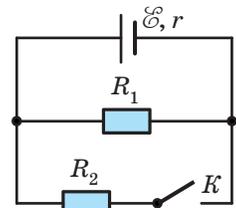


Рис. 197

921. В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 198, сопротивления резисторов  $R_1 = 40$  Ом,  $R_2 = 55$  Ом,  $R_3 = 65$  Ом и  $R_4 = 50$  Ом. Определите внутреннее сопротивление источника тока, если мощность, потребляемая участком цепи  $AB$ , одинакова как при разомкнутом, так и при замкнутом ключе  $K$ .

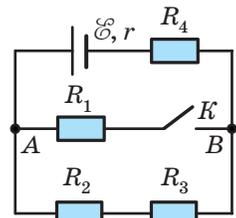


Рис. 198

922. Два резистора сопротивлениями  $R_1 = 2$  Ом и  $R_2 = 8$  Ом поочередно подключают к одному и тому же источнику

ку тока. При этом на них выделяется одинаковая мощность  $P_{\text{полезн}} = 32$  Вт. Определите максимальную полезную мощность, которую может дать этот источник тока.

923. Два резистора сопротивлениями  $R_1 = 4,0$  Ом и  $R_2 = 9,0$  Ом поочередно подключают к одному и тому же источнику тока. При этом на них выделяется одинаковая мощность  $P_{\text{полезн}} = 5,76$  Вт. Определите ЭДС источника тока.
924. К источнику тока с внутренним сопротивлением  $r = 4,0$  Ом подключен резистор сопротивлением  $R_1 = 6,0$  Ом, в котором выделяется мощность  $P_{\text{полезн}}$ . Определите сопротивление другого резистора, который необходимо подключить параллельно к первому резистору, чтобы во внешней цепи вновь выделялась мощность  $P_{\text{полезн}}$ .
925. При замыкании источника тока на внешнее сопротивление  $R_1 = 1,5$  Ом сила тока в цепи  $I_1 = 4,0$  А, а при замыкании на внешнее сопротивление  $R_2 = 2,5$  Ом сила тока в цепи  $I_2 = 3,0$  А. Какая наибольшая тепловая энергия может выделиться во внешней цепи с данным источником за время  $\tau = 35$  с?
926. Источник тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r$  замкнут на реостат. Определите зависимость полезной и полной мощностей тока в цепи от силы тока  $I$  в цепи. Постройте графики этих зависимостей. При какой силе тока полезная мощность наибольшая?
927. Источник тока, ЭДС которого  $\mathcal{E}$ , внутреннее сопротивление  $r$ , замкнут на реостат. Определите зависимость от сопротивления  $R$  реостата: а) силы тока в цепи; б) напряжения на внешнем участке цепи; в) полезной мощности; г) полной мощности, выделяющейся в цепи. Постройте графики этих зависимостей.
928. ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 8,0$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 2,0$  Ом. Определите наибольшую полезную мощность, выделяющуюся в цепи.

929. Для источника тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 12$  В, сила тока короткого замыкания  $I_{\text{к.з.}} = 10$  А. Определите максимальную мощность, которая будет выделяться на внешнем участке цепи, подключенной к данному источнику тока.
930. При замыкании батареи аккумуляторов на резистор сопротивлением  $R = 5$  Ом сила тока в цепи  $I = 1$  А. Определите максимальную мощность тока, выделяющуюся на внешнем участке цепи, если сила тока короткого замыкания батареи  $I_{\text{к.з.}} = 6$  А.
931. При замыкании источника тока на резистор сопротивлением  $R_1 = 2$  Ом в резисторе выделяется мощность  $P_1 = 32$  Вт, а при замыкании на резистор сопротивлением  $R_2 = 3$  Ом — мощность  $P_2 = 27$  Вт. Определите наибольшую полезную мощность, которая может выделиться на внешнем участке цепи.
932. К источнику постоянного тока, внутреннее сопротивление которого  $r = 1,7$  Ом, подключены три одинаковых резистора (рис. 199). Определите сопротивление каждого резистора, если на внешнем участке цепи выделяется максимальная мощность.
933. На внешнем участке цепи, состоящем из четырех резисторов (рис. 200) сопротивлениями  $R_1 = 3,0$  Ом,  $R_2 = 6,0$  Ом,  $R_3 = 9,0$  Ом и  $R_4 = 12$  Ом, подключенных к источнику постоянного тока, выделяется максимальная мощность. Определите мощность тока, выделяемую в третьем резисторе, если ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 2,0$  В.

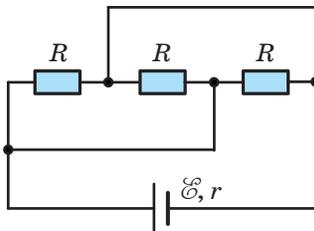


Рис. 199

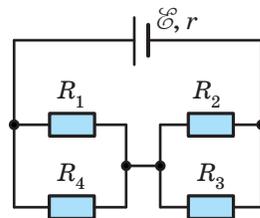


Рис. 200

934. В электрочайнике, подключенном к источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 226$  В и внутренним сопротивлением  $r = 4,52$  Ом, кипит вода. Определите массу водяного пара, выходящего из чайника в единицу времени, если мощность тока, выделяемая в чайнике, максимальная.
935. К аккумулятору с ЭДС  $\mathcal{E} = 1,6$  В и внутренним сопротивлением  $r = 0,10$  Ом подключен нихромовый проводник массой  $m = 30$  г. Определите изменение температуры проводника за время  $\tau = 138$  с, если потери энергии в окружающую среду составляют  $\alpha = 25$  %. Известно, что в проводнике выделяется наибольшая возможная с данным аккумулятором мощность тока.
936. Источник тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 2,0$  В, замкнут вольфрамовым проводником массой  $m = 32$  г. Определите внутреннее сопротивление источника тока, если за время  $\tau = 130$  с температура проводника увеличилась на  $\Delta t = 65$  °С. Известно, что на нагревание проводника расходуется  $\alpha = 60$  % выделяемой в проводнике тепловой энергии тока, причем в проводнике выделяется наибольшая с данным источником тока мощность.
937. К источнику тока, внутреннее сопротивление которого  $r = 1,5$  Ом, подключен резистор сопротивлением  $R = 4,5$  Ом. Определите коэффициент полезного действия источника тока.
938. Определите сопротивление резистора, подключенного к источнику тока, внутреннее сопротивление которого  $r = 2,0$  Ом, если коэффициент полезного действия источника  $\eta = 95$  %.
939. К источнику тока, внутреннее сопротивление которого  $r$ , подключен реостат, сопротивление которого можно изменять от  $R_{\min} = 0$  до  $R_{\max} = 7r$ . Постройте график зависимости коэффициента полезного действия источника тока от сопротивления реостата.

940. К источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 8,0$  В и внутреннее сопротивление  $r = 2,0$  Ом, подключен реостат, сопротивление которого можно изменять в широких пределах. Постройте график зависимости коэффициента полезного действия источника тока от силы тока в реостате.
941. Источник тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 1,5$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1,2$  Ом включен в электрическую цепь. Определите коэффициент полезного действия источника тока, если сила тока, протекающего в цепи,  $I = 0,50$  А.
942. Коэффициент полезного действия источника тока, к которому подключена лампочка,  $\eta = 80$  %. Определите напряжение на лампочке, если ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 55$  В.
943. Резисторы сопротивлениями  $R_1 = 2,0$  Ом,  $R_2 = 8,0$  Ом,  $R_3 = 2,4$  Ом подключены к источнику тока (рис. 201). Определите КПД источника тока, если его внутреннее сопротивление  $r = 1,0$  Ом.
944. Резисторы сопротивлениями  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 15$  Ом,  $R_3 = 21$  Ом подключены к источнику тока (рис. 202), ЭДС которого  $\mathcal{E} = 45$  В. Определите силу тока, протекающего в цепи, если коэффициент полезного действия источника тока  $\eta = 90$  %.
945. Коэффициент полезного действия источника тока  $\eta = 88$  %. Определите мощность тока, теряемую в источнике тока, если за промежуток времени  $\Delta t = 15$  с полезное количество теплоты, выделившееся в цепи,  $Q_{\text{полезн}} = 1,32$  кДж.

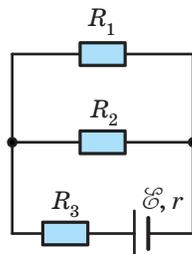


Рис. 201

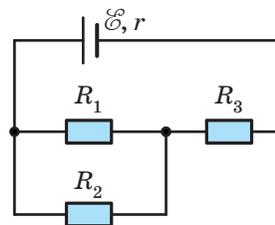


Рис. 202

946. К источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 16$  В и внутренним сопротивлением  $r = 3$  Ом подключена проволока. Определите количество теплоты, выделившееся в проволоке за промежутки времени  $\Delta t = 5,0$  мин, если КПД источника тока  $\eta = 75$  %.
947. К источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 25$  В подключен резистор сопротивлением  $R = 24$  Ом. Определите мощность тока на внешнем участке цепи, если коэффициент полезного действия источника тока  $\eta = 96$  %.
948. К источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 24$  В и внутренним сопротивлением  $r = 3,0$  Ом подключен осветитель. Определите полезную и полную мощности, если КПД источника тока  $\eta = 75$  %.
949. К источнику тока поочередно подключали резисторы сопротивлениями  $R_1 = 3,0$  Ом и  $R_2 = 10,5$  Ом. При этом коэффициент полезного действия источника отличался в  $n = 2,0$  раза. Определите внутреннее сопротивление источника тока.
950. К источнику тока поочередно подключали резисторы сопротивлениями  $R_1 = 3$  Ом и  $R_2 = 12$  Ом. При этом на резисторах выделялась одинаковая мощность. Определите, во сколько раз в этих случаях отличались коэффициенты полезного действия источника.
951. При подключении к источнику тока реостата сопротивлением  $R_1 = 2,0$  Ом в цепи протекает ток  $I_1 = 1,6$  А. При уменьшении сопротивления реостата в  $n = 2,0$  раза сила тока увеличивается до  $I_2 = 2,0$  А. Определите коэффициент полезного действия источника тока при этих сопротивлениях реостата.
952. Коэффициент полезного действия источника тока с одним подключенным нагревателем  $\eta_1 = 0,25$ , с другим —  $\eta_2 = 0,50$ . Определите КПД источника, если оба нагревателя соединить между собой параллельно и подключить к источнику тока.

- 953.** К источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 6$  В и внутреннее сопротивление  $r = 1$  Ом, подключен резистор. Параллельно резистору подключен конденсатор емкостью  $C = 5$  нФ. Определите мощность, выделяющуюся в резисторе, если заряд конденсатора  $q = 20$  нКл.
- 954.** Два резистора сопротивлениями  $R_1 = 12$  Ом и  $R_2 = 36$  Ом соединены параллельно и подключены к источнику тока, внутреннее сопротивление которого  $r = 1,5$  Ом. Параллельно резисторам подключен конденсатор емкостью  $C = 5,0$  мкФ. Энергия электрического поля в конденсаторе  $W = 0,810$  мДж. Определите ЭДС источника тока и общее количество теплоты, выделяющееся в резисторах за промежуток времени  $\Delta t = 25$  с.
- 955.** Батарея аккумуляторов замкнута на резистор, параллельно которому подключен конденсатор емкостью  $C = 10$  мкФ. Определите ЭДС батареи, если заряд конденсатора  $q = 0,40$  мКл, а в резисторе выделяется мощность  $P = 40$  Вт. Сила тока короткого замыкания для батареи  $I_{\text{к.з.}} = 5,0$  А.
- 956.** В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 203, ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 16$  В, а внутреннее сопротивление  $r = 2,0$  Ом, сопротивления резисторов  $R_1 = 15$  Ом,  $R_2 = 12$  Ом,  $R_3 = 10$  Ом, емкость конденсатора  $C = 5,0$  мкФ. Определите количество теплоты, выделившееся в цепи после размыкания ключа  $K$ .
- 957.** В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 204, ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 10$  В и внутреннее сопротивление  $r = 1,0$  Ом, сопротивления резисторов

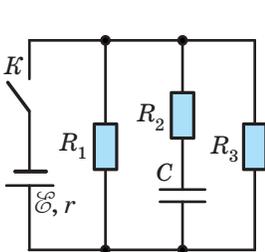


Рис. 203

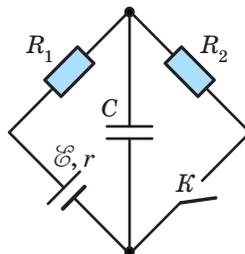


Рис. 204

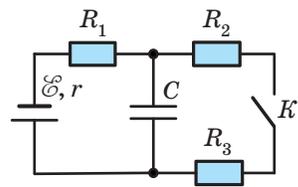


Рис. 205

$R_1 = 5,0$  Ом,  $R_2 = 4,0$  Ом, электроемкость конденсатора  $C = 10$  нФ. Определите количество теплоты, выделившееся в цепи после размыкания ключа  $K$ .

**958.** В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 205, ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 20$  В, сопротивления резисторов  $R_1 = 30$  Ом,  $R_2 = 50$  Ом,  $R_3 = 20$  Ом, электроемкость конденсатора  $C = 10$  нФ. Определите количество теплоты, выделившееся в первом резисторе после размыкания ключа  $K$ . Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

**959.** В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 206, емкость конденсатора  $C_1 = 100$  мкФ,  $C_2 = 300$  мкФ, ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 60,0$  В. Сопротивление резистора  $R_2$  в два раза больше сопротивления резистора  $R_1$ . В начальный момент времени ключ  $K$  замкнут, и через резисторы протекает постоянный электрический ток. Определите количество теплоты, выделившееся во втором резисторе после размыкания ключа  $K$ . Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

**960.** На рисунке 207 представлена схема электрической цепи, в которую включены два источника тока с ЭДС  $\mathcal{E}_1 = 10$  В и  $\mathcal{E}_2 = 15$  В и одинаковыми внутренними сопротивлениями  $r = 2,0$  Ом. Электроемкость конденсатора  $C = 192$  нФ. Сопротивление резистора  $R = 10$  Ом. Определите, какое количество теплоты выделится в резисторе, если ключ  $K$  из положения 1 перевести в положение 2.

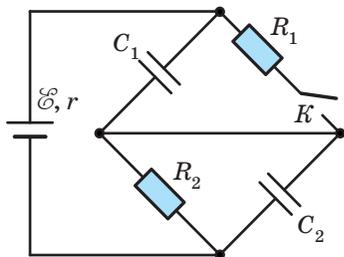


Рис. 206

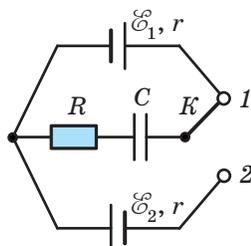


Рис. 207

# V. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

## 20. Магнитное поле

Физическая величина или правило	Формула или правило	Физические величины, входящие в формулу
<p>Модуль индукции магнитного поля длинного прямолинейного проводника, по которому проходит постоянный электрический ток</p>	$*B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r}$	<p><math>B</math> — модуль индукции магнитного поля на расстоянии <math>r</math> от проводника;  <math>\mu</math> — магнитная проницаемость среды, в которой находится проводник (для вакуума или воздуха <math>\mu = 1</math>);  <math>\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}</math> — магнитная постоянная;  <math>I</math> — сила тока, протекающего в проводнике;  <math>r</math> — расстояние от оси проводника до точки пространства, в которой определяют модуль индукции магнитного поля</p>
<p>Модуль индукции магнитного</p>	$*B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R}$	<p><math>B</math> — модуль индукции магнитного поля в центре кругового витка;</p>

Физическая величина или правило	Формула или правило	Физические величины, входящие в формулу
поля в центре кругового витка, по которому проходит постоянный электрический ток		<p><math>\mu</math> — магнитная проницаемость среды, в которой находится виток (для вакуума или воздуха <math>\mu = 1</math>);</p> $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}$ — магнитная постоянная; $I$ — сила тока, протекающего в витке; $R$ — радиус витка
Модуль индукции магнитного поля внутри длинного соленоида, по которому проходит постоянный электрический ток	$*B = \frac{\mu\mu_0 IN}{l}$	<p><math>B</math> — модуль индукции магнитного поля внутри длинного соленоида;  <math>\mu</math> — магнитная проницаемость среды внутри соленоида (для вакуума или воздуха <math>\mu = 1</math>);</p> $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}$ — магнитная постоянная; $I$ — сила тока, протекающего по виткам соленоида; $N$ — число витков обмотки соленоида; $l$ — длина соленоида
Правило правой руки	Направление линий индукции магнитного поля прямолинейного проводника с током: если мысленно обхватить проводник правой	

Физическая величина или правило	Формула или правило	Физические величины, входящие в формулу
	<p>рукой так, чтобы большой палец указывал на направление тока в проводнике, то остальные полусогнутые пальцы покажут направление линий магнитной индукции.</p> <p>Направление индукции магнитного поля в центре кругового витка с током:</p> <p>если мысленно обхватить виток правой рукой так, чтобы четыре полусогнутых пальца указывали направление тока в витке, то отогнутый на <math>90^\circ</math> большой палец покажет направление индукции магнитного поля в центре витка.</p> <p>Направление индукции магнитного поля внутри соленоида с током:</p> <p>если мысленно обхватить витки соленоида правой рукой так, чтобы четыре полусогнутых пальца указывали направление тока в витках, то отогнутый на <math>90^\circ</math> большой палец покажет направление индукции магнитного поля внутри соленоида</p>	

**961.** Определите направление линий индукции магнитного поля, созданного прямолинейным проводником с током (рис. 208, а, б).

**962.** Определите направление вектора магнитной индукции в точках А и С магнитного поля, созданного прямолинейным проводником с током (рис. 209, а, б).

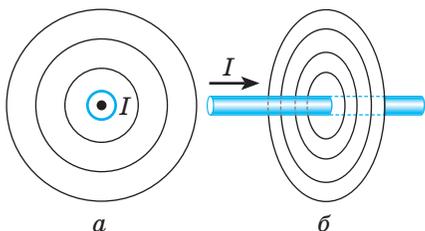


Рис. 208

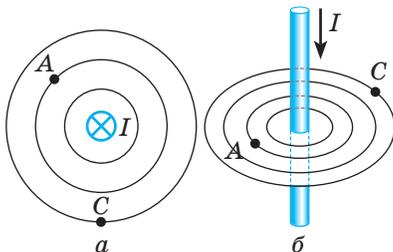


Рис. 209

**963.** На продолжении оси симметрии кольца с током (рис. 210) расположена магнитная стрелка, ориентированная магнитным полем кольца. Определите направление тока в кольце.

**964.** На рисунке 211 показан вектор индукции магнитного поля в центре кольца, по которому протекает электрический ток. Сравните потенциалы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ .

**965.** На рисунке 212 показаны соленоид и магнитная стрелка, сориентированная магнитным полем соленоида. С помощью линий магнитной индукции изобразите магнитное поле соленоида.

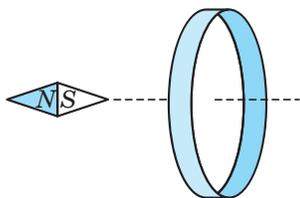


Рис. 210

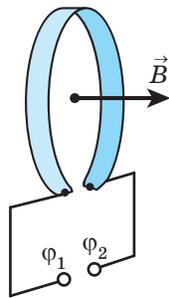


Рис. 211

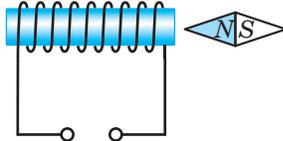


Рис. 212

966. На рисунке 213, *а, б* показан соленоид, подключенный к источнику постоянного тока. Определите полюсы магнитной стрелки, находящейся в магнитном поле соленоида.

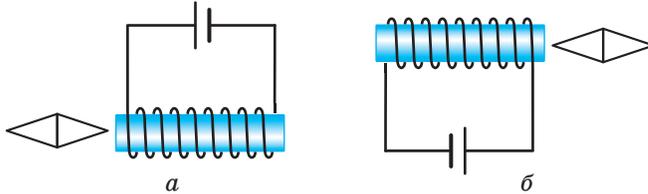


Рис. 213

967. На рисунке 214 показан соленоид, вблизи которого на легкой тележке лежит полосовой магнит. В каком направлении начнет двигаться тележка с магнитом, если замкнуть ключ *К*?

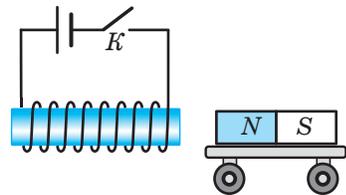


Рис. 214

968. На рисунке 215 показан соленоид. Укажите, как расположатся магнитные стрелки, помещенные в точках *А* и *С*, если замкнуть ключ *К*.

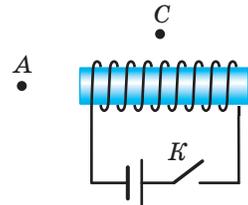


Рис. 215

969. На рисунке 216, *а—г* показаны два длинных параллельных проводника, в которых протекают одинаковые токи  $I_1 = I_2$ . Определите направление индукции результирующего магнитного поля в точке *А*.

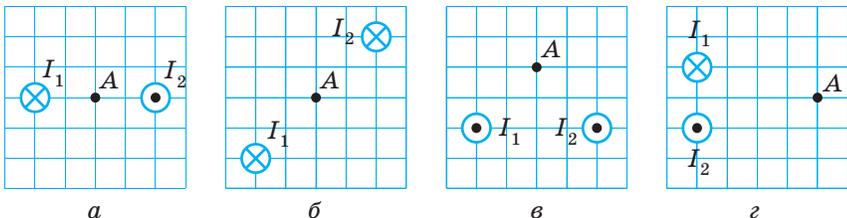


Рис. 216

**970.** На рисунке 217, *a—г* показаны четыре длинных параллельных проводника, в которых протекают одинаковые токи  $I_1 = I_2 = I_3 = I_4$ . Определите направление индукции результирующего магнитного поля в точке *A*.

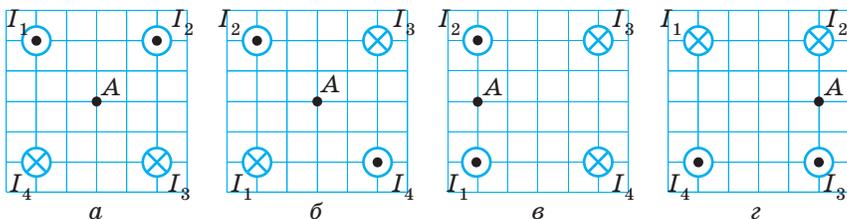


Рис. 217

**971.** Два длинных тонких параллельных стержня, по которым протекают одинаковые токи  $I_1 = I_2$ , расположены в вакууме так, что центры их поперечных сечений находятся в вершинах равностороннего треугольника (рис. 218). Определите модуль индукции результирующего магнитного поля в свободной вершине треугольника (точка *O*), если в этой точке модуль индукции магнитного поля, созданного каждым проводником с током,  $B_1 = B_2 = 2\sqrt{3}$  мТл.

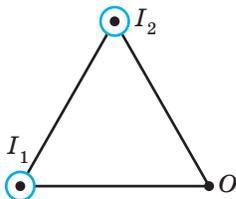


Рис. 218

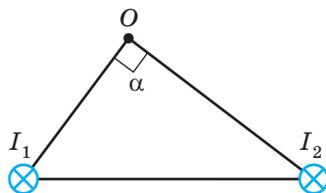


Рис. 219

**972.** Два длинных тонких параллельных проводника, по которым протекают токи  $I_1$  и  $I_2$ , расположены в вакууме так, что центры их поперечных сечений находятся в вершинах прямоугольного треугольника (рис. 219). В вершине *O* прямого угла  $\alpha$  модуль индукции результирующего магнитного поля  $B_0 = 85$  мкТл. Определите

модуль индукции магнитного поля, созданного током  $I_1$  в точке  $O$ , если в этой точке модуль индукции магнитного поля, созданного током  $I_2$ , составляет  $B_2 = 68$  мкТл.

- 973.** Три длинных прямолинейных проводника, сила тока в которых одинакова, расположены в воздухе параллельно друг другу так, что центры их поперечных сечений находятся в вершинах равнобедренного прямоугольного треугольника (рис. 220). Модуль индукции магнитного поля каждого проводника в середине гипотенузы (точка  $A$ )  $B = 2\sqrt{5}$  мТл. Определите модуль индукции результирующего магнитного поля в этой точке.
- 974.** Четыре длинных прямолинейных проводника, сила тока в которых одинакова, расположены в воздухе параллельно друг другу так, что центры их поперечных сечений находятся в вершинах квадрата (рис. 221). Определите модуль индукции результирующего магнитного поля в центре квадрата, если модуль индукции магнитного поля каждого проводника в центре квадрата  $B = 25$  мТл.
- 975.** \*Определите модуль индукции магнитного поля на расстоянии  $r = 10$  см от прямого длинного провода, по которому течет ток  $I = 6,0$  А. Провод находится в воздухе.
- 976.** \*Определите модуль индукции магнитного поля на расстоянии  $r = 16$  см от длинного прямого проводника при прохождении по нему  $N = 2,5 \cdot 10^{20}$  электронов в течение промежутка времени  $\Delta t = 2,0$  с. Проводник находится в воздухе.

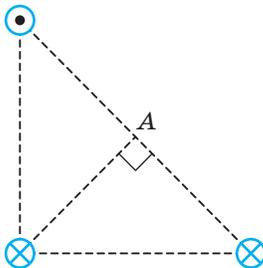


Рис. 220

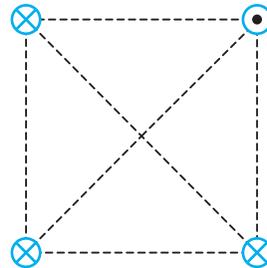


Рис. 221

**977.** \*В однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 0,2$  мТл, помещен в вакууме прямолинейный длинный проводник, по которому протекает ток  $I = 50$  А. Проводник расположен перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Определите расстояние от проводника до точек, в которых индукция результирующего магнитного поля равна нулю.

**978.** \*Горизонтальный стержень, по которому протекает электрический ток, расположен в воздухе в однородном вертикальном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 7,0$  мкТл (рис. 222). Определите силу тока в стержне, если в точке  $A$  модуль индукции результирующего магнитного поля  $B_0 = 3,0$  мкТл. Расстояние от точки  $A$  до центра стержня  $r = 25$  см. Точка  $A$  и стержень лежат в одной горизонтальной плоскости.

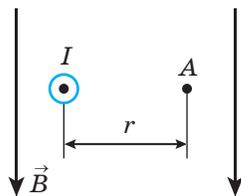


Рис. 222

**979.** \*По двум длинным проводникам, расположенным параллельно друг другу на расстоянии  $r = 40$  см, протекают токи  $I_1 = 10$  А и  $I_2 = 30$  А. Определите расстояние от второго проводника до точек, в которых индукция результирующего магнитного поля равна нулю, если направления токов в проводниках: а) совпадают; б) противоположны.

**980.** \*Два длинных прямолинейных проводника расположены в вакууме на расстоянии  $r = 50$  см друг от друга. В первом проводнике протекает ток  $I_1 = 9,0$  А, во втором —  $I_2 = 16,0$  А. Направления токов в проводниках одинаковы. Определите модуль индукции магнитного поля в точке: а) находящейся на середине отрезка, соединяющего проводники; б) находящейся на расстоянии  $r_1 = 18$  см от первого проводника и на расстоянии  $r_2 = 32$  см от второго.

**981.** \*Ось  $Oz$  декартовой прямоугольной системы координат совпадает с осью проводящего стержня и направлена

так же, как и электрический ток, протекающий в стержне. Ось  $Ox$  сонаправлена с линиями индукции внешнего однородного магнитного поля, модуль индукции которого  $B = 0,4$  мкТл. Сила тока в стержне  $I = 0,3$  А. Определите модуль индукции результирующего магнитного поля в точке с координатами  $x = 20$  см,  $y = 0$  см,  $z = 0$  см, если система находится в вакууме.

**982.** \* Два длинных прямолинейных проводника расположены в вакууме на расстоянии  $r = 50$  см друг от друга. В первом проводнике течет ток  $I_1 = 6,4$  А, во втором —  $I_2 = 3,6$  А. Определите модуль индукции магнитного поля в точке, расположенной на расстоянии  $r_1 = 40$  см от первого проводника и  $r_2 = 30$  см от второго.

**983.** Два тонких проводящих контура, силы токов в которых  $I_1$  и  $I_2$ , расположены в одной плоскости (рис. 223). Определите модуль индукции результирующего магнитного поля в точке  $O$ , если в этой точке модули индукции магнитных полей, созданных токами  $I_1$  и  $I_2$ , соответственно равны  $B_1 = 18$  мТл и  $B_2 = 29$  мТл.

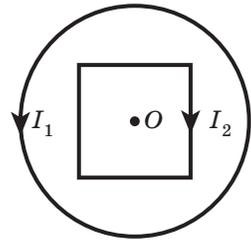


Рис. 223

**984.** \* Плоский круговой виток радиусом  $R$ , по которому протекает ток  $I_1$ , находится вблизи длинного прямого проводника, по которому протекает ток  $I_2$ . Проводник и виток расположены в вакууме и лежат в одной плоскости. Расстояние от центра витка до проводника равно  $2R$ . Определите модуль индукции магнитного поля в центре витка. Рассмотрите все возможные варианты.

**985.** \* Плоский круговой виток радиусом  $R = 31,4$  см расположен в вакууме в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B_1 = 20$  мкТл, так, что его плоскость перпендикулярна линиям индукции однородного поля. Сила тока в витке  $I_2 = 5,0$  А. Определите возможные зна-

чения модуля индукции результирующего поля в центре витка.

986. \*По кольцу из медной проволоки, площадь поперечного сечения которой  $S = 3,14 \text{ мм}^2$ , протекает ток  $I = 10 \text{ А}$ . Определите напряжение, приложенное к концам проволоки, образующей кольцо, если модуль индукции магнитного поля в центре кольца  $B = 3,14 \text{ мкТл}$ . Кольцо расположено в вакууме.
987. \*Заряд тонкого наэлектризованного пластмассового кольца, находящегося в вакууме,  $q = 150 \text{ мкКл}$ . Кольцо вращается вокруг оси, проходящей через его центр перпендикулярно плоскости кольца, с периодом  $T = 62,8 \text{ мс}$ . Определите модуль индукции магнитного поля в центре кольца, если его диаметр  $d = 12 \text{ см}$ .
988. \*Соленоид изготовлен из нихромовой проволоки длиной  $l = 94,2 \text{ см}$  и диаметром  $d = 1,1 \text{ мм}$ . Витки соленоида намотаны на сердечник в один слой вплотную друг к другу. Определите модуль индукции магнитного поля внутри соленоида, если его подключили к источнику постоянного напряжения  $U = 6,0 \text{ В}$ . Магнитная проницаемость среды внутри соленоида  $\mu = 1$ .
989. \*Соленоид длиной  $L = 40 \text{ см}$  содержит  $N = 200$  витков проволоки сопротивлением  $R = 15,7 \text{ Ом}$ . Определите модуль индукции магнитного поля внутри соленоида, если напряжение на концах соленоида  $U = 6,5 \text{ В}$ . Магнитная проницаемость среды внутри соленоида  $\mu = 2000$ .
990. \*Два тонких проводящих витка, силы токов в которых  $I_1$  и  $I_2$ , расположены под углом  $\alpha = 60^\circ$  друг к другу (рис. 224). Определите модуль индукции результирующего магнитного поля в точке  $O$ , если в этой точке модули индукций магнитных полей, создаваемых каждым из токов,  $B_1 = 28 \text{ мкТл}$  и  $B_2 = 32 \text{ мкТл}$ .

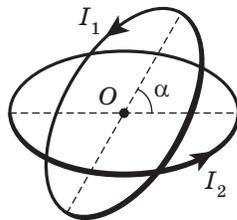


Рис. 224

## 21. Сила Ампера

Физическая величина или правило	Формула или правило	Физические величины, входящие в формулу
Сила Ампера	$F_A = B I \Delta l \sin \alpha$	<p><math>F_A</math> — модуль силы Ампера (модуль силы, действующей со стороны магнитного поля на прямолинейный проводник с током);</p> <p><math>B</math> — модуль индукции магнитного поля;</p> <p><math>I</math> — сила тока, протекающего в проводнике;</p> <p><math>\Delta l</math> — длина прямолинейного участка проводника, находящегося в однородном магнитном поле;</p> <p><math>\alpha</math> — угол между направлением индукции магнитного поля и направлением тока в проводнике</p>
Правило левой руки	<p>Если левую руку расположить так, чтобы составляющая индукции магнитного поля, перпендикулярная проводнику, входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены по току, то отогнутый на <math>90^\circ</math> в плоскости ладони большой палец укажет направление силы Ампера, действующей на прямолинейный участок проводника с током</p>	

**991.** Определите направление силы Ампера (рис. 225,  $a—г$ ), действующей на прямолинейный проводник с током, помещенный в однородное магнитное поле.

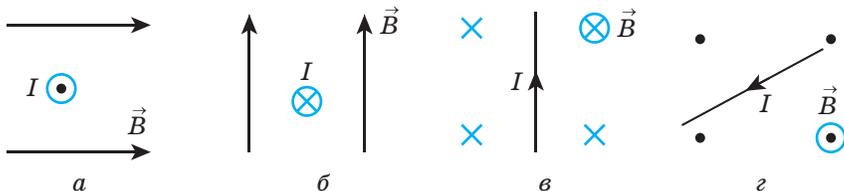


Рис. 225

**992.** На рисунке 226,  $a—г$  показана сила Ампера, действующая на прямолинейный проводник с током, помещенный в однородное магнитное поле. Определите направление индукции магнитного поля, если линии индукции перпендикулярны проводнику.

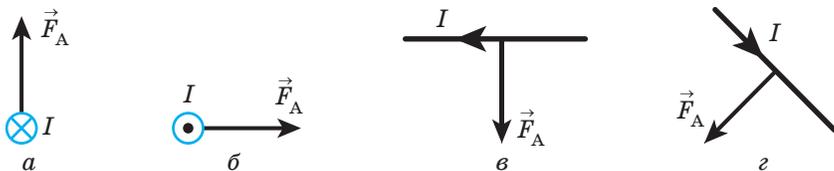


Рис. 226

**993.** На рисунке 227,  $a—г$  показана сила Ампера, действующая на прямолинейный проводник с током, помещенный в однородное магнитное поле. Определите направление тока в проводнике.

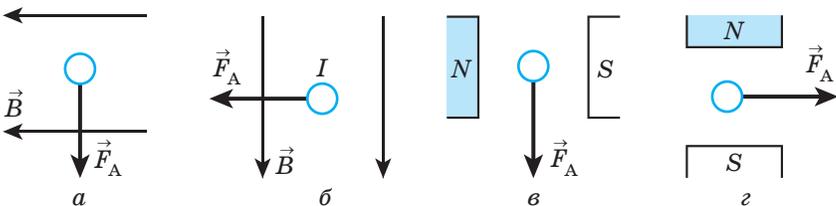


Рис. 227

994. Определите направление силы Ампера (рис. 228, *a*, *б*), действующей на прямолинейный проводник с током  $I_1$ , расположенный параллельно другому прямолинейному проводнику с током  $I_2$ .
995. Прямолинейный проводник длиной  $l = 35$  см, по которому протекает ток  $I = 5,0$  А, находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 0,32$  Тл. Определите модуль силы Ампера, действующей на проводник, если линии индукции магнитного поля перпендикулярны проводнику.

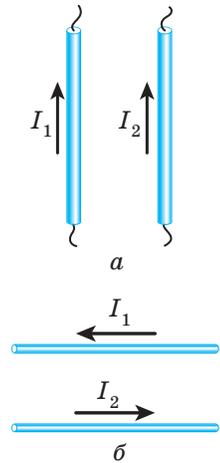


Рис. 228

996. На прямолинейный проводник длиной  $l = 60$  см, расположенный перпендикулярно однородному магнитному полю, модуль индукции которого  $B = 0,15$  Тл, действует сила Ампера, модуль которой  $F_A = 1,8$  Н. Определите силу тока в проводнике.
997. Определите модуль индукции однородного магнитного поля, в котором на проводник длиной  $l = 5$  см действует сила Ампера, модуль которой  $F_A = 50$  мН. Сила тока в проводнике  $I = 10$  А. Проводник расположен перпендикулярно вектору индукции магнитного поля.
998. Прямолинейный проводник, по которому протекает электрический ток, помещен в однородное магнитное поле перпендикулярно его линиям индукции. Во сколько раз уменьшится модуль силы Ампера, действующей на проводник, если его повернуть так, что линии будут составлять с направлением тока в проводнике угол  $\alpha = 30^\circ$ ?
999. Стержень с током  $I = 7,0$  А находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 40$  мТл. На стержень действует сила Ампера, модуль которой  $F_A = 91$  мН. Определите длину стержня, если линии

индукции поля составляют угол  $\alpha = 30^\circ$  с направлением тока в стержне.

- 1000.** Прямой проводник, по которому течет ток  $I = 8,5$  А, расположен между полюсами электромагнита перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля, созданного электромагнитом. Определите модуль силы, с которой магнитное поле действует на единицу длины проводника. Модуль индукции магнитного поля  $B = 40$  мТл.
- 1001.** Стержень длиной  $l = 1,4$  м, согнутый под прямым углом с отношением длин  $3 : 4$ , находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 2,0$  мТл. Линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости, в которой находится согнутый стержень. Определите модуль силы Ампера, действующей на стержень, если по нему протекает ток  $I = 10$  А.
- 1002.** Стержень длиной  $l = 1,1$  м согнули под углом  $\alpha = 60^\circ$  так, что длина меньшей стороны угла  $l_1 = 30$  см. Согнутый стержень поместили в однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 2,0$  мТл. Определите модуль силы Ампера, действующей на стержень, если по нему протекает ток  $I = 10$  А, а линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости, в которой находится согнутый стержень.
- 1003.** Прямолинейный проводник длиной  $l = 16$  см расположен в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 200$  мТл, под углом  $\alpha = 30^\circ$  к линиям индукции. Определите заряд, прошедший за промежуток времени  $\Delta t = 60$  с через поперечное сечение проводника, если модуль силы Ампера, действующей на проводник,  $F_A = 8,0$  мН.
- 1004.** Прямолинейный проводник сопротивлением  $R = 1,6$  Ом расположен в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 8,0$  мТл. Напряжение на концах проводника  $U = 40$  В. Угол между направлением

тока в проводнике и вектором индукции магнитного поля  $\alpha = 45^\circ$ . Определите длину проводника, если модуль силы Ампера, действующей на проводник,  $F_A = 48$  мН.

- 1005.** В однородном магнитном поле находится прямолинейный проводник длиной  $l = 25$  см и массой  $m = 30$  г, расположенный перпендикулярно линиям индукции магнитного поля, модуль индукции которого  $B = 0,15$  Тл. Определите силу тока, протекающего в проводнике, если модуль силы Ампера в  $n = 2,5$  раза больше модуля силы тяжести, действующей на проводник.
- 1006.** Прямолинейный проводник, масса единицы длины которого  $\mu = 10 \frac{\text{г}}{\text{м}}$ , расположен горизонтально под углом  $\alpha = 30^\circ$  к линиям индукции горизонтального однородного магнитного поля. Модуль индукции магнитного поля  $B = 20$  мТл. Определите силу тока, протекающего в проводнике, если результирующая силы тяжести и силы Ампера, действующих на проводник, равна нулю.
- 1007.** Проводник длиной  $l = 10$  см расположен горизонтально и перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля, модуль индукции которого  $B = 1,0$  мТл. При напряжении на проводнике  $U = 10$  В сила Ампера, действующая на проводник, уравновешивается силой тяжести. Определите плотность вещества проводника, если его удельное сопротивление  $\rho = 1,0 \cdot 10^{-6}$  Ом  $\cdot$  м.
- 1008.** Прямолинейный проводник сопротивлением  $R = 0,2$  Ом и площадью поперечного сечения  $S = 0,5$  мм<sup>2</sup> расположен горизонтально и перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Проводник подключен к источнику постоянного тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 2$  В и внутреннее сопротивление  $r = 0,1$  Ом. Плотность вещества проводника  $\rho = 4 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ . Определите мо-

дуть индукции магнитного поля, если сила Ампера и сила тяжести, действующие на проводник, уравновешивают друг друга.

- 1009.** Стержень массой  $m = 0,30$  кг и длиной  $l = 30$  см, расположенный горизонтально в однородном магнитном поле, подвешен на двух вертикальных легких нитях и с помощью гибких проводов подключен к источнику тока (рис. 229). Линии индукции магнитного поля направлены вертикально. Модуль индукции этого поля  $B = 0,50$  Тл. Определите модуль ускорения проводника сразу после замыкания ключа  $K$ , если в цепи возникает ток  $I = 4,0$  А.

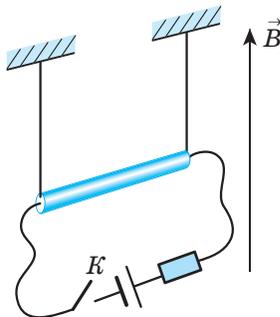


Рис. 229

- 1010.** Прямолинейный алюминиевый проводник, площадь поперечного сечения которого  $S = 2$  мм<sup>2</sup>, расположен на гладкой горизонтальной поверхности в однородном магнитном поле, линии индукции которого направлены вертикально. Модуль индукции магнитного поля  $B = 8,1$  мТл. Определите модуль ускорения проводника сразу после появления в нем тока  $I = 4,0$  А.
- 1011.** Прямолинейный проводник длиной  $l = 36$  см, по которому проходит ток  $I = 2,5$  А, находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны проводнику. Модуль индукции магнитного поля  $B = 60$  мТл. Определите работу, совершенную силой Ампера при перемещении проводника на  $\Delta r = 20$  см, если угол между силой Ампера и перемещением  $\alpha = 60^\circ$ .
- 1012.** Прямолинейный проводник длиной  $l = 60$  см, по которому проходит ток  $I = 4,5$  А, находится в однородном магнитном поле, вектор индукции которого составляет с направлением тока угол  $\alpha = 30^\circ$ . Модуль индукции

магнитного поля  $B = 80$  мТл. Определите мощность, которая развивается силой Ампера при равномерном перемещении проводника с постоянной скоростью, модуль которой  $v = 25 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ , если угол между силой Ампера и вектором скорости  $\beta = 0^\circ$ .

- 1013.** В однородном магнитном поле, линии индукции которого направлены горизонтально, подвешен на двух легких вертикальных нитях проводник длиной  $l = 20$  см и массой  $m = 20$  г, расположенный горизонтально и перпендикулярно линиям

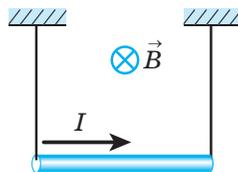


Рис. 230

индукции магнитного поля, модуль индукции которого  $B = 0,25$  Тл (рис. 230). По проводнику протекает ток  $I = 2$  А. Во сколько раз изменится модуль силы натяжения каждой нити, если направление индукции магнитного поля изменить на противоположное?

- 1014.** В однородном магнитном поле, линии индукции которого направлены горизонтально, подвешен на двух легких вертикальных нитях проводник длиной  $l = 10$  см, расположенный горизонтально и перпендикулярно линиям индукции магнитного поля. Определите изменение модуля силы натяжения каждой нити, если по проводнику пропустить ток  $I = 10$  А. Модуль индукции магнитного поля  $B = 10$  мТл.

- 1015.** В однородном горизонтальном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 80$  мТл, перпендикулярно линиям индукции на горизонтальной поверхности расположен металлический стержень длиной  $l = 50,0$  см и массой  $m = 12,0$  г. По стержню протекает ток  $I = 1,0$  А (рис. 231). Во сколько раз уменьшится модуль силы

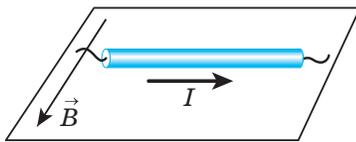


Рис. 231

давления стержня на поверхность, если, не изменяя величины тока, изменить его направление на противоположное?

- 1016.** Спица, подвешенная на вертикальных легких гибких проволоках, находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого направлены горизонтально и перпендикулярно спице. Модуль индукции магнитного поля  $B = 0,20$  Тл. Удельное сопротивление и плотность вещества спицы  $\rho = 0,60$  мкОм  $\cdot$  м и  $\rho_0 = 8,0 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  соответственно. Площадь поперечного сечения спицы  $S = 5,0$  мм<sup>2</sup>, ее длина  $l = 50$  см. По спице проходит электрический ток. Определите мощность тока, выделяющуюся в спице, если сила натяжения проволок равна нулю.
- 1017.** Прямолинейный проводник массой  $m = 30$  г и длиной  $l = 50$  см подвешен на двух вертикальных легких нитях в горизонтальном положении в вертикальном однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 0,1$  Тл. Определите силу тока в проводнике, если нити отклонились от вертикали на угол  $\alpha = 45^\circ$ .
- 1018.** Прямолинейный горизонтально расположенный проводник, по которому проходит электрический ток, подвешен на двух вертикальных легких нитях в вертикальном однородном магнитном поле. Нити отклонены от вертикали на угол  $\alpha = 30^\circ$ . Во сколько раз необходимо увеличить силу тока, протекающего в проводнике, чтобы нити отклонились от вертикали на угол  $\beta = 60^\circ$ ?
- 1019.** В однородном магнитном поле на двух невесомых нерастяжимых нитях подвешен в горизонтальном положении прямой однородный проводник длиной  $l = 30$  см. Линии индукции магнитного поля направлены вертикально. В проводнике протекает электрический ток  $I = 1,9$  А, а нити отклонены от вертикали на угол  $\alpha = 30^\circ$ . Определите модуль индукции магнитного поля, если модуль силы натяжения каждой нити  $F = 57$  мН.

- 1020.** Однородный горизонтальный алюминиевый стержень длиной  $l$  и диаметром  $d$  подвешен на двух легких гибких вертикальных проволоках в однородном магнитном поле, вектор индукции которого  $\vec{B}$  направлен вертикально (рис. 232). На какой угол от вертикали отклонятся проволоки, если, замкнув ключ  $K$ , в стержне будет протекать электрический ток, созданный источником тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r$ ? Плотность алюминия  $\rho_0$ , его удельное сопротивление  $\rho$ . Сопротивлением проволок пренебречь.
- 1021.** В однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 0,10$  Тл, на двух одинаковых невесомых пружинах жесткостью  $k = 15 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  подвешен в горизонтальном положении прямой однородный проводник длиной  $l = 60$  см. Линии индукции горизонтальны и перпендикулярны проводнику. При отсутствии тока в проводнике длина каждой пружины составляла  $l_1 = 34$  см. Определите длину каждой пружины при прохождении по проводнику тока  $I = 15$  А (рис. 233).
- 1022.** В однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 0,20$  Тл, на двух одинаковых невесомых пружинах жесткостью  $k = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  подвешен в горизонтальном положении стержень длиной  $l = 50$  см. Линии индукции горизонтальны и перпендикулярны стержню. При отсутствии тока в стержне потенциальная энергия каждой пружины  $E_{\text{п1}} = 25$  мДж. Определите потенци-

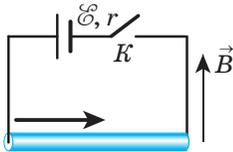


Рис. 232

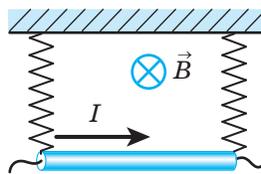


Рис. 233

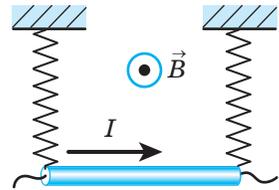


Рис. 234

альную энергию каждой пружины, если в стержне будет протекать электрический ток  $I = 16$  А (рис. 234).

**1023.** \* Два длинных тонких параллельных проводника с токами  $I_1 = I_2 = 5,0$  А расположены в вакууме на расстоянии  $r = 25$  см друг от друга. Определите модуль силы, действующей на каждый  $l = 1,0$  м проводников.

**1024.** \* В вакууме в вертикальной плоскости расположены горизонтально два прямых проводника, параллельные друг другу. Сила тока, протекающего в каждом проводнике,  $I = 30$  А. Верхний проводник можно считать бесконечно длинным. Длина нижнего проводника  $l = 50$  см, его масса  $m = 10$  г. Определите расстояние между проводниками, если сила их магнитного взаимодействия в  $n = 20$  раз меньше силы тяжести, действующей на нижний проводник.

**1025.** В однородном вертикальном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 0,20$  Тл, по двум горизонтальным параллельным металлическим направляющим стержням скользит проводник с током массой  $m = 0,60$  кг, ориентированный перпендикулярно стержням (рис. 235).

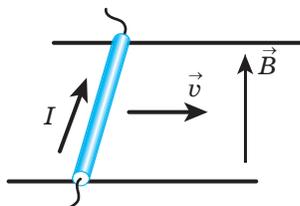


Рис. 235

Коэффициент трения между проводником и стержнями  $\mu = 0,015$ . Определите длину проводника, если при силе тока  $I = 3,0$  А он движется равномерно.

**1026.** На горизонтальной плоскости находится проводник массой  $m = 50$  г и длиной  $l = 20$  см, по которому течет ток  $I = 10$  А. Однородное магнитное поле направлено вертикально. Модуль индукции магнитного поля  $B = 50$  мТл. Определите модуль ускорения, с которым движется проводник, если коэффициент трения между проводником и плоскостью  $\mu = 0,12$ .

**1027.** Расстояние между горизонтальными параллельными рельсами  $l = 28$  см. На рельсах лежит стержень массой  $m = 60$  г и длиной  $l$ , расположенный горизонтально и перпендикулярно рельсам. Определите модуль минимальной индукции магнитного поля, направленной вертикально, при которой стержень начнет двигаться по рельсам, если по стержню пропустить электрический ток  $I = 15$  А. Коэффициент трения стержня по рельсам  $\mu = 0,14$ .

**1028.** Проводник массой  $m = 0,2$  кг и длиной  $l = 0,6$  м лежит на горизонтальных рельсах, расположенных в горизонтальном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 0,1$  Тл (рис. 236).

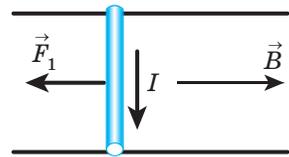


Рис. 236

Чтобы сдвинуть проводник влево, при пропускании по нему тока  $I = 20$  А в направлении, показанном на рисунке, требуется приложить горизонтальную минимальную силу, модуль которой  $F_1 = 0,5$  Н. Определите модуль минимальной горизонтальной силы, которую потребуется приложить к проводнику, чтобы сдвинуть его с места, если изменить направление тока на противоположное.

**1029.** Горизонтальный стержень массой  $m = 50$  г и длиной  $l = 30$  см удерживают в покое на гладкой наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол  $\alpha$  ( $\operatorname{tg} \alpha = 0,30$ ). Стержень находится в вертикальном однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 0,25$  Тл. Определите силу тока, которую надо пропустить через стержень, чтобы он оставался в покое, если его отпустить.

**1030.** На наклонной плоскости, образующей угол  $\alpha = 30^\circ$  с горизонтом, находится прямой проводник длиной  $l = 0,50$  м и массой  $m = 0,20$  кг, по которому проходит ток  $I = 10$  А. Определите модуль ускорения, с которым

движется проводник по наклонной плоскости, если вектор индукции однородного магнитного поля направлен вертикально и перпендикулярно проводнику. Силой трения пренебречь. Модуль индукции магнитного поля  $B = 0,10$  Тл. Рассмотрите все возможные варианты.

- 1031.** Стержень массой  $m = 0,10$  кг и длиной  $l = 0,40$  м расположен перпендикулярно наклонным рельсам, составляющим угол  $\alpha = 30^\circ$  с горизонтом (рис. 237). Определите минимальный модуль индукции однородного магнитного поля, перпендикулярного плоскости рельсов, при котором стержень начнет двигаться по рельсам вверх, если по нему пропускать ток силой  $I = 15$  А. Коэффициент трения стержня о рельсы  $\mu = 0,40$ .
- 1032.** Стержень неподвижно лежит на рельсах перпендикулярно им. Рельсы составляют с горизонтом угол  $\alpha$ . Каким должен быть минимальный модуль индукции однородного магнитного поля, перпендикулярного плоскости рельсов, чтобы стержень начал двигаться по ним вниз, если по нему пропускать ток силой  $I$ ? Длина стержня равна  $l$ . Коэффициент трения стержня о рельсы  $\mu$ . Масса стержня  $m$ .
- 1033.** На наклонной плоскости, составляющей угол  $\alpha = 30^\circ$  с горизонтом, находится прямой однородный проводник длиной  $l = 40$  см и массой  $m = 0,20$  кг, по которому проходит ток  $I = 2,0$  А (рис. 238). К концам проводника прикреплены две невесомые пружины

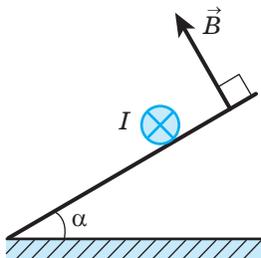


Рис. 237

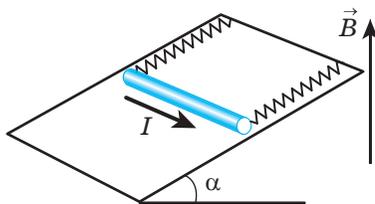


Рис. 238

жесткостью  $k = 8,0 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  каждая, удерживающие проводник в покое. Определите удлинение пружин, если вектор индукции однородного магнитного поля направлен вертикально вверх и перпендикулярно проводнику. Коэффициент трения между проводником и наклонной плоскостью  $\mu = 0,15$ . Модуль индукции магнитного поля  $B = 0,40$  Тл.

- 1034.** На наклонной плоскости, составляющей угол  $\alpha = 30^\circ$  с горизонтом, находится прямой однородный проводник длиной  $l = 40$  см и массой  $m = 0,20$  кг. Проводник расположен горизонтально и перпендикулярно однородному горизонтальному магнитному полю, модуль индукции которого  $B = 0,40$  Тл (рис. 239). Определите модуль минимальной силы, которую надо приложить к проводнику параллельно наклонной плоскости для удержания его в покое, если сила тока в проводнике  $I = 10$  А. Коэффициент трения между проводником и плоскостью  $\mu = 0,15$ .

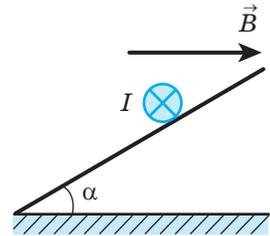


Рис. 239

- 1035.** Квадратная рамка, изготовленная из проволоки, площадь поперечного сечения которой  $S = 1$  мм<sup>2</sup>, присоединена к источнику постоянного напряжения  $U = 0,6$  В и помещена в однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 0,1$  Тл. Определите модуль силы Ампера, действующей на рамку. Удельное сопротивление вещества проволоки  $\rho = 2,0 \cdot 10^{-8}$  Ом · м. Провода, подводящие ток к рамке, подключены к ее соседним вершинам. Рамка расположена в вертикальной плоскости. Линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости рамки.
- 1036.** Проводник длиной  $l = 24$  см и сопротивлением  $R = 0,36$  Ом согнут в форме равностороннего треугольни-

ка и помещен в однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 0,10$  Тл. Линии индукции перпендикулярны плоскости треугольника. Определите модуль силы Ампера, действующей на проводник, если на его соседние вершины подать напряжение  $U = 0,54$  В.

- 1037.** Однородный стержень длиной  $l = 40$  см и массой  $m = 40$  г, по которому протекает ток  $I = 10$  А, закреплен шарнирно одним концом так, что может вращаться без трения в вертикальной плоскости. Стержень находится в однородном магнитном поле. Определите угол отклонения стержня от вертикали, если линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости его вращения. Модуль индукции магнитного поля  $B = 50$  мТл.
- 1038.** Проволока, площадь поперечного сечения которой  $S$ , согнута в виде трех сторон квадрата и прикреплена своими концами к горизонтальной оси, вокруг которой она может свободно вращаться в однородном вертикальном магнитном поле. Плотность вещества проволоки  $\rho$ . Модуль индукции магнитного поля  $B$ . По проволоке пропускают ток силой  $I$ . Определите угол между вертикалью и плоскостью, в которой расположена проволока.
- 1039.** Из проволоки массой  $m = 50$  г изготовили квадратную рамку со стороной  $a = 10$  см и положили ее на горизонтальную поверхность стола. Параллельно двум сторонам рамки создали однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 0,10$  Тл. Определите минимальную силу тока, который надо пропустить по проволоке рамки, чтобы одна из ее сторон оторвалась от стола.
- 1040.** Проволочная квадратная рамка массой  $m = 10$  г со стороной  $a = 10$  см может вращаться вокруг горизонтальной оси, совпадающей с одной из ее сторон. Рамка находится в однородном вертикальном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 0,1$  Тл. Определите силу тока, который должен протекать в проволоке, чтобы плоскость рамки составляла с вертикалью угол  $\alpha = 45^\circ$ .

## 22. Сила Лоренца

Физическая величина или правило	Формула или правило	Физические величины, входящие в формулу
Сила Лоренца	$F_{\text{Л}} = qvB \sin \alpha$	<p><math>F_{\text{Л}}</math> — модуль силы Лоренца (модуль силы, действующей со стороны магнитного поля на движущуюся заряженную частицу);</p> <p><math>q</math> — модуль заряда частицы;</p> <p><math>v</math> — модуль скорости движения заряженной частицы;</p> <p><math>B</math> — модуль индукции магнитного поля;</p> <p><math>\alpha</math> — угол между скоростью движения заряженной частицы и индукцией магнитного поля</p>
Правило левой руки	<p>Если левую руку расположить так, чтобы составляющая индукции магнитного поля, перпендикулярная скорости движения частицы, входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены по движению положительно заряженной частицы (против движения отрицательно заряженной частицы), то отогнутый на <math>90^\circ</math> в плоскости ладони большой палец укажет на направление силы Лоренца, действующей на частицу</p>	

**1041.** На рисунке 240, *a—г* показано направление скорости  $\vec{v}$  заряженной частицы  $q$ , влетающей в однородное магнитное поле, индукция которого  $\vec{B}$ . Определите направление силы Лоренца, действующей на частицу.

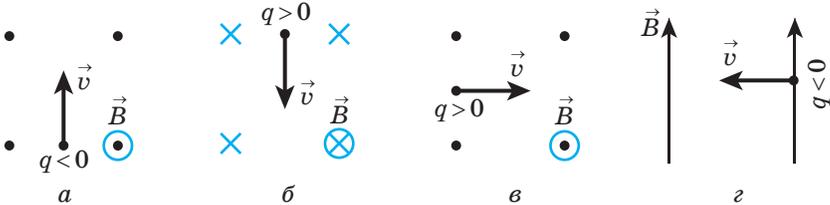


Рис. 240

**1042.** На рисунке 241, *a—г* показано направление скорости  $\vec{v}$  заряженной частицы  $q$  в некоторый момент времени ее движения в магнитном поле. Определите направление силы Лоренца, действующей на частицу.

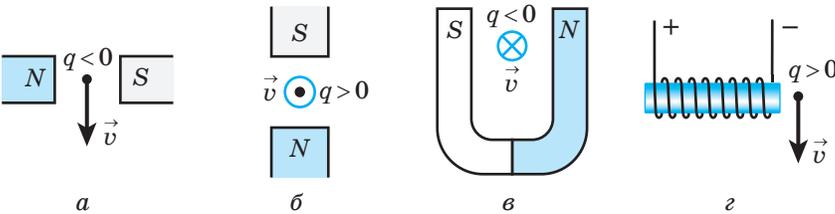


Рис. 241

**1043.** Три частицы — протон, электрон и нейтрон — движутся в однородном магнитном поле по траекториям I, II, III, показанным на рисунке 242 штриховыми линиями. Определите, по какой траектории движется каждая частица.

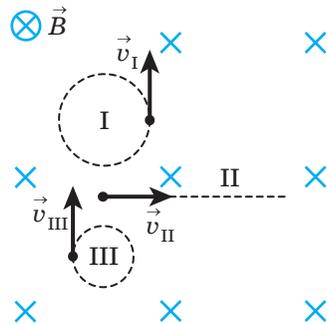


Рис. 242

**1044.** Две частицы, модули зарядов которых одинаковы, влетели в однородное магнитное поле  $\vec{B}$

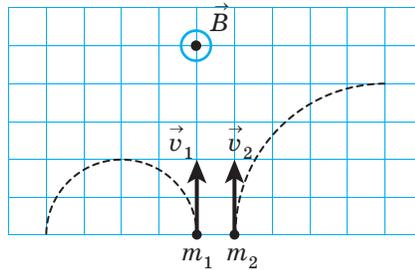


Рис. 243

с одинаковыми скоростями  $\vec{v}_1 = \vec{v}_2$ , направленными перпендикулярно линиям индукции. На рисунке 243 показаны траектории движения частиц в магнитном поле. Определите знаки зарядов этих частиц и сравните их массы. Силами электрического взаимодействия частиц пренебречь.

- 1045.** Протон влетает в однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 0,20$  Тл. Скорость протона перпендикулярна линиям индукции магнитного поля. Определите модуль силы Лоренца, действующей на протон, если модуль его скорости движения  $v = 20 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .
- 1046.** Точечный заряд  $q = 2$  мкКл влетает со скоростью, модуль которой  $v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , в однородное магнитное поле под углом  $\alpha = 30^\circ$  к линиям индукции магнитного поля. Определите модуль индукции магнитного поля, если модуль силы Лоренца, действующей на заряд,  $F_{\text{л}} = 4$  мкН.
- 1047.** Один из электронов находится в однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого  $E = 1,5 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . Другой электрон движется по окружности со скоростью, модуль которой  $v = 200 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 0,10$  Тл.

Определите, во сколько раз отличаются силы, с которыми поля действуют на электроны.

- 1048.** Заряженная частица движется по окружности в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 15$  мТл, со скоростью, модуль которой  $v = 100 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .

Модуль силы Лоренца, действующей на частицу,  $F_{\text{Л}} = 0,48$  фН. Определите модуль силы, с которой электростатическое поле будет действовать на эту частицу, если она окажется в электростатическом поле, модуль напряженности которого  $E = 7,5 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ .

- 1049.** Электрон движется в однородном магнитном поле со скоростью, модуль которой  $v = 0,25 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$ . Направления скорости  $\vec{v}$  и индукции  $\vec{B}$  магнитного поля показаны на рисунке 244. Определите модуль силы Лоренца, действующей на электрон, если модуль индукции магнитного поля  $B = 3,5$  мТл.

Определите модуль силы Лоренца, действующей на электрон, если модуль индукции магнитного поля  $B = 3,5$  мТл.

- 1050.** Протон движется в однородном магнитном поле со скоростью, модуль которой  $v = 1,5 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$ . Направления скорости  $\vec{v}$  и индукции  $\vec{B}$  магнитного поля показаны на рисунке 245. Определите модуль индукции магнитного поля, если модуль силы Лоренца, действующей на протон,  $F_{\text{Л}} = 3,6 \cdot 10^{-14}$  Н.

Определите модуль индукции магнитного поля, если модуль силы Лоренца, действующей на протон,  $F_{\text{Л}} = 3,6 \cdot 10^{-14}$  Н.

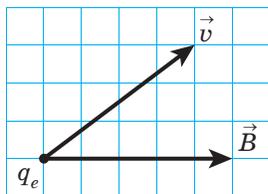


Рис. 244

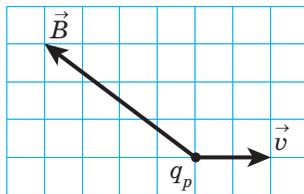


Рис. 245

- 1051.** Ион массой  $m = 4,0 \cdot 10^{-26}$  кг и зарядом  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл движется по окружности в однородном магнитном поле с индукцией, модуль которой  $B = 10$  мТл. Определите модуль силы Лоренца, действующей на ион, если модуль импульса иона  $p = 4,0 \cdot 10^{-20} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{С}}$ .
- 1052.** Частица массой  $m = 2 \cdot 10^{-10}$  кг и зарядом  $q = -1,6 \times 10^{-19}$  Кл движется по окружности в однородном магнитном поле с индукцией, модуль которой  $B = 0,05$  Тл. Определите модуль силы Лоренца, действующей на частицу, если кинетическая энергия частицы  $E_{\text{к}} = 0,01$  Дж.
- 1053.** Электрон влетел со скоростью, модуль которой  $v = 70 \frac{\text{КМ}}{\text{С}}$ , в однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 26$  нТл, перпендикулярно линиям индукции. Определите модуль ускорения, с которым движется электрон в магнитном поле.
- 1054.** В однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции влетают протон и  $\alpha$ -частица. Заряд  $\alpha$ -частицы в  $n = 2$  раза больше заряда протона. Во сколько раз модуль скорости движения  $\alpha$ -частицы больше модуля скорости движения протона, если модуль силы Лоренца, действующей на  $\alpha$ -частицу, в  $k = 8$  раз больше модуля силы Лоренца, действующей на протон?
- 1055.** Протон движется по окружности в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B$ , со скоростью, модуль которой  $v$ . Определите радиус окружности.
- 1056.** Определите отношение радиусов траекторий двух протонов, скорости которых направлены перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля, если кинетические энергии протонов равны  $E_{\text{к1}}$  и  $E_{\text{к2}}$ .
- 1057.** Ионы азота  $\text{N}^+$  и  $\text{N}^{2+}$  движутся по окружностям в однородном магнитном поле. Определите отношение радиусов окружностей, которые описывают ионы, если их

кинетические энергии одинаковы. Массы ионов считать равными.

- 1058.** Два иона с одинаковыми зарядами и кинетическими энергиями влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно его линиям индукции. Определите отношение масс ионов, если один из ионов описал в магнитном поле окружность радиусом  $R_1 = 6,0$  мм, а второй —  $R_2 = 3,0$  мм.
- 1059.** Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле. Определите модуль индукции магнитного поля, если период обращения электрона  $T = 0,18$  нс.
- 1060.** Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 4,0$  мТл. Определите частоту обращения электрона. Модуль удельного заряда электрона  $\frac{e}{m_e} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$ .
- 1061.** Протон и электрон движутся по окружностям в однородном магнитном поле. Определите отношение угловых скоростей движения частиц.
- 1062.** Протон и ион неона движутся по окружностям в однородном магнитном поле. Определите частоту обращения иона неона, если период обращения протона  $T_p = 50$  мкс. Заряды протона и иона одинаковы. Масса иона в  $n = 20$  раз больше массы протона.
- 1063.** Электрон движется по окружности радиусом  $R = 1,0$  мм в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 3,0$  мТл. Определите модуль импульса и кинетическую энергию электрона.
- 1064.** Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 20$  мТл. Модуль импульса электрона  $p = 6,4 \cdot 10^{-24} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ . Определите радиус окружности, модуль центростремительного ускорения и кинетическую энергию электрона.

- 1065.** Два иона, вылетевшие одновременно из точки  $O$  (рис. 246), равномерно двигались по окружностям под действием однородного магнитного поля, линии индукции которого перпендикулярны скорости движения ионов. На рисунке показаны траектории ионов, по которым они двигались в течение одинакового промежутка времени. Масса первого иона  $m_1 = 9,0 \cdot 10^{-26}$  кг. Определите массу второго иона, если модули зарядов ионов одинаковы. Силой тяжести, действующей на ионы, и их взаимодействием пренебречь.

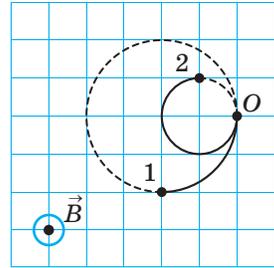


Рис. 246

- 1066.** Два иона с одинаковыми массами, вылетевшие одновременно из точки  $O$  (рис. 247), равномерно двигались по окружностям под действием однородного магнитного поля, линии индукции которого перпендикулярны скорости движения ионов. На рисунке показаны траектории ионов, по которым они двигались в течение одинакового промежутка времени. Заряд первого иона  $q_1 = 3,2 \cdot 10^{-19}$  Кл. Определите модуль заряда второго иона. Силой тяжести, действующей на ионы, и их взаимодействием пренебречь.

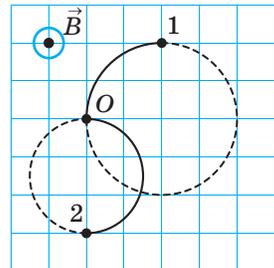


Рис. 247

- 1067.** Пучок протонов влетает в однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 0,20$  Тл, перпендикулярно линиям индукции. В магнитном поле все протоны движутся по дуге окружности радиусом  $R = 10$  см, попадают на закрепленную заземленную пластинку и поглощаются ею. Определите тепловую мощность, выделяющуюся в пластинке, если сила тока в пучке  $I = 50$  мкА.

- 1068.** Пучок протонов влетает в однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 50$  мТл, перпендикулярно линиям индукции. В магнитном поле все протоны, двигаясь по дуге окружности диаметром  $d = 20$  мм, попадают на закрепленную заземленную свинцовую пластинку массой  $m = 15$  мг и поглощаются ею. Определите изменение температуры пластинки за время  $\tau = 1,5$  мин, если сила тока в пучке  $I = 20$  мкА. Тепловыми потерями пластинки пренебречь.
- 1069.** Электрон, пройдя из состояния покоя в электростатическом поле разность потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2 = -4,0$  В, попадает в однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 32$  мТл. Определите радиус окружности, по которой движется электрон в магнитном поле.
- 1070.** Ядро атома гелия, ускоренное из состояния покоя в электростатическом поле разностью потенциалов  $U = 150$  В, влетает в однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 0,25$  Тл, и движется по окружности длиной  $l = 6,0$  см. Определите модуль индукции магнитного поля. Молярная масса гелия  $M = 4,0 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ . Заряд ядра гелия  $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$  Кл.
- 1071.** Частица массой  $m = 1,0 \cdot 10^{-6}$  кг и зарядом  $q = 10$  мкКл, покоящаяся в начальный момент времени, ускоряется однородным электростатическим полем, модуль напряженности которого  $E = 10 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ , в течение промежутка времени  $\Delta t = 1,0$  мс. Затем она влетает в однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 3,14$  Тл. Скорость движения частицы перпендикулярна линиям индукции магнитного поля. Определите: а) модуль силы Лоренца, действующей на частицу в магнитном поле; б) время пребывания частицы в магнитном поле, если ее траекторией движения в магнитном поле является полуокружность.

- 1072.** На рисунке 248 изображен простейший масс-спектрограф, в котором модуль индукции однородного магнитного поля  $B = 0,10$  Тл. В ионизаторе  $I$  образуются ионы, которые ускоряются электростатическим полем с разностью потенциалов  $U = 10$  кВ и пролетают сквозь щель  $M$ . Двигаясь в магнитном поле по дуге окружности, ионы попадают на фотопластинку  $AC$ , вызывая ее почернение. Определите расстояние от щели  $M$  до темной полосы на фотопластинке, если в магнитное поле влетели ионы водорода: а) дейтерия ( $m_1 = 3,34 \cdot 10^{-27}$  кг,  $q_1 = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл); б) трития ( $m_2 = 5,0 \cdot 10^{-27}$  кг,  $q_2 = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл). Траекториями движения ионов в магнитном поле являются полуокружности.

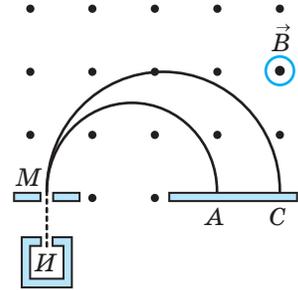


Рис. 248

- 1073.** Протон, двигавшийся в однородном магнитном поле по окружности радиусом  $R = 12$  см, вылетел из него и попал в однородное электростатическое поле. Двигаясь против линий напряженности, протон остановился. Определите тормозящую разность потенциалов, которую прошел протон в электростатическом поле. Модуль индукции магнитного поля  $B = 10$  мТл. Отношение заряда протона к его массе  $\frac{q_p}{m_p} = 9,6 \cdot 10^7 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$ .
- 1074.** Частица с зарядом  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл и массой  $m = 1,0 \cdot 10^{-26}$  кг, двигавшаяся в однородном магнитном поле по окружности радиусом  $R = 4,0$  см, вылетела из него и попала в однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого  $E = 20 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ . Двигаясь против линий напряженности, частица остановилась. Определите модуль перемещения частицы в электростатическом поле, если модуль индукции магнитного поля  $B = 10$  мТл.

- 1075.** Положительно заряженный ион из состояния покоя проходит в электростатическом поле ускоряющую разность потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2 = 20$  кВ и влетает в область пространства, в которой созданы два взаимно перпендикулярных поля: однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 20$  мТл, и однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого  $E = 40 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . Определите отношение заряда иона к его массе, если в области взаимно перпендикулярных полей ион движется равномерно и прямолинейно.
- 1076.** Положительно заряженная частица массой  $m$  и зарядом  $q$ , пройдя из состояния покоя ускоряющую разность потенциалов  $U_0$ , влетает в плоский конденсатор параллельно его пластинам. Расстояние между пластинами конденсатора  $d$ , разность потенциалов между ними  $U$ . Конденсатор находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого параллельны пластинам конденсатора. Определите модуль индукции магнитного поля, если в конденсаторе частица движется равномерно и прямолинейно параллельно его пластинам.
- 1077.** Заряженная частица влетает в область пространства, где созданы однородные электростатическое и магнитное поля. Модуль напряженности электростатического поля  $E = 5,0 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ , модуль индукции магнитного поля  $B = 0,15$  Тл. Причем векторы  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  имеют одинаковое направление. В момент влета в область полей скорость  $\vec{v}_0$  частицы перпендикулярна линиям индукции магнитного поля, а модуль ее ускорения  $a = 1,0 \cdot 10^{12} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . Определите модуль скорости  $\vec{v}_0$ . Масса частицы  $m = 5,0 \cdot 10^{-17}$  кг, заряд частицы  $q = 8,0 \cdot 10^{-9}$  Кл.

- 1078.** Две частицы с одинаковыми массами  $m_1 = m_2 = m = 1,1 \cdot 10^{-12}$  кг и одинаковыми зарядами  $q_1 = q_2 = q = 1,0 \cdot 10^{-10}$  Кл движутся в вакууме в однородном магнитном поле, индукция которого перпендикулярна их скорости. Расстояние  $l = 2,0$  м между частицами остается постоянным. Частицы движутся со скоростями, модули которых  $v_1 = v_2 = v = 15 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ . Направления скоростей частиц противоположны в любой момент времени. Определите модуль индукции магнитного поля.
- 1079.** Однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 13$  мкТл, локализовано между двумя параллельными сетками, расстояние между которыми  $l = 14$  см (рис. 249). Определите модуль минимальной скорости, которую должен иметь электрон, чтобы он смог пролететь данную область поля.
- 1080.** Протон, движущийся со скоростью, модуль которой  $v_0 = 240 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ , влетел в полосу однородного магнитного поля шириной  $l = 5,0$  см перпендикулярно линиям индукции (рис. 250). Определите модуль индукции магнитного поля, если за время пролета полосы этого поля направление скорости протона изменилось на угол  $\alpha = 30^\circ$ .
- 1081.** Положительно заряженная частица, скорость которой  $\vec{v}$ , влетает в однородное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$  перпендикулярно линиям индукции магнит-

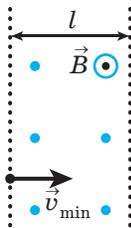


Рис. 249

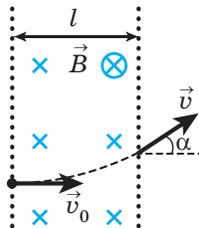


Рис. 250

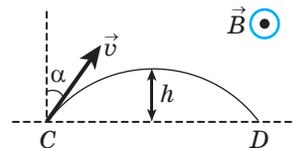


Рис. 251

ного поля (рис. 251). Угол между перпендикуляром к границе  $CD$  магнитного поля и скоростью  $\vec{v}$  частицы в момент ее влета в поле равен  $\alpha$ . Определите максимальную глубину  $h$  проникновения частицы в область магнитного поля. Заряд частицы  $q$ , ее масса  $m_0$ .

**1082.** Однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 60$  мТл, создано в широкой и длинной полосе. Протон влетает в это поле под углом  $\alpha = 45^\circ$  к его границе и перпендикулярно линиям индукции магнитного поля. Определите время нахождения протона в магнитном поле.

**1083.** Маленький брусок массой  $m = 15$  г и зарядом  $q = 0,20$  Кл расположен на горизонтальной плоскости в однородном горизонтальном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 0,60$  Тл. На брусок начинает действовать сила  $\vec{F}$ , параллельная плоскости и перпендикулярная индукции магнитного поля (рис. 252). Модуль силы  $F = 0,27$  Н. Определите мощность, развиваемую силой  $\vec{F}$  через достаточно большой промежуток времени. Коэффициент трения между бруском и плоскостью  $\mu = 0,20$ .

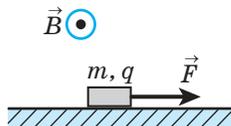


Рис. 252

**1084.** По наклонной плоскости длиной  $AC = 40$  см и высотой  $CD = 24$  см (рис. 253), находящейся в однородном магнитном поле, равномерно соскальзывает маленькая шайба с зарядом  $q = 40$  мКл и массой  $m = 12$  г. Линии индукции магнитного поля направлены горизонтально и параллельно плоскости. Модуль индукции магнитного поля  $B = 1,0$  Тл. Определите модуль скорости движения шайбы, если коэффициент трения скольжения  $\mu = 0,50$ .

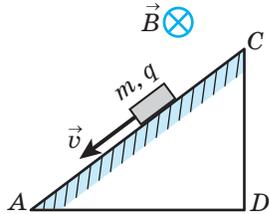


Рис. 253

- 1085.** Положительно заряженный маленький шарик массой  $m = 2,0$  г подвешен на невесомой нерастяжимой непроводящей нити длиной  $l = 20$  см в однородном магнитном поле, направленном горизонтально. Нить с шариком отклоняют в горизонтальное положение в плоскости, перпендикулярной линиям индукции магнитного поля, и отпускают без начальной скорости. Определите заряд шарика, если модуль силы натяжения нити в нижней точке траектории движения шарика  $F = 50$  мН. Модуль индукции магнитного поля  $B = 0,50$  Тл.

### 23. Магнитный поток.

#### Явление электромагнитной индукции

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Магнитный поток	$\Phi = BS \cos \alpha$	$\Phi$ — магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром, находящимся в однородном магнитном поле; $B$ — модуль индукции однородного магнитного поля; $S$ — площадь плоской поверхности, ограниченной контуром; $\alpha$ — угол между магнитной индукцией и нормалью к поверхности, через которую определяют магнитный поток
Закон электромагнитной индукции	$\mathcal{E}_{\text{инд}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$	$\mathcal{E}_{\text{инд}}$ — ЭДС электромагнитной индукции; $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ — скорость равномерного изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром

**Алгоритм определения направления  
индукционного тока в замкнутом контуре в соответствии  
с правилом Э. Х. Ленца:**

- 1) определить направление линий индукции  $\vec{B}$  внешнего магнитного поля;
- 2) выяснить, увеличивается ( $\Delta\Phi > 0$ ) или уменьшается ( $\Delta\Phi < 0$ ) магнитный поток этого поля через поверхность, ограниченную контуром;
- 3) установить направление линий индукции  $\vec{B}'$  индукционного тока: если  $\Delta\Phi > 0$ , то направления индукции внешнего магнитного поля и магнитного поля индукционного тока противоположны, если  $\Delta\Phi < 0$ , то они совпадают;
- 4) зная направление  $\vec{B}'$ , по правилу правой руки определить направление индукционного тока в контуре.

- 1086.** Линии индукции однородного магнитного поля, пронизывающие плоскую поверхность, ограниченную контуром, направлены перпендикулярно ей. Определите магнитный поток через эту поверхность, если модуль индукции магнитного поля  $B = 0,44$  Тл, а площадь поверхности  $S = 25$  см<sup>2</sup>.
- 1087.** Линии индукции однородного магнитного поля, пронизывающие плоскую поверхность, ограниченную кольцом, составляют с нормалью к ней угол  $\alpha = 60^\circ$ . Магнитный поток через эту поверхность  $\Phi = 63$  мкВб. Определите площадь поверхности, ограниченной кольцом, если модуль индукции магнитного поля  $B = 84$  мТл.
- 1088.** Линии индукции однородного магнитного поля, модуль индукции которого  $B = 20$  мТл, параллельны плоской поверхности, охваченной проволочным контуром. Площадь поверхности  $S = 100$  см<sup>2</sup>. Определите изменение магнитного потока через эту поверхность, если контур повернуть на угол  $\alpha = 60^\circ$ .
- 1089.** Квадратная проволочная рамка со стороной  $a = 10$  см расположена в однородном магнитном поле, модуль

индукции которого  $B = 0,2$  Тл. Нормаль к плоской поверхности, ограниченной рамкой, образует с вектором индукции угол  $\alpha = 60^\circ$ . Определите изменение магнитного потока через эту поверхность, если рамку повернуть на угол  $\varphi = 180^\circ$ .

- 1090.** Проволочный виток радиусом  $r$  находится в однородном магнитном поле, вектор индукции  $\vec{B}$  которого направлен перпендикулярно плоскости, ограниченной витком. Определите изменение магнитного потока через эту плоскость, если индукция магнитного поля возрастет в  $n$  раз.
- 1091.** Линии индукции однородного магнитного поля, пронизывающего плоскую поверхность, ограниченную проволочным витком, направлены под углом  $\alpha = 30^\circ$  к ней. После уменьшения модуля индукции магнитного поля в  $n = 6$  раз изменение магнитного потока, пронизывающего поверхность, составило  $\Delta\Phi = -0,69$  мВб. Определите первоначальный модуль индукции магнитного поля, если площадь этой поверхности  $S = 92$  см<sup>2</sup>.
- 1092.** Проволочный контур в форме равностороннего треугольника со стороной  $a = 1,0$  м расположен в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 0,10$  Тл. Линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоской поверхности, ограниченной контуром. Определите изменение магнитного потока через эту поверхность, если, не меняя плоскости контура, преобразовать его в квадрат.
- 1093.** Проволочный квадратный контур находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого пронизывают плоскую поверхность, ограниченную контуром. Определите, во сколько раз увеличится магнитный поток, пронизывающий эту поверхность, если, не меняя плоскости расположения контура, преобразовать его в кольцо.
- 1094.** Проволочный контур в форме кольца находится в однородном магнитном поле, линии индукции кото-

рого пронизывают поверхность, ограниченную контуром. Контур, не переключивая, превратили в восьмерку, составленную из двух равных колец. Во сколько раз уменьшился магнитный поток, пронизывающий поверхность, ограниченную контуром?

- 1095.** В однородном магнитном поле в одной плоскости расположены две квадратные рамки, изготовленные из проволок длиной  $l_1 = 64$  см и  $l_2 = 24$  см. Магнитный поток через поверхность, ограниченную рамкой большего периметра,  $\Phi_1 = 32$  мВб. Определите магнитный поток через поверхность, ограниченную рамкой меньшего периметра.

- 1096.** Проволочная рамка  $ABCD$  и длинный прямолинейный проводник с током  $I$  (рис. 254) расположены в одной вертикальной плоскости. Будет ли в рамке возникать индукционный ток, если рамку: а) равномерно смещать вправо; б) равномерно смещать вверх; в) равноускоренно смещать вправо; г) равноускоренно смещать вниз; д) вращать вокруг стороны  $AB$ ; е) уменьшать ток в проводнике?

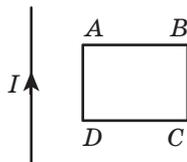


Рис. 254

- 1097.** Два кольца I и II расположены в одной вертикальной плоскости. Большое кольцо II включено в электрическую цепь, состоящую из источника тока, ключа  $K$  и реостата (рис. 255). Будет ли в малом кольце I возникать индукционный ток, если: а) замыкать ключ  $K$ ; б) при замкнутом ключе  $K$  в кольца вносить пластмассовый стержень; в) при замкнутом ключе  $K$  перемещать ползунок реостата вправо; г) при замкнутом ключе  $K$  вращать кольцо I вокруг его горизонтального диаметра?

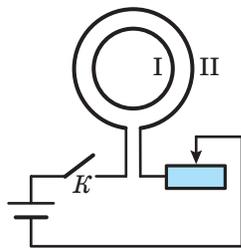


Рис. 255

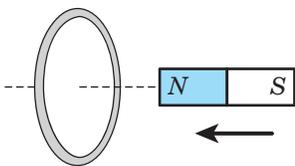


Рис. 256

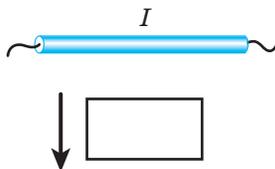


Рис. 257

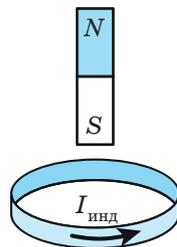


Рис. 258

- 1098.** Полосовой магнит приближают к медному кольцу (рис. 256). Определите направление индукционного тока в кольце.
- 1099.** На рисунке 257 показан горизонтальный проводник, по которому протекает постоянный ток  $I$ . Ниже проводника расположен замкнутый проволочный контур, который перемещают в вертикальной плоскости вниз. Определите направление индукционного тока в контуре.
- 1100.** На рисунке 258 показано металлическое кольцо, в котором протекает индукционный ток  $I_{\text{инд}}$ . Определите, в каком направлении перемещают полосовой магнит.
- 1101.** На рисунке 259 показано металлическое кольцо, в котором протекает индукционный ток  $I_{\text{инд}}$ . Определите полюса полосового магнита, который удаляют от кольца.
- 1102.** Кольцо I включено в электрическую цепь (рис. 260). Определите направление индукционного тока, возникающего в кольце II, если: а) замкнуть ключ  $K$ ; б) перемещать ползунок реостата влево.
- 1103.** Две катушки A и C расположены на одном сердечнике (рис. 261). Определите направление индукционно-

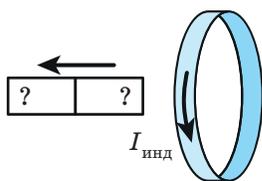


Рис. 259

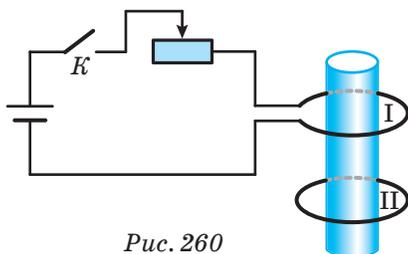


Рис. 260

го тока в катушке А, подключенной к миллиамперметру, если ползунок реостата перемещают вправо.

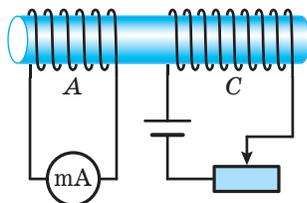


Рис. 261

- 1104.** Зависимость магнитного потока, пронизывающего поверхность, ограниченную проводящим контуром, находящимся в однородном магнитном поле, от времени имеет вид:  $\Phi = At$ , где  $A = -40 \frac{\text{мВб}}{\text{с}}$ . Определите ЭДС индукции, возникающей в контуре.
- 1105.** Как, используя моток проволоки с изоляцией, гальванометр и магнит, доказать, что сила индукционного тока зависит от площади поверхности, охваченной контуром, угла между вектором магнитной индукции и нормалью к контуру, а также от числа витков в контуре?
- 1106.** На рисунке 262 показана зависимость магнитного потока, пронизывающего плоский проводящий контур, находящийся в однородном магнитном поле, от времени. Определите ЭДС индукции, возникающей в контуре.
- 1107.** На рисунке 263 показана зависимость магнитного потока, пронизывающего плоский проводящий контур, находящийся в однородном магнитном поле, от времени. Определите максимальное значение модуля ЭДС индукции, возникающей в контуре.

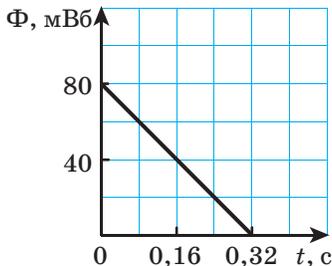


Рис. 262

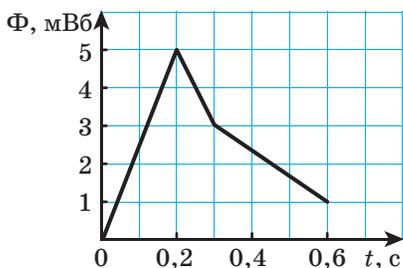


Рис. 263

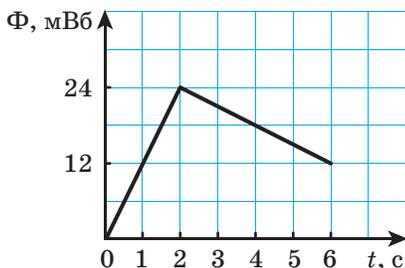


Рис. 264

- 1108.** На рисунке 264 показана зависимость магнитного потока, пронизывающего поверхность, ограниченную проволочным витком, находящимся в однородном магнитном поле, от времени. На сколько отличаются значения модулей ЭДС индукции, возникающей в витке, в моменты времени  $t_1 = 1$  с и  $t_2 = 3$  с?
- 1109.** Плоский проволочный виток расположен в однородном магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости витка. Определите площадь плоской поверхности, ограниченной витком, если ЭДС индукции, возникающей в нем при равномерном изменении индукции магнитного поля от  $B_1 = 0,15$  Тл до  $B_2 = 0,11$  Тл в течение промежутка времени  $\Delta t = 0,25$  с, составляет  $\mathcal{E}_{\text{инд}}^{\text{ср}} = 0,56$  мВ.
- 1110.** Плоский проволочный виток, ограничивающий поверхность площадью  $S = 10$  см<sup>2</sup>, расположен в однородном магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости витка. Определите ЭДС индукции, возникающей в витке, если модуль индукции магнитного поля равномерно убывает от  $B_1 = 0,5$  Тл до  $B_2 = 0,1$  Тл за промежуток времени  $\Delta t = 0,4$  мс.
- 1111.** Квадратная рамка со стороной  $a = 10$  см помещена в однородное магнитное поле, линии индукции которого с нормалью к плоскости рамки составляют угол  $\alpha = 60^\circ$ . Определите модуль индукции магнитного поля, если среднее значение ЭДС индукции, возникающей

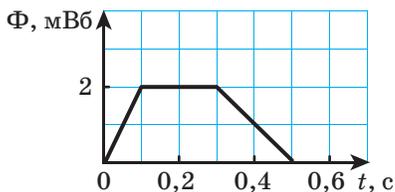


Рис. 265

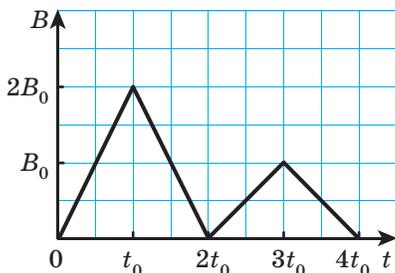


Рис. 266

в рамке при уменьшении индукции магнитного поля до нуля в течение промежутка времени  $\Delta t = 0,01$  с, составляет  $\langle \mathcal{E}_{\text{инд}} \rangle = 50$  мВ.

- 1112.** Магнитный поток через поверхности, ограниченные витками катушки, помещенной в однородное магнитное поле,  $\Phi_1 = 0,40$  мВб. Определите, сколько витков имеет катушка, если при равномерном убывании магнитного поля до нуля за промежуток времени  $\Delta t = 0,10$  с, в катушке индуцируется ЭДС  $\mathcal{E}_{\text{инд}} = 2,0$  В.
- 1113.** На рисунке 265 представлен график зависимости магнитного потока, пронизывающего поверхности, ограниченные витками катушки, состоящей из  $N = 400$  витков провода, от времени. Постройте график зависимости ЭДС индукции, возникающей в катушке, от времени.
- 1114.** Проволочное кольцо радиусом  $r$  помещено в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости кольца. На рисунке 266 представлен график зависимости модуля индукции магнитного поля от времени. Постройте график зависимости ЭДС индукции, возникающей в кольце, от времени.
- 1115.** На рисунке 267 представлен график зависимости ЭДС индукции, возникающей в катушке, от времени. В какие промежутки времени изменялся магнитный поток, пронизывающий поверхности, охваченные витками катушки?

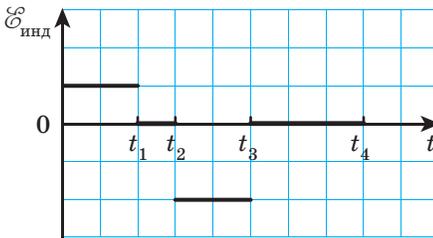


Рис. 267

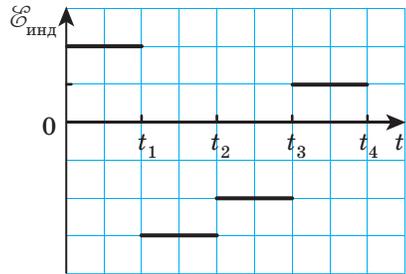


Рис. 268

- 1116.** На рисунке 268 представлен график зависимости ЭДС индукции, возникающей в кольце, от времени. В какие промежутки времени индукция магнитного поля, в котором находится кольцо, возросла?
- 1117.** Плоский проволочный виток расположен перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля, модуль индукции которого  $B = 15$  мТл. За промежуток времени  $\Delta t = 0,012$  с виток повернули на угол  $\Delta\varphi = 90^\circ$  вокруг оси, лежащей в его плоскости. Определите площадь плоской поверхности, ограниченной витком, если среднее значение ЭДС индукции, возникающей в нем во время поворота,  $\langle \mathcal{E}_{\text{инд}} \rangle = 0,50$  В.
- 1118.** Прямоугольная рамка, длины сторон которой  $a = 30$  см и  $b = 50$  см, находится в однородном магнитном поле. При этом нормаль к плоскости рамки образует с линиями индукции магнитного поля угол  $\alpha = 60^\circ$ . Определите первоначальное значение индукции магнитного поля, если известно, что при ее равномерном уменьшении до нуля в течение промежутка времени  $\Delta t = 7,5$  мс в рамке возникает ЭДС индукции  $\mathcal{E}_{\text{инд}} = 0,15$  В.
- 1119.** Плоскость кругового витка, радиус которого  $r = 8,0$  см, перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля. Определите ЭДС индукции, возникающей в витке, если модуль индукции магнитного поля за промежуток времени  $\Delta t = 0,18$  мс равномерно уменьшается на  $\Delta B = -1,7$  мТл.

1120. Два проволочных витка, расположенные в одной плоскости, находятся в изменяющемся с течением времени однородном магнитном поле. За одинаковый промежуток времени в первом витке возникла ЭДС индукции  $\mathcal{E}_{\text{инд1}} = 0,13 \text{ В}$ , а во втором —  $\mathcal{E}_{\text{инд2}} = 0,52 \text{ В}$ . Определите, во сколько раз отличаются длины проволок, из которых изготовлены витки.
1121. Тонкий провод длиной  $l = 50 \text{ см}$ , покрытый изоляционным лаком, согнут в виде квадрата и расположен в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 314 \text{ мТл}$ . Причем линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости, ограниченной квадратом. За промежуток времени  $\Delta t = 4,3 \text{ мс}$  квадрат преобразуют в окружность без изменения длины провода и ориентации контура в поле. Определите среднее значение ЭДС индукции, возникающей в контуре во время его трансформации.
1122. Из тонкой проволоки, покрытой изоляционным лаком, изготовили контур в форме прямоугольника, длины сторон которого относятся как  $5 : 1$ . Контур расположен в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 0,40 \text{ Тл}$ , а линии индукции составляют угол  $\alpha = 30^\circ$  с плоскостью, ограниченной контуром. За промежуток времени  $\Delta t = 8,0 \text{ мс}$  контур превратили в квадрат без изменения длины проволоки и ориентации контура в поле. Определите длину проволоки, если во время трансформации контура в нем возникла ЭДС индукции, среднее значение которой  $\langle \mathcal{E}_{\text{инд}} \rangle = -0,16 \text{ В}$ .
1123. Соленоид, состоящий из  $N = 100$  витков проволоки диаметром  $D = 10 \text{ см}$  каждый, помещен в однородное магнитное поле, линии индукции которого параллельны оси соленоида. Соленоид замкнут на конденсатор емкостью  $C = 40 \text{ мкФ}$ . Определите заряд конденсатора, если модуль индукции магнитного поля изменяется со скоростью  $\frac{\Delta B}{\Delta t} = -20 \frac{\text{мТл}}{\text{с}}$ .

- 1124.** Проволочный виток имеет узкий разрез, в который включен незаряженный конденсатор емкостью  $C = 80$  мФ. Виток помещают в однородное магнитное поле, линии индукции которого составляют с плоскостью витка угол  $\alpha = 60^\circ$ . Модуль индукции магнитного поля изменяется со скоростью  $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 50 \frac{\text{Тл}}{\text{с}}$ . Определите энергию электрического поля в конденсаторе, если площадь плоской поверхности, ограниченной витком,  $S = 100$  см<sup>2</sup>.
- 1125.** Магнитный поток через поверхность, ограниченную плоским контуром, изготовленным из проводника, изменяется со скоростью  $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -0,16 \frac{\text{Вб}}{\text{с}}$ . Определите силу индукционного тока в контуре, если его сопротивление  $R = 4,0$  Ом.
- 1126.** Зависимость магнитного потока, пронизывающего плоский проводящий контур, находящийся в однородном магнитном поле, от времени имеет вид:  $\Phi = At$ , где  $A = -7,6 \frac{\text{мВб}}{\text{с}}$ . Определите силу индукционного тока в контуре, если его сопротивление  $R = 19$  мОм.
- 1127.** Квадратную рамку со стороной  $a = 20$  см изготовили из проволоки сопротивлением  $R = 0,01$  Ом и поместили в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Определите среднюю силу индукционного тока в рамке, если за время  $\Delta t = 0,1$  с рамку повернули вокруг одной из ее сторон на угол  $\alpha = 180^\circ$ . Модуль индукции магнитного поля  $B = 5$  мТл.
- 1128.** Площадь плоской поверхности, ограниченной проволочным контуром,  $S_1 = 10$  см<sup>2</sup>. Контур начинают деформировать в однородном магнитном поле, оставляя его в плоскости, перпендикулярной линиям индукции. Модуль индукции  $B = 10$  мТл. За промежуток времени  $\Delta t = 0,2$  с площадь контура равномерно уменьшили до  $S_2 = 2$  см<sup>2</sup>. Определите силу тока в контуре за этот

промежуток времени, если сопротивление контура  $R = 0,1$  Ом.

- 1129.** Квадратная рамка со стороной  $a = 6,8$  см, изготовленная из медной проволоки площадью поперечного сечения  $S = 1$  мм<sup>2</sup>, помещена в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Скорость изменения модуля индукции магнитного поля  $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 0,2 \frac{\text{Тл}}{\text{с}}$ . Определите силу индукционного тока в рамке.

- 1130.** На рисунке 269 представлена зависимость от времени модуля индукции однородного магнитного поля, в котором находится проволочный квадратный контур с длиной стороны  $a = 6,0$  см и сопротивлением  $R = 16$  мОм. Определите силу индукционного тока

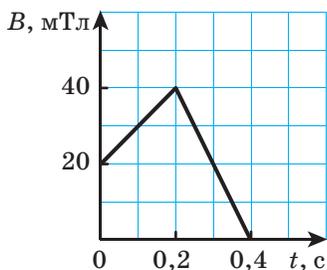


Рис. 269

в контуре в момент времени  $t = 0,3$  с, если линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости контура.

- 1131.** Плоский замкнутый контур (рис. 270)

состоит из четырех проволок сопротивлениями  $R_1 = 0,5$  Ом,  $R_2 = 0,8$  Ом,  $R_3 = 0,5$  Ом и  $R_4 = 0,8$  Ом. Контур помещен в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости, ограниченной контуром.

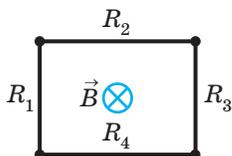


Рис. 270

Модуль индукции магнитного поля изменяется со скоростью  $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 5,2 \frac{\text{Тл}}{\text{с}}$ . Определите напряжение на второй проволоке, если площадь плоскости  $S = 0,5$  м<sup>2</sup>.

- 1132.** Линии индукции однородного магнитного поля перпендикулярны плоскости треугольного проводящего контура, образованного проводниками сопротивлениями

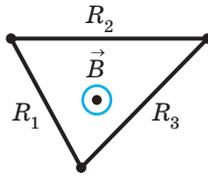


Рис. 271

$R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 1,8$  Ом и  $R_3 = 2$  Ом (рис. 271). На рисунке 272 представлен

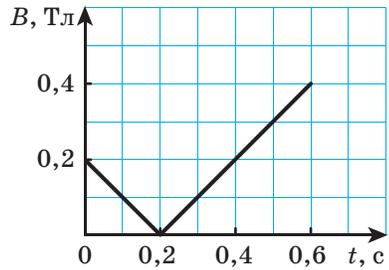


Рис. 272

график зависимости модуля индукции магнитного поля от времени. Определите напряжение на третьем проводнике в момент времени  $t = 0,5$  с, если площадь плоской поверхности, ограниченной контуром,  $S = 0,96$  м<sup>2</sup>.

- 1133.** Квадратная рамка, изготовленная из тонкой однородной проволоки, помещена в однородное магнитное поле. Сопротивление рамки, измеренное между вершинами, лежащими на одной диагонали,  $R = 0,80$  Ом. Определите время, за которое магнитный поток через поверхность, ограниченную рамкой, изменился от  $\Phi_1 = 47$  мВб до  $\Phi_2 = 15$  мВб, если в течение этого времени сила индукционного тока в рамке была  $I_{\text{инд}} = 0,20$  А.
- 1134.** Проволочное кольцо радиусом  $r = 5,0$  см помещают в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости кольца. Модуль индукции магнитного поля  $B = 8,0$  мТл. Сопротивление единицы длины кольца  $\mu = 4,0 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$ . Определите среднюю силу индукционного тока в кольце, если его повернуть за время  $\Delta t = 75$  мс вокруг оси, совпадающей с диаметром кольца, на угол  $\theta = 120^\circ$ .
- 1135.** Круговой и квадратный контуры, изготовленные из одинаковых кусков проволоки, расположены в одной плоскости в однородном магнитном поле, которое изменяется с течением времени. Определите отношение индукционных токов в контурах.

**1136.** Два кольца из медных проволок одинаковой массы, но разного поперечного сечения расположены в одной плоскости в однородном магнитном поле, индукция которого равномерно уменьшается. Определите силу индукционного тока в кольце, изготовленном из тонкой проволоки, если в другом кольце, изготовленном из толстой проволоки, сила индукционного тока  $I_{\text{инд}2} = 1,0$  мА.

**1137.** Замкнутый проволочный контур, имеющий вид восьмерки, помещен в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости контура. Считая петли восьмерки окружностями радиусами  $r_1 = 30$  мм и  $r_2 = 70$  мм, определите силу индукционного тока, который будет протекать по проволоке при убывании модуля индукции магнитного поля со скоростью  $\frac{\Delta B}{\Delta t} = -3,0 \frac{\text{мТл}}{\text{с}}$ . Сопротивление единицы длины проволоки  $\mu = 2,0 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$ . Нормали, проведенные к плоскостям кругов восьмерки, направлены противоположно друг другу. Проволока покрыта изоляционным лаком.

**1138.** Замкнутый проволочный контур в виде квадрата помещен в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны поверхности, ограниченной контуром. При равномерном изменении индукции магнитного поля в контуре возникает индукционный ток  $I_{\text{инд}1} = 1,8$  мА. Контур трансформировали в два квадрата (рис. 273), отношение длин сторон которых  $k = 2,0$ . При этом плоскость, в которой находится контур, осталась неизменной. Определите индукционный ток в новом контуре.

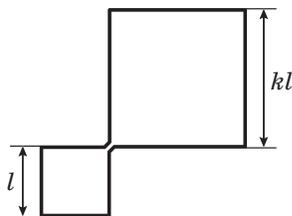


Рис. 273

- 1139.** Катушка, концы которой соединены накоротко, изготовлена из медной проволоки площадью поперечного сечения  $S = 0,12 \text{ мм}^2$ . Модуль индукции однородного магнитного поля, в котором находится катушка, равномерно увеличился от  $B_1 = 15 \text{ мТл}$  до  $B_2 = 35 \text{ мТл}$ . Определите модуль заряда, прошедшего по виткам катушки, если радиус каждого витка  $r = 17 \text{ см}$ . Линии индукции магнитного поля перпендикулярны поверхностям, ограниченными витками.
- 1140.** Проволочный виток расположен перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. За промежуток времени  $\Delta t = 0,1 \text{ с}$  модуль индукции магнитного поля изменился от  $B_1 = 0,2 \text{ Тл}$  до  $B_2 = 0,1 \text{ Тл}$ . Определите работу сторонних сил по переносу заряда  $|q| = 5 \text{ мКл}$  через поперечное сечение проволоки. Площадь плоской поверхности, ограниченной витком,  $S = 4 \text{ см}^2$ .
- 1141.** Плоский проволочный виток расположен перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. При повороте витка на угол  $\theta_1 = 180^\circ$  в витке прошел заряд  $|q_1| = 7,2 \text{ мКл}$ . Определите модуль заряда, прошедшего в витке при повороте его из первоначального положения на угол  $\theta_2 = 60^\circ$ .
- 1142.** Сначала квадрат, изготовленный из проволоки длиной  $l = 80 \text{ мм}$  и сопротивлением  $R = 5,0 \text{ Ом}$ , поместили в однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 0,20 \text{ Тл}$ . Линии индукции магнитного поля перпендикулярны поверхности, ограниченной квадратом. Затем, не изменяя плоскости трансформации, деформировали его в прямоугольник с отношением сторон  $1 : 3$ . Определите число электронов, прошедших через поперечное сечение проволоки, если площадь контура изменялась равномерно.
- 1143.** Проводящее кольцо радиусом  $r = 5,0 \text{ см}$  находится в однородном магнитном поле, линии индукции кото-

рого перпендикулярны плоскости, ограниченной кольцом. Модуль индукции магнитного поля  $B = 8,0$  мТл. Сопротивление единицы длины кольца  $\mu = 2,0 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}$ . Определите модуль заряда, прошедшего по кольцу, если его повернули вокруг оси, совпадающей с диаметром кольца, на угол  $\theta = 180^\circ$ .

- 1144.** Тонкий изолированный медный провод массой  $m = 1,2$  г согнут в виде квадрата и помещен в однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 20$  мТл. Линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости, ограниченной кольцом. Определите модуль заряда, который пройдет по проводу, если квадрат потянуть за две диагонально расположенные вершины так, что он превратится в прямую линию.
- 1145.** Проволочный контур в виде гибкого кольца радиусом  $r = 10$  см, покрытый изоляцией, находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 0,05$  Тл. Линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости контура. Кольцо деформировали так, что оно приняло форму восьмерки, состоящей из двух одинаковых колец. При деформации контур оставался в одной плоскости, а магнитный поток через него изменялся равномерно. Определите сопротивление проволоки, если модуль заряда, прошедшего через ее поперечное сечение,  $|q| = 8$  мКл.
- 1146.** В однородном магнитном поле, модуль индукции которого  $B = 54$  мТл, находится квадратная рамка со стороной  $l = 20$  см, изготовленная из алюминиевой проволоки поперечным сечением  $S_c = 8,0$  мм<sup>2</sup>. Линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости рамки. Рамку деформировали, придав ей форму ромба площадью  $S_p = 0,40l^2$ . При деформации плоскость рамки не изменялась. Определите модуль заряда, прошедшего по проволоке за время деформации рамки.

- 1147.** Замкнутая квадратная рамка со стороной  $a = 30$  см изготовлена из гибкой проволоки и расположена в однородном магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости рамки. Сопротивление проволоки  $R = 1,0$  Ом. Модуль индукции магнитного поля  $B = 1,0$  Тл. Определите модуль заряда, прошедшего по проволоке, если, не меняя плоскости расположения и не размыкая концы проволоки, придать ей форму: а) окружности; б) прямоугольника с отношением сторон  $1 : 2$ ; в) прямой линии.
- 1148.** Квадратная рамка, изготовленная из тонкой однородной проволоки, помещена в однородное магнитное поле, магнитный поток которого через поверхность, ограниченную рамкой,  $\Phi_1 = 50$  мВб. Сопротивление, измеренное между соседними вершинами рамки,  $R_0 = 2,5$  Ом. Определите модуль заряда, прошедшего через поперечное сечение проволоки, если магнитный поток равномерно уменьшился на  $\eta = 40$  %.
- 1149.** Соленоид, содержащий  $N = 1000$  витков медной проволоки, площадь поперечного сечения которой  $S = 0,20$  мм<sup>2</sup>, находится в однородном магнитном поле. Концы проволоки замкнуты между собой. Вектор индукции магнитного поля параллелен оси соленоида. Диаметр каждого витка соленоида  $D = 5,0$  см. Определите тепловую мощность, выделяющуюся в проволоке, если модуль индукции магнитного поля убывает со скоростью  $\frac{\Delta B}{\Delta t} = -10 \frac{\text{мТл}}{\text{с}}$ .
- 1150.** Проволочное кольцо площадью  $S = 0,080$  м<sup>2</sup> и сопротивлением  $R = 4,0$  мОм помещено в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости кольца. Определите количество теплоты, выделившееся в кольце за время  $\tau = 0,10$  с, если модуль индукции магнитного поля убывает со скоростью  $\frac{\Delta B}{\Delta t} = -10 \frac{\text{мТл}}{\text{с}}$ .

- 1151.** Замкнутая катушка, состоящая из  $N = 100$  витков проволоки, помещена в однородное магнитное поле, вектор индукции которого параллелен оси катушки. Площадь плоской поверхности, ограниченной каждым витком,  $S = 10 \text{ см}^2$ . За время  $\Delta t = 0,1 \text{ с}$ , в течение которого модуль индукции магнитного поля равномерно уменьшился от  $B_1 = 0,24 \text{ Тл}$  до  $B_2 = 0,14 \text{ Тл}$ , в проволоке выделилось количество теплоты  $Q = 1 \text{ мДж}$ . Определите сопротивление проволоки.
- 1152.** Из проволоки сопротивлением  $R = 0,2 \text{ Ом}$  и длиной  $l = 0,5 \text{ м}$  изготовили кольцо и поместили его в однородное магнитное поле, модуль индукции которого изменяется со временем по закону:  $B(t) = At$ , где  $A = 0,1 \frac{\text{Тл}}{\text{с}}$ . Определите мощность, выделяющуюся в проволоке, если плоскость кольца перпендикулярна линиям индукции магнитного поля.
- 1153.** На рисунке 274 представлен график зависимости магнитного потока, пронизывающего поверхность, ограниченную проволочным кольцом, от времени. Определите количество теплоты, выделяющееся в кольце за время существования тока в нем, если сопротивление проволоки  $R = 75 \text{ мОм}$ .
- 1154.** На рисунке 275 представлен график зависимости магнитного потока, пронизывающего проволочный виток сопротивлением  $R = 30 \text{ мОм}$ , от времени. Постройте график зависимости мощности индукционного тока, выделяющейся в витке, от времени.

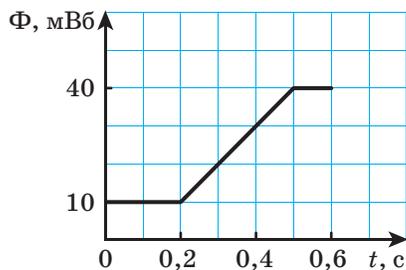


Рис. 274

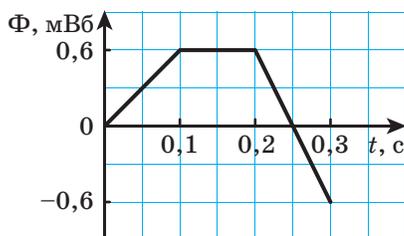


Рис. 275

- 1155.** Проволочное кольцо диаметром  $d$  и сопротивлением  $R$  помещено в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости кольца. На рисунке 276 представлен график зависимости модуля индукции магнитного поля от времени. Определите количество теплоты, выделившееся в кольце за все время изменения индукции магнитного поля.

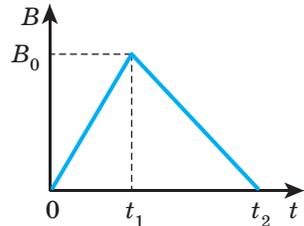


Рис. 276

- 1156.** Соленоид, содержащий  $N = 800$  витков проволоки, радиус поперечного сечения которой  $r = 1,0$  мм, находится в однородном магнитном поле. Концы проволоки замкнуты между собой. Вектор индукции магнитного поля параллелен оси соленоида. Модуль индукции равномерно убывает от  $B_1 = 0,40$  Тл до нуля за время  $\tau = 2,0$  мс. Диаметр каждого витка соленоида  $D = 4,0$  см. Удельное сопротивление материала проволоки  $\rho = 5,0 \cdot 10^{-8}$  Ом  $\cdot$  м, удельная теплоемкость материала проволоки  $c = 250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ , масса проволоки  $m = 128$  г. Определите изменение температуры проволоки за время убывания магнитного поля. Потерями энергии пренебречь.
- 1157.** Проволочный контур в форме квадрата со стороной  $a = 5,0$  см помещен в однородное магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 0,80$  Тл. Линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости квадрата. Сопротивление единицы длины проволоки  $\mu = 0,40 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$ . Масса проволоки  $m = 8$  г. Удельная теплоемкость вещества проволоки  $c = 120 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ . Определите изменение

температуры проволоки, если контур за время  $\tau = 0,2$  с повернуть на угол  $\theta = 180^\circ$  так, что магнитный поток через контур будет изменяться равномерно. Потерями тепловой энергии пренебречь.

**1158.** В однородном магнитном поле находится катушка, состоящая из  $N = 1000$  одинаковых проволочных витков квадратной формы. За промежуток времени  $\Delta t = 0,1$  с модуль индукции магнитного поля, линии индукции которого перпендикулярны плоскости витков, изменяется на  $\Delta B = 0,02$  Тл. В результате чего в проволоке за этот промежуток времени выделяется  $Q = 0,05$  Дж теплоты. Площадь поперечного сечения проволоки  $S_0 = 1$  мм<sup>2</sup>. Удельное сопротивление вещества проволоки  $\rho = 2 \cdot 10^{-8}$  Ом · м. Определите длину стороны каждого витка.

**1159.** Квадратная проволочная рамка со стороной  $a = 2$  см помещена в однородное магнитное поле (рис. 277), модуль индукции которого  $B = 0,1$  Тл. Линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости рамки. Сопротивление проволоки  $R = 0,4$  Ом. Рамку выдвигают из магнитного поля со скоростью, модуль которой  $v = 10 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ , перпендикулярно линиям индукции

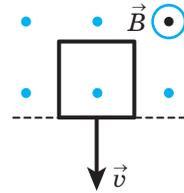


Рис. 277

и границе магнитного поля. Определите количество теплоты, выделяющееся в рамке за время ее выхода из области магнитного поля.

**1160.** Квадратная проволочная рамка со стороной  $a = 20$  мм пересекает с постоянной скоростью, модуль которой  $v = 10 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ , область однородного магнитного поля (рис. 278), модуль индукции которого  $B = 1,0$  Тл.

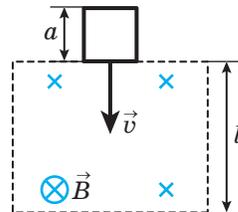


Рис. 278

Ширина поля  $l = 10$  см. Сопротивление проволоки  $R = 20$  мОм. Постройте график зависимости ЭДС индукции, возникающей в рамке, от времени ее движения в магнитном поле. Определите количество теплоты, выделяющееся в проволоке за время пересечения рамкой области магнитного поля. Линии индукции перпендикулярны плоскости рамки.

### 24. Явление самоиндукции. Индуктивность. Энергия магнитного поля катушки с током

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Собственный магнитный поток	$\Phi = LI$	$\Phi$ — собственный магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром, в котором протекает электрический ток; $L$ — индуктивность контура; $I$ — сила тока в контуре
Закон электромагнитной индукции для самоиндукции	$\mathcal{E}_c = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$	$\mathcal{E}_c$ — ЭДС самоиндукции; $L$ — индуктивность контура; $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ — скорость изменения силы тока в контуре
Энергия магнитного поля катушки с током	$W_m = \frac{LI^2}{2}$	$W_m$ — энергия магнитного поля катушки с током; $L$ — индуктивность катушки; $I$ — сила тока в катушке

**1161.** Определите индуктивность проводящего контура, если при силе тока  $I = 4,0$  А поверхность, ограниченную контуром, пронизывает собственный магнитный поток  $\Phi = 14$  мВб.

- 1162.** Определите силу тока в проводящем контуре, индуктивность которого  $L = 84$  мГн, если собственный магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром,  $\Phi = 0,21$  Вб.
- 1163.** Зависимость индуктивности  $L$  гибкого проволочного витка, подвергнувшегося деформации, от времени  $t$  имеет вид:  $L = A + Bt$ , где  $A = 50$  мкГн,  $B = -1,6 \frac{\text{мкГн}}{\text{с}}$ . Определите изменение собственного магнитного потока через поверхность, ограниченную витком, за промежуток времени  $\Delta t = 25$  с. Сила тока, протекающего в витке, оставалась неизменной  $I = 17$  мА.
- 1164.** Зависимость силы тока  $I$ , протекающего в кольце, от времени  $t$  имеет вид:  $I = C + Dt$ , где  $C = 1,8$  А,  $D = 0,24 \frac{\text{А}}{\text{с}}$ . Определите магнитный поток через поверхность, ограниченную кольцом, в момент времени  $t = 5,0$  с, если начальный собственный магнитный поток  $\Phi_0 = 0,54$  мВб.
- 1165.** Определите индуктивность неподвижного соленоида, имеющего  $N = 100$  витков, если при изменении силы тока в нем от  $I_1 = 5$  А до  $I_2 = 25$  А магнитный поток через поверхность, ограниченную каждым витком, изменился на  $\Delta\Phi = 0,01$  Вб.
- 1166.** Начальное напряжение на концах катушки, состоящей из  $N = 200$  витков,  $U_1 = 2,0$  В. Затем напряжение на катушке увеличили до  $U_2 = 12,0$  В. Определите индуктивность катушки, если магнитный поток через поверхность каждого витка катушки увеличился на  $\Delta\Phi = 5,0$  мВб. Сопротивление проволоки катушки  $R = 4,0$  Ом.
- 1167.** На рисунке 279 представлен график зависимости силы тока в катушке, включенной в электрическую цепь, от времени. В какие промежутки времени в катушке возникала ЭДС самоиндукции?

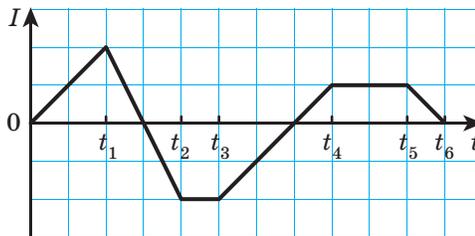


Рис. 279

- 1168.** В катушке и лампочке, соединенных параллельно (рис. 280, а), протекает электрический ток. На рисунке 280, б представлен график зависимости силы тока в катушке от времени. В какой промежуток времени лампочка светит наиболее ярко?

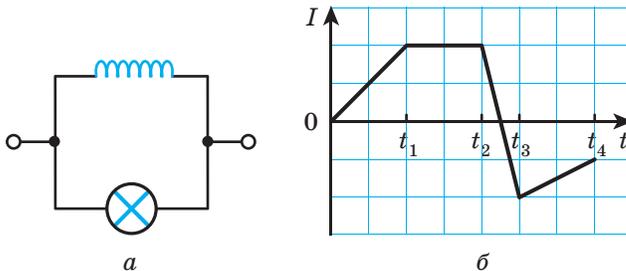


Рис. 280

- 1169.** На рисунке 281 представлен график зависимости силы тока, протекающего в катушке индуктивностью  $L = 2,5$  мГн, от времени. Определите ЭДС самоиндукции, возникающей в катушке в момент времени  $t = 0,5$  с.

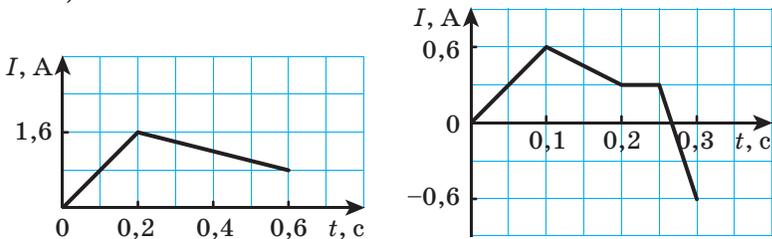


Рис. 281

Рис. 282

1170. На рисунке 282 представлен график зависимости силы тока в катушке индуктивностью  $L = 0,40$  мГн от времени. Постройте график зависимости ЭДС самоиндукции, возникающей в катушке, от времени.
1171. Определите индуктивность соленоида, в котором за промежуток времени  $\Delta t = 0,4$  с сила тока равномерно уменьшилась от  $I_1 = 5$  А до  $I_2 = 2$  А и при этом возникла ЭДС самоиндукции  $\mathcal{E}_c = 0,45$  В.
1172. По катушке индуктивностью  $L = 3,0$  мГн течет ток  $I = 0,60$  А. При размыкании цепи сила тока изменяется до нуля за промежуток времени  $\Delta t = 1,0$  мс. Определите среднее значение ЭДС самоиндукции, возникающей в катушке.
1173. Определите промежуток времени, за который в катушке индуктивностью  $L = 35$  мГн сила тока равномерно увеличилась от нуля до  $I = 2,6$  А, если в катушке возникла средняя ЭДС самоиндукции  $\langle \mathcal{E}_c \rangle = -1,3$  В.
1174. Определите индуктивность неподвижной катушки, если при скорости изменения силы тока  $\frac{\Delta I}{\Delta t} = -0,2 \frac{\text{А}}{\text{с}}$  в ней возникает ЭДС самоиндукции  $\mathcal{E}_c = 20$  мВ.
1175. Соленоид содержит  $N = 1000$  витков проволоки. Площадь поперечного сечения сердечника, заполняющего все пространство в соленоиде,  $S = 10$  см<sup>2</sup>. По проволоке соленоида течет электрический ток, создающий в сердечнике магнитное поле, модуль индукции которого  $B = 1,5$  мТл. Определите среднее значение ЭДС самоиндукции, возникающей в соленоиде, если силу тока уменьшить до нуля за промежуток времени  $\Delta t = 0,50$  мс.
1176. \*Сколько витков провода диаметром  $d$  с изоляцией ничтожной толщины нужно намотать на диэлектрический цилиндр, чтобы получить однослойную катушку индуктивностью  $L$ ? Витки вплотную прилегают друг к другу. Средний диаметр витка равен  $D$ . С какой

скоростью должен равномерно изменяться электрический ток в полученной неподвижной катушке, чтобы ЭДС самоиндукции, возникающая в ней, была равна  $\mathcal{E}_c$ ?

**1177.** На катушке сопротивлением  $R = 8,2$  Ом и индуктивностью  $L = 20$  мГн поддерживается постоянное напряжение  $U_0 = 41$  В. Определите энергию магнитного поля в катушке.

**1178.** Определите энергию магнитного поля в соленоиде, в котором при силе тока  $I = 10$  А возникает магнитный поток  $\Phi = 0,60$  Вб.

**1179.** На рисунке 283 представлен график зависимости силы тока  $I$  в соленоиде от времени  $t$ . Определите энергию магнитного поля в соленоиде в момент времени  $t = 0,20$  с, если в соленоиде возникает ЭДС самоиндукции  $\mathcal{E}_c = 0,30$  В.

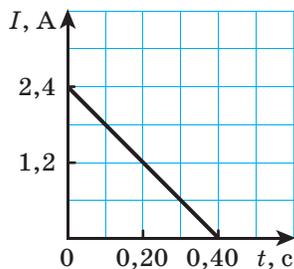


Рис. 283

**1180.** В катушке сила тока равномерно уменьшилась от  $I_1 = 4,0$  А до  $I_2 = 1,0$  А за промежуток времени  $\Delta t = 0,50$  с. Определите энергию магнитного поля в катушке в начальный момент времени, если в катушке возникла ЭДС самоиндукции  $\mathcal{E}_c = 1,5$  В.

**1181.** Сила тока, протекающего в катушке,  $I = 20$  А. Определите ее индуктивность, если при равномерном уменьшении тока энергия магнитного поля в катушке за промежуток времени  $\Delta t = 1$  с уменьшается в  $n = 4$  раза, а возникающая при этом ЭДС самоиндукции  $\mathcal{E}_c = 0,1$  В.

**1182.** Сопротивление обмотки соленоида, подключенного к источнику постоянного тока,  $R = 20$  Ом. Определите индуктивность соленоида, если за промежуток времени  $\Delta t = 14$  мс в обмотке соленоида выделяется количество теплоты, равное энергии магнитного поля в соленоиде.

- 1183.** Определите ЭДС самоиндукции, возникшей в неподвижном соленоиде, в котором за промежуток времени  $\Delta t = 0,5$  с энергия магнитного поля равномерно уменьшилась в  $n = 9$  раз. Индуктивность соленоида  $L = 0,01$  Гн, первоначальная сила тока в нем  $I_0 = 15$  А.
- 1184.** Определите индуктивность соленоида, в котором при равномерном увеличении тока на  $\Delta I = 2$  А энергия магнитного поля увеличивается на  $\Delta W = 0,01$  Дж. Начальная сила тока в соленоиде  $I_1 = 4$  А.
- 1185.** Катушка индуктивностью  $L = 0,30$  Гн соединена параллельно с резистором сопротивлением  $R_p = 2,0$  Ом и подключена к источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 4,0$  В и внутренним сопротивлением  $r = 0,60$  Ом (рис. 284). Определите количество теплоты, выделившееся в резисторе после размыкания ключа  $K$ . Сопротивление проволоки катушки  $R_k = 0,50$  Ом.
- 1186.** В электрическую цепь, схема которой показана на рисунке 285, включены источник тока, резистор и катушка индуктивностью  $L = 60$  мкГн. В катушке при замкнутом ключе протекает ток  $I = 2,0$  А. При размыкании ключа  $K$  сила тока в катушке уменьшается до нуля за промежуток времени  $\Delta t = 120$  мкс. Определите среднюю ЭДС самоиндукции, возникающую в катушке, и общее количество теплоты, которое выделяется в катушке и резисторе.
- 1187.** В электрической цепи, схема которой показана на рисунке 286, ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 12$  В, емкость

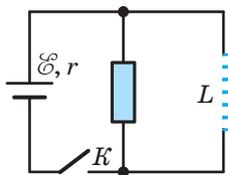


Рис. 284

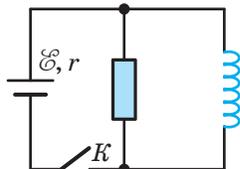


Рис. 285

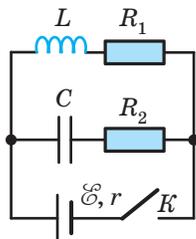


Рис. 286

конденсатора  $C = 2,0$  мФ, индуктивность катушки  $L = 4,0$  мГн, сопротивления резисторов  $R_1 = 4,0$  Ом и  $R_2 = 5,0$  Ом. В начальный момент ключ  $K$  замкнут. Определите количество теплоты, которое выделится во втором резисторе после размыкания ключа. Внутренним сопротивлением источника тока и сопротивлением катушки пренебречь.

**1188.** На рисунке 287 представлена схема электрической цепи, в которую включены три резистора сопротивлениями  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 60$  Ом,  $R_3 = 40$  Ом, катушка индуктивностью  $L = 20$  мГн. Сначала ключ  $K$  был замкнут. После размыкания ключа в первом резисторе выделилось количество теплоты  $Q_1 = 0,70$  мДж. Определите ЭДС источника тока, если сопротивления катушки и источника тока пренебречь.

**1189.** На рисунке 288 представлена схема электрической цепи, в которую включены три резистора сопротивлениями  $R_1 = 20$  Ом,  $R_2 = 30$  Ом,  $R_3 = 40$  Ом, катушка индуктивности и источник тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 8,0$  В. Сначала ключ  $K$  был замкнут. После размыкания ключа в первом резисторе выделилось количество теплоты  $Q_1 = 30$  мкДж. Определите индуктивность катушки, если сопротивлениями катушки и источника тока пренебречь.

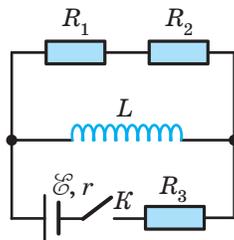


Рис. 287

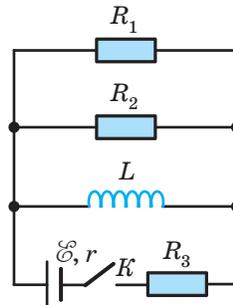


Рис. 288

- 1190.** Электрическая цепь (рис. 289) состоит из источника тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 4,0$  В, двух резисторов сопротивлениями  $R_1 = 2,0$  Ом,  $R_2 = 3,0$  Ом, катушки индуктивностью  $L = 6,0$  мГн и конденсатора емкостью  $C = 2,5$  мФ. В начальный момент времени ключ  $K$  был замкнут и в цепи протекал постоянный ток. Определите количество теплоты, которое выделится в первом резисторе после размыкания ключа. Внутренним сопротивлением источника тока и сопротивлением катушки пренебречь.

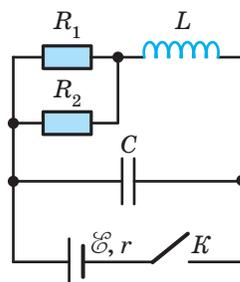
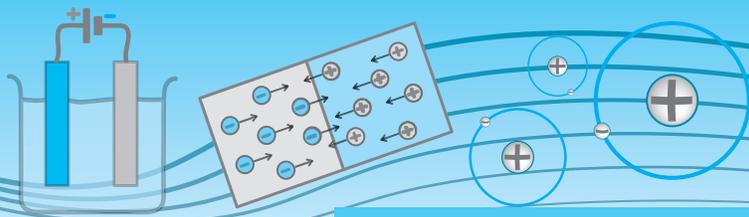


Рис. 289



## VI. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

### 25. Электрический ток в металлах

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Сопротивление проводника	$*R = R_0(1 + \alpha\Delta t)$	$R$ и $R_0$ — сопротивление проводника при температуре $t$ и температуре $t_0 = 0^\circ\text{C}$ соответственно; $\Delta t = t - t_0$ — изменение температуры проводника; $\alpha$ — температурный коэффициент сопротивления вещества
Температурный коэффициент сопротивления	$*\alpha = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0\Delta t}$	$\rho$ и $\rho_0$ — удельное сопротивление вещества проводника при температуре $t$ и температуре $t_0 = 0^\circ\text{C}$ соответственно

- 1191.** Через длинную проволоку пропускают электрический ток. Если одну половину проволоки обдуть холодным воздухом, то вторая половина проволоки накаляется сильнее. Поясните это явление.
- 1192.** Если в электрическую цепь включен проволочный реостат, то через некоторое время показания амперметра, включенного в эту же цепь, уменьшаются. Почему?

1193. \*При температуре  $t = 52\text{ }^\circ\text{C}$  сопротивление проводника  $R = 6,3\text{ }\Omega$ , а при температуре  $t_0 = 0\text{ }^\circ\text{C}$  его сопротивление  $R_0 = 5,0\text{ }\Omega$ . Определите температурный коэффициент сопротивления вещества проводника.
1194. \*При какой температуре сопротивление серебряного проводника в  $k = 2$  раза превышает его сопротивление при температуре  $t_0 = 0\text{ }^\circ\text{C}$ ?
1195. \*При какой температуре сопротивление константанового проводника будет на  $\gamma = 1,0\%$  больше, чем при температуре  $t_0 = 0\text{ }^\circ\text{C}$ ?
1196. \*Вольфрамовая проволока при температуре  $t_1 = 2000\text{ }^\circ\text{C}$  имеет сопротивление  $R_1 = 204\text{ }\Omega$ . Определите ее сопротивление при температуре  $t_2 = 20\text{ }^\circ\text{C}$ .
1197. \*При температуре  $t_1 = 10\text{ }^\circ\text{C}$  удельное сопротивление алюминиевого провода  $\rho_1 = 2,8 \cdot 10^{-8}\text{ }\Omega \cdot \text{м}$ . Определите удельное сопротивление этого провода при температуре  $t_2 = 80\text{ }^\circ\text{C}$ .
1198. \*Платиновая проволока термометра сопротивления при температуре  $t_1 = 10\text{ }^\circ\text{C}$  обладает сопротивлением  $R_1 = 10,4\text{ }\Omega$ . Определите температуру, при которой сопротивление проволоки  $R_2 = 12,0\text{ }\Omega$ .
1199. \*Определите температуру вольфрамовой нити накаливания лампы в момент ее подключения к источнику постоянного напряжения, если сила тока в этот момент в  $n = 12$  раз превышает силу тока в установившемся рабочем режиме, которому соответствует температура нити накаливания лампы  $t_2 = 2500\text{ }^\circ\text{C}$ .
1200. \*Определите температуру вольфрамовой проволоки, подключенной к источнику тока с напряжением  $U = 90\text{ В}$ , если по ней проходит ток  $I = 0,55\text{ А}$ . При температуре  $t_1 = 20\text{ }^\circ\text{C}$  сопротивление вольфрамовой проволоки  $R_1 = 36\text{ }\Omega$ .

- 1201.** \*При погружении катушки из медной проволоки в тающий лед ( $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) сила тока в проволоке была  $I_0 = 14 \text{ мА}$ , а при опускании ее в кипяток ( $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) сила тока стала  $I = 10 \text{ мА}$ . Определите по этим данным температурный коэффициент сопротивления меди. Напряжение на концах проволоки оставалось постоянным.
- 1202.** \*Нихромовая спираль нагревательного прибора должна иметь сопротивление  $R = 30 \text{ Ом}$  при температуре  $t = 900 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определите длину проволоки, взятой для изготовления спирали, если площадь поперечного сечения проволоки  $S = 0,30 \text{ мм}^2$ .
- 1203.** \*Напряжение на вольфрамовой проволоке длиной  $l = 1,5 \text{ м}$  составляет  $U = 12,1 \text{ В}$ . Площадь поперечного сечения проволоки  $S = 0,30 \text{ мм}^2$ . Определите силу тока в проволоке, если ее температура  $t = 2000 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- 1204.** \*Определите, на сколько процентов уменьшится мощность, потребляемая электромагнитом, обмотка которого выполнена из медной проволоки, при увеличении ее температуры от  $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $t = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ . Напряжение на концах обмотки поддерживается постоянным.
- 1205.** \*Угольный стержень соединен последовательно с железным стержнем такого же поперечного сечения. Определите отношение длин стержней, если их общее сопротивление не зависит от температуры. Температурный коэффициент сопротивления угля  $\alpha_{\text{уг}} = -0,0008 \text{ К}^{-1}$ , железа —  $\alpha_{\text{ж}} = 0,006 \text{ К}^{-1}$ . При температуре  $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  удельное сопротивление угля  $\rho_{\text{уг}} = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , удельное сопротивление железа  $\rho_{\text{ж}} = 9,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

## 26. Электрический ток в жидкостях

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Закон электролиза Фарадея	$*m = kI\Delta t$	$m$ — масса вещества, выделившегося на электроде; $k$ — электрохимический эквивалент вещества; $I$ — сила тока, протекающего в электролите; $\Delta t$ — промежуток времени, в течение которого электрический ток протекает через электролит
Электрохимический эквивалент вещества	$*k = \frac{M}{neN_A}$	$k$ — электрохимический эквивалент вещества; $M$ — молярная масса вещества; $n$ — валентность иона; $e$ — элементарный заряд; $N_A$ — постоянная Авогадро

- 1206.** Могут ли при электролитической диссоциации образовываться ионы одного знака? Ответ поясните.
- 1207.** Почему вокруг электролита, например раствора поваренной соли, нет электрического поля, хотя в электролите содержатся заряженные ионы?
- 1208.** Электрическая лампочка включена в цепь последовательно с электролитической ванной, наполненной слабым раствором поваренной соли. Изменится ли накал лампочки, если добавить в раствор еще некоторое количество соли?
- 1209.** Как, используя источник постоянного тока, весы с разновесом, электролитическую ванну, заполненную раствором медного купороса, секундомер и соединительные провода, проверить правильность показаний амперметра?

- 1210.** Две одинаковые электролитические ванны наполнены раствором хлорида никеля ( $\text{NiCl}_2$ ). Концентрация раствора в первой ванне больше, чем во второй. В какой из ванн выделится больше никеля, если их соединить: а) последовательно; б) параллельно?
- 1211.** Две одинаковые электролитические ванны соединены между собой последовательно. В одной из них находится раствор хлорида меди ( $\text{CuCl}$ ), в другой — раствор дихлорида меди ( $\text{CuCl}_2$ ). В какой из ванн на катоде выделится больше меди?
- 1212.** При нанесении металлических покрытий на предметы с помощью электролиза иногда в конце процесса изменяют направление тока на противоположное. В результате поверхность становится более гладкой. Почему?
- 1213.** \*На рисунке 290 показаны графики зависимости массы двух различных веществ, выделившихся на электродах при электролизе, от времени. Какой график соответствует веществу с большим электрохимическим эквивалентом, если сила тока, проходящего через электролиты, была одинакова?

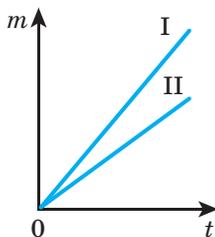


Рис. 290

- 1214.** Сначала последовательно соединили источник тока, амперметр и электролитическую ванну, наполненную раствором медного купороса, в который частично погружены угольные электроды. Затем по цепи пропустили электрический ток. Как изменится масса меди, выделяющаяся на катоде за одинаковый промежуток времени, если: а) уменьшить погруженную часть катода; б) увеличить напряжение между электродами; в) долить электролита той же концентрации; г) увеличить концентрацию раствора; д) нагреть раствор электролита?

- 1215.** В трех сосудах (рис. 291) находятся электролиты: в первом — раствор  $\text{HCl}$ , во втором —  $\text{CuCl}_2$ , в третьем —  $\text{CuSO}_4$ . Какие вещества будут осаждаться (выделяться) на электродах при прохождении электрического тока через эти электролиты? Одинаковая ли масса хлора выделится на электродах I и II сосудов?
- 1216.** Четыре электрода погружены в раствор сульфата меди (рис. 292). Площади катодов  $A$ ,  $B$ ,  $C$  одинаковы и в сумме равны площади анода  $D$ . Одинаковое ли количество меди выделяется на катодах при электролизе?

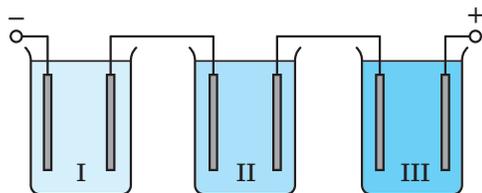


Рис. 291

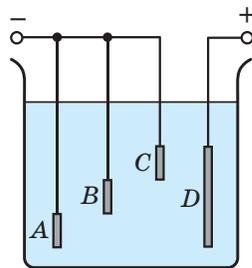


Рис. 292

- 1217.** \*Определите массу серебра, выделившегося на катоде электролитической ванны при электролизе, если через электролит прошел заряд  $q = 25$  кКл.
- 1218.** \*Определите массу никеля, который выделится при электролизе за время  $t = 1,0$  ч при силе тока  $I = 10$  А.
- 1219.** \*При электролизе раствора  $\text{ZnSO}_4$  была затрачена энергия  $W = 7,2$  МДж. Определите массу цинка, выделившегося на катоде электролитической ванны, если напряжение между электродами ванны  $U = 4,0$  В.
- 1220.** \*Определите массу серебра, выделившегося на катоде при электролизе азотнокислого серебра за время  $t = 2,0$  ч, если к электродам электролитической ванны приложено напряжение  $U = 15$  В, а сопротивление электролита  $R = 7,0$  Ом.

1221. \*Определите время хромирования детали теплового двигателя, если на детали образовался слой хрома массой  $m = 3,6$  г. Сила тока при электролизе  $I = 20$  А.
1222. \*В процессе электролиза водного раствора серной кислоты ( $H_2SO_4$ ) при силе тока  $I = 2,0$  А выделяется  $\nu = 0,020$  моль молекул водорода. Определите, в течение какого времени проходил электролиз.
1223. \*При электролитическом покрытии цепочки серебром на ней за время  $t = 30$  мин отложилось серебро массой  $m = 5,04$  г. Определите силу тока при электролизе серебра.
1224. \*Какая мощность расходуется на нагревание раствора соли золота, если за промежуток времени  $\Delta t = 6,0$  ч из него выделяется в процессе электролиза золото массой  $m = 120$  г? Сопротивление раствора  $R = 1,2$  Ом.
1225. \*Определите силу тока, которую необходимо пропустить через водный раствор азотнокислого никеля, чтобы на поверхности площадью  $S = 0,36$  м<sup>2</sup> за промежуток времени  $\Delta t = 60$  мин отложился слой никеля толщиной  $h = 3,5$  мкм.
1226. \*При электролизе водного раствора сульфата меди на катоде электролитической ванны выделялась медь. Постройте график зависимости массы меди, выделяющейся на катоде, от времени, если электролиз продолжался в течение промежутка времени  $\Delta t = 20$  мин. При этом через раствор прошел заряд  $q = 6$  кКл.
1227. \*Считая электрохимический эквивалент натрия неизвестным, определите его, если молярная масса натрия  $M = 23 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ , его валентность  $n = 1$ .
1228. \*При электролизе за промежуток времени  $\Delta t = 20$  мин при силе тока  $I = 2,5$  А на катоде выделилось  $m = 1017$  мг двухвалентного металла. Определите молярную массу металла.

1229. \*Последовательно с электролитической ванной, заполненной раствором соли никеля, включена ванна, в которой находится раствор соли хрома. За время электролиза в первой ванне выделилось  $m_1 = 10$  г никеля. Определите массу хрома, выделившегося во второй ванне.
1230. \*Две электролитические ванны с растворами  $\text{AgNO}_3$  и  $\text{CuSO}_4$  соединены последовательно и подключены к источнику постоянного тока на некоторое время. Какая масса меди выделится на катоде второй ванны, если масса серебра, выделившегося на катоде первой ванны,  $m_c = 168$  мг?
1231. \*Две электролитические ванны с растворами  $\text{AgNO}_3$  и  $\text{AuSO}_4$  и сопротивлениями  $R_1 = 12$  Ом и  $R_2 = 18$  Ом соответственно соединены параллельно и подключены к источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E} = 21,6$  В, а внутреннее сопротивление  $r = 3,6$  Ом. Какая масса серебра и масса золота выделится на катодах за промежуток времени  $\Delta t = 4,0$  ч?
1232. \*Две электролитические ванны, содержащие раствор  $\text{AgNO}_3$  и имеющие различное сопротивление, соединены параллельно. К ним последовательно подключена третья ванна, содержащая раствор  $\text{CuSO}_4$ . Определите массу серебра, выделившегося в первой ванне, если во второй выделилось  $m_2 = 60,4$  мг серебра, а в третьей —  $m_3 = 41,5$  мг меди.
1233. \*Амперметр, включенный последовательно с электролитической ванной, показывает силу тока  $I = 1,5$  А. Какую поправку надо внести в показание амперметра, если за время  $t = 10$  мин на катоде отложилась медь массой  $m = 0,316$  г?
1234. \*Определите массу алюминия, выделившегося за время  $t_0 = 10$  с на катоде электролитической ванны при электролизе раствора соли алюминия, если в течение первого промежутка времени  $\Delta t_1 = 5$  с сила тока

линейно возрастала от  $I_1 = 0$  А до  $I_2 = 3$  А, а в течение следующего промежутка времени  $\Delta t_2 = 5$  с — линейно убывала до  $I_3 = 1$  А.

- 1235.** \*Какая масса меди выделится за время  $t_0 = 15$  с на катоде электролитической ванны при электролизе раствора медного купороса, если в течение первого промежутка времени  $\Delta t_1 = 5$  с сила тока линейно возрастает от  $I_1 = 0$  А до  $I_2 = 3$  А и остается постоянной в течение следующего промежутка времени  $\Delta t_2 = 5$  с, а затем в течение последнего промежутка  $\Delta t_3 = 5$  с линейно убывает до  $I_3 = 0$  А?
- 1236.** \*При электролитическом способе получения алюминия используются ванны, в которых напряжение между электродами  $U = 5,0$  В, а мощность тока  $P = 200$  кВт. Определите время, которое требуется для получения алюминия массой  $m = 1,0$  т.
- 1237.** \*Для получения рафинированной двухвалентной меди с помощью электролиза в электролитической ванне, КПД которой  $\eta = 90\%$ , расходуется энергия  $W = 2,0$  ГДж. Определите массу полученной меди, если напряжение на электродах ванны  $U = 11$  В.
- 1238.** \*Определите электроэнергию, расходуемую на получение  $m = 1,0$  кг алюминия, если электролиз ведется при напряжении  $U = 10$  В, а КПД электролитической установки  $\eta = 80\%$ .
- 1239.** \*При электролизе в течение времени  $t = 1,0$  ч через раствор серной кислоты протекал электрический ток  $I = 3,4$  А. Определите абсолютную температуру выделившегося при электролизе водорода, если он был собран в сосуд объемом  $V = 1,5$  л. Давление водорода  $p = 1,0 \cdot 10^5$  Па.
- 1240.** \*Электролиз подкисленной воды, сопротивление которой  $R_0 = 0,94$  Ом, продолжался в течение промежутка времени  $\Delta t = 40$  с при напряжении между электродами  $U = 4,7$  В. Выделившийся водород был собран в баллон

объемом  $V = 0,831$  л. Определите давление водорода в баллоне, если его абсолютная температура  $T = 300$  К.

- 1241.** \*При электролизе подкисленной воды в электролитической ванне электрическим током была совершена работа  $A = 600$  кДж. Напряжение между электродами ванны было  $U = 600$  В. Определите абсолютную температуру выделившегося при электролизе кислорода, если он был собран в сосуд объемом  $V = 0,25$  л. Давление кислорода  $p = 25$  кПа.
- 1242.** \*Электролиз подкисленной воды проводится при силе тока  $I = 10$  А в течение промежутка времени  $\Delta t = 24$  ч. Определите объем, который займет полученный водород при температуре  $t = 0$  °С и давлении  $p = 1,0 \cdot 10^5$  Па.
- 1243.** \*При электролизе подкисленной воды через электролитическую ванну прошел заряд  $q = 30$  кКл. Определите давление выделившегося кислорода, если он был собран в сосуд объемом  $V = 1$  л и находится в этом сосуде при температуре  $T = 312$  К.
- 1244.** \*Определите электроэнергию, которую надо затратить для получения электролитическим способом из раствора серной кислоты водорода, необходимого для заполнения азростата объемом  $V = 25$  м<sup>3</sup> при температуре  $t = 27$  °С и давлении  $p = 1,0 \cdot 10^5$  Па. Электролиз ведется при напряжении  $U = 50$  В. КПД электролитической установки  $\eta = 75$  %.
- 1245.** \*Две электролитические ванны с водными растворами нитрата калия ( $\text{KNO}_3$ ) и сульфата кобальта ( $\text{CoSO}_4$ ) соединены последовательно. Определите отношение массы калия к массе кобальта, выделившихся на катодах этих ванн за один и тот же промежуток времени, если молярная масса калия  $M_1 = 39 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ , кобальта —  $M_2 = 59 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ . Валентность иона калия  $n_1 = 1$ , кобальта —  $n_2 = 2$ .

1246. \*При электролизе раствора серной кислоты за время  $t = 50$  мин выделилось  $m = 0,30$  г водорода. Сопротивление раствора электролита  $R = 0,40$  Ом. Определите модуль напряженности однородного электростатического поля в растворе, созданного заряженными электродами, если расстояние между ними  $d = 20$  см.
1247. \*При электролизе подкисленной воды за промежуток времени  $\Delta t = 50$  мин на катоде электролитической ванны выделился водород массой  $m = 0,30$  г. При этом температура электролита объемом  $V = 2,0$  л повысилась на  $\Delta T = 15$  К. Определите ЭДС источника тока, питающего ванну, если его внутреннее сопротивление  $r = 50$  мОм. Плотность электролита  $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , удельная теплоемкость электролита  $c = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ .
1248. \*К источнику тока, ЭДС которого  $\mathcal{E}$ , а внутреннее сопротивление пренебрежимо мало, подключена электролитическая ванна. В ванне находится электролит плотностью  $\rho$  и объемом  $V$ . При пропускании тока через электролит в течение некоторого времени температура электролита повысилась на  $\Delta t$ . При этом на электроде выделился газ, который закачали в баллон. Молярная масса газа  $M$ . Определите объем газа в баллоне, если его давление  $p$ , абсолютная температура  $T$ . Удельная теплоемкость электролита  $c$ . Электрохимический эквивалент выделившегося газа  $k$ .
1249. \*Параллельно электролитической ванне, содержащей раствор двухвалентной соли меди, подключена катушка индуктивностью  $L = 2$  мГн. Через них пропускают электрический ток. Определите энергию магнитного поля в катушке, если за промежуток времени  $\Delta t = 25$  мин на катоде электролитической ванны выделилась медь

массой  $m = 1,98$  г. Сопротивление проволоки катушки равно сопротивлению электролита.

- 1250.** \*Параллельно электролитической ванне, содержащей раствор соли никеля, подключен конденсатор емкостью  $C = 5,0$  мкФ. Вся эта система подключена к источнику постоянного напряжения. Определите энергию электрического поля в конденсаторе, если на электроде площадью  $S = 0,036$  м<sup>2</sup> за время  $\Delta t = 14$  мин 50 с отложился слой никеля толщиной  $h = 3,0$  мкм. Сопротивление электролита  $R = 0,50$  Ом.

### 27. Электрический ток в газах

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Энергия ионизации атома (молекулы) газа	$*W_{\text{и}} = e\varphi_{\text{и}}$	$W_{\text{и}}$ — энергия ионизации атома (молекулы) газа; $\varphi_{\text{и}}$ — потенциал ионизации атома (молекулы) газа; $e$ — элементарный заряд
Сила тока насыщения	$*I_{\text{нас}} = eN_0$	$I_{\text{нас}}$ — сила тока насыщения; $N_0$ — максимальное число пар одновалентных ионов, создаваемых ионизатором в объеме газа за единицу времени

- 1251.** Пластины плоского воздушного заряженного конденсатора подключены к электрометру. Почему показания электрометра уменьшаются, если в пространство между пластинами внести зажженную спичку?
- 1252.** Если куском ткани потереть баллон неоновой лампы, то лампа некоторое время светится. Объясните наблюдаемое явление.
- 1253.** Как с помощью электрофорной машины продемонстрировать электрический ток в газах?

- 1254.** \*Определите энергию ионизации атома гелия, потенциал ионизации которого  $\varphi_{\text{и}} = 24,5 \text{ В}$ .
- 1255.** \*Определите модуль минимальной скорости, которой должен обладать электрон, чтобы ионизировать атом водорода, потенциал ионизации которого  $\varphi_{\text{и}} = 13,6 \text{ В}$ .
- 1256.** \*Определите, при какой абсолютной температуре средняя кинетическая энергия теплового движения атомов ртути достигнет энергии их ионизации. Потенциал ионизации атома ртути  $\varphi_{\text{и}} = 10,4 \text{ В}$ .
- 1257.** \*Определите модуль напряженности электрического поля, при которой начнется самостоятельный разряд в водороде, если энергия ионизации его молекул  $W_{\text{и}} = 2,5 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$ , а средняя длина свободного пробега электрона  $\langle \lambda \rangle = 5,0 \text{ мкм}$ . (Длина свободного пробега — это расстояние, пройденное электроном между двумя последовательными столкновениями с атомами газа.)
- 1258.** \*Неоновая трубка начинает светиться при напряжении между ее электродами  $U = 7,2 \text{ кВ}$ . Определите среднюю длину свободного пробега электрона, если энергия ионизации атома неона  $W_{\text{и}} = 21,6 \text{ эВ}$ . Расстояние между электродами  $d = 1,2 \text{ м}$ .
- П р и м е ч а н и е:  $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ .
- 1259.** \*Плоский воздушный конденсатор подключен к источнику напряжением  $U = 6,0 \text{ кВ}$ . Определите максимальное расстояние между пластинами, при котором произойдет пробой воздуха, если ударная ионизация воздуха начинается при напряженности поля, модуль которой  $E = 3,0 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}$ .
- 1260.** Электрический пробой влажного воздуха наступает при напряженности электрического поля, модуль которой  $E = 3 \cdot 10^5 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ . Определите разность потенциалов между Землей и тучей, находящейся на высоте  $h = 3 \text{ км}$

от поверхности Земли, считая возникшее электрическое поле однородным. Определите энергию искрового разряда (молнии), считая, что разряд длится в течение времени  $\Delta t = 1$  мкс при средней силе тока  $\langle I \rangle = 10$  кА.

- 1261.** \*В газоразрядной трубке между плоскими электродами площадью  $S = 10$  см<sup>2</sup>, расположенными на расстоянии  $d = 10$  см друг от друга, сила тока насыщения  $I_{\text{нас}} = 1,6$  мкА. Определите, сколько в сумме электронов и однократно ионизированных атомов газа возникает каждую секунду в объеме  $V = 1,0$  см<sup>3</sup> газоразрядной трубки.
- 1262.** \*Электрон разгоняется в однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого  $E = 10 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}$ , проходя из состояния покоя путь  $l = 68$  мм. Определите, сколько атомов водорода может ионизировать электрон на своем пути, если вся его кинетическая энергия пойдет на ионизацию атомов водорода. Энергия ионизации атома водорода  $W_{\text{и}} = 13,6$  эВ.
- 1263.** \*Участок электрической цепи состоит из воздушного плоского конденсатора и резистора сопротивлением  $R = 5,0$  кОм, соединенных последовательно. На концах данного участка цепи поддерживается постоянное напряжение. Площадь каждой пластины конденсатора  $S = 500$  см<sup>2</sup>, а расстояние между ними  $d = 5,0$  мм. При ионизации воздуха между пластинами конденсатора за промежуток времени  $\Delta t = 1,0$  с создается  $N = 2,0 \cdot 10^{10}$  ионов в объеме  $V = 1,0$  см<sup>3</sup>. Определите силу тока в цепи и напряжение на резисторе, считая, что все ионы достигают пластин конденсатора. Модуль заряда каждого иона равен элементарному заряду.
- 1264.** \*К источнику постоянного напряжения подключены резистор сопротивлением  $R = 1,0$  кОм и плоский конденсатор емкостью  $C = 1,0 \cdot 10^{-11}$  Ф, соединенные между собой последовательно. Воздух в пространстве между

пластинами конденсатора ионизируется рентгеновскими лучами. При этом за промежуток времени  $\Delta t = 1,0$  с создается  $N = 1,0 \cdot 10^{14}$  ионов в объеме  $V = 1,0$  см<sup>3</sup>. Модуль заряда каждого иона равен элементарному заряду. Определите напряжение на резисторе, считая, что все ионы, не рекомбинируя, достигают пластин конденсатора, расстояние между которыми  $d = 3,0$  мм.

- 1265.** \*В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 293, электроемкость конденсатора  $C_2 = 50$  мкФ, сопротивление резистора  $R = 2,0$  кОм. Воздух между обкладками первого конденсатора ионизируется рентгеновским излучением. При этом за время  $\Delta t = 1,0$  с в объеме  $V = 1,0$  см<sup>3</sup> образуется  $N = 2 \cdot 10^{12}$  пар свободных электронов и положительно заряженных ионов. Площадь пластин первого конденсатора  $S_1 = 100$  см<sup>2</sup>, расстояние между ними  $d_1 = 5,0$  мм. Определите заряд на втором конденсаторе, если все образующиеся в первом конденсаторе заряды достигают его пластин.

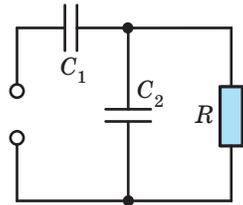


Рис. 293

## 28. Электрический ток в полупроводниках

- 1266.** Как изменяется собственная проводимость полупроводников с уменьшением температуры? Почему?
- 1267.** Какой проводимостью будет обладать кремний при введении в него небольшого количества: а) фосфора; б) индия; в) сурьмы?
- 1268.** Какой проводимостью будет обладать германий при введении в него небольшого количества: а) фосфора; б) цинка; в) галлия; г) сурьмы?
- 1269.** \*Можно ли получить  $p$ - $n$ -переход, вплавив олово в германий или кремний?

**1270.** Для получения примесной проводимости нужного типа в полупроводниковой технике часто применяют фосфор, галлий, мышьяк, индий, сурьму. Какие из этих элементов можно ввести в качестве примеси в германий, чтобы получить электронную проводимость?

**1271.** \*Почему свободные носители электрических зарядов не могут удерживаться в области  $n$ - $p$ -перехода?

**1272.** \*Почему при одинаковом напряжении прямой ток через  $n$ - $p$ -переход значительно больше обратного?

**1273.** \*На рисунке 294, *а*, *б* показаны два  $n$ - $p$ -перехода. Какой из этих переходов включен в прямом, а какой — в обратном направлении?

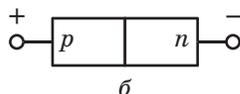
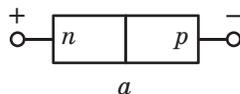


Рис. 294

**1274.** \*Определите тип основных носителей зарядов проводимости полупроводников *A* и *B* (рис. 295), если электронно-дырочный переход включен в прямом (пропускном) направлении.



Рис. 295

**1275.** \*На рисунке 296 показан участок электрической цепи, в которую включены два полупроводниковых диода и два одинаковых амперметра. Поясните, одинаковы ли показания амперметров.

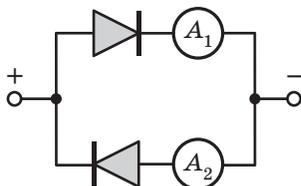


Рис. 296

**1276.** Почему измерения электропроводности полупроводников обычно проводят при очень слабом освещении или в темноте?

**1277.** Кремний (элемент IV группы Периодической системы элементов Д. И. Менделеева) легирован донорной примесью — фосфором (элементом V группы). Заряжен ли полупроводник с примесью? Если заряжен, то каков знак заряда?

1278. Поясните, в чем отличие графиков зависимости удельного сопротивления полупроводника и металла от абсолютной температуры.
1279. Один из двух одинаковых по внешнему виду термометров сопротивления содержит металлический проводник, а другой — полупроводник. Как практически установить, какой материал применен в термометре?
1280. Возможен случай, когда в кристалл полупроводника введено равное число атомов донорной и акцепторной примесей. Как это повлияло на проводимость полупроводника?
1281. Энергия, необходимая для образования электронов проводимости в германии и кремнии, равна  $E_{\Gamma} = 1,12 \times 10^{-19}$  Дж и  $E_{\kappa} = 1,76 \cdot 10^{-19}$  Дж соответственно. В каком из этих полупроводников при одинаковой температуре будет большая концентрация собственных электронов проводимости?
1282. \*Определите сопротивление полупроводникового диода, включенного в электрическую цепь сначала в прямом, а затем в обратном направлениях, если в первом случае при напряжении на диоде  $U_1 = 0,10$  В сила тока в цепи  $I_1 = 50$  мА, а во втором случае при напряжении  $U_2 = 10$  В сила тока  $I_2 = 0,50$  мА.
1283. Концентрация электронов проводимости в германии при комнатной температуре  $n = 3 \cdot 10^{19}$  м<sup>-3</sup>. Какую часть составляет число электронов проводимости от общего числа атомов германия? Молярная масса германия  $M = 72,5 \frac{\Gamma}{\text{моль}}$ , плотность германия  $\rho = 5,4 \frac{\Gamma}{\text{см}^3}$ .
1284. К концам цепи, состоящей из последовательно включенных термистора и резистора сопротивлением  $R = 1$  кОм, подано напряжение  $U = 20$  В. При комнатной температуре сила тока в цепи была  $I_1 = 5$  мА. Когда термистор нагрели, погрузив его в горячую воду, сила тока в цепи стала  $I_2 = 10$  мА. Во сколько раз изменилось сопротивление термистора?

**1285.** \*На рисунке 297 представлена вольт-амперная характеристика полупроводникового диода. Определите сопротивление диода при прямом напряжении  $U_1 = 0,30$  В и обратном напряжении  $U_2 = -300$  В.

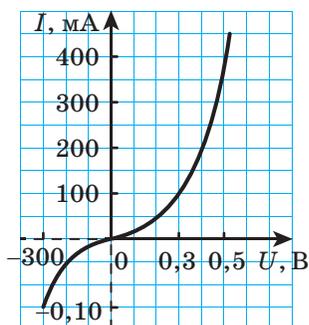


Рис. 297

**1286.** На рисунке 298 приведены графики зависимости силы тока, протекающего через фоторезистор, от приложенного к нему напряжения. Какой график относится к ярко освещенному фоторезистору, а какой — к слабо освещенному?

**1287.** На рисунке 299 представлены графики зависимости силы тока от напряжения для терморезистора. Какой из графиков соответствует более низкой температуре терморезистора?

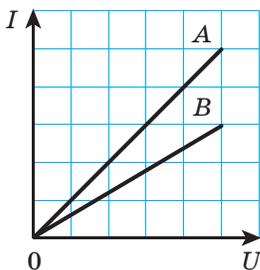


Рис. 298

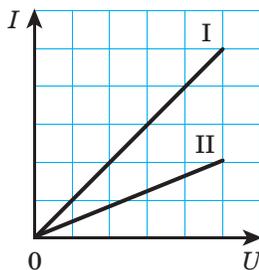


Рис. 299

**1288.** Фоторезистор, который в темноте имеет сопротивление  $R_1 = 25$  кОм, включили последовательно с резистором сопротивлением  $R = 5,0$  кОм и подключили к источнику постоянного напряжения. Когда фоторезистор осветили, сила тока в цепи увеличилась в  $n = 4$  раза. Каким стало сопротивление фоторезистора?

**1289.** \*Определите сопротивление электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 300, для двух направлений тока: от А к В и от В к А. Сопротивление

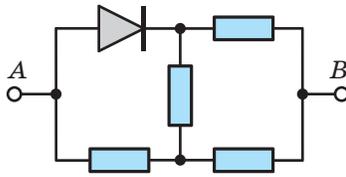


Рис. 300

каждого резистора  $R = 30$  Ом. В цепь включен идеальный диод (его сопротивление в прямом направлении можно считать равным нулю, а в обратном — бесконечно большим).

- 1290.** \*На рисунке 301 представлена схема электрической цепи, в которую включены три одинаковых резистора и два идеальных полупроводниковых диода. Определите мощность тока в цепи для двух направлений тока: от  $A$  к  $B$  и от  $B$  к  $A$ . Сопротивление каждого резистора  $R = 15$  Ом. Напряжение на концах цепи  $U = 6,0$  В.

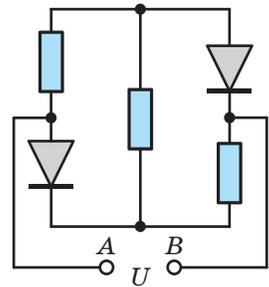


Рис. 301

# ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

## Основные физические постоянные

Наименование	Обозначение и числовое значение
Атомная единица массы	$1 \text{ а. е. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Гравитационная постоянная	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$
Заряд протона	$q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Заряд электрона	$q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}$
Масса электрона	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Масса протона	$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Модуль ускорения свободного падения	$g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ (приблизительно $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ )
Нормальное атмосферное давление	$p_0 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па} = 760 \text{ мм рт. ст.}$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
Число Фарадея	$F = 9,65 \cdot 10^4 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$
Элементарный заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$

Таблица 2

## Десятичные приставки к названиям единиц

Приставка	Обозначение	Десятичный множитель
экса	Э	$10^{18}$
пета	П	$10^{15}$
тера	Т	$10^{12}$
гига	Г	$10^9$
мега	М	$10^6$
кило	к	$10^3$
деци	д	$10^{-1}$
санти	с	$10^{-2}$
милли	м	$10^{-3}$
микро	мк	$10^{-6}$
нано	н	$10^{-9}$
пико	п	$10^{-12}$
фемто	ф	$10^{-15}$
атто	а	$10^{-18}$

Таблица 3

Плотность ( $\rho$ ) твердых веществ

Вещество	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Алюминий	2700
Латунь	8500
Лед	900
Медь	8900
Никель	8900
Нихром	8300
Олово	7300
Свинец	11 300
Серебро	10 500
Сталь (железо)	7800
Стекло	2500
Титан	4500
Чугун	7000
Хром	7100
Цинк	7100

Таблица 4

Плотность ( $\rho$ ) жидкостей

Вещество	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Бензин	710
Вода пресная	1000

Вещество	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Вода морская	1030
Глицерин	1200
Керосин	800
Масло подсолнечное	930
Масло машинное	900
Нефть	800
Ртуть	13 600
Спирт	800
Эфир	710

Таблица 5

**Поверхностное натяжение ( $\sigma$ ) жидкостей**  
(при температуре  $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$ )

Жидкость	$\sigma, \frac{\text{Н}}{\text{м}}$
Бензин	0,030
Вода	0,073
Глицерин	0,065
Керосин	0,030
Масло касторовое	0,036
Мыльный раствор воды	0,045
Ртуть	0,47
Спирт	0,022

Таблица 6

Давление ( $p$ ) и плотность ( $\rho$ ) насыщенного водяного пара при температуре ( $t$ )

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{Па}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{Па}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$
0	610,5	4,84	19	2196,8	16,3
1	656,1	5,22	20	2338,1	17,3
2	705,0	5,6	21	2486,0	18,3
3	757,0	5,98	22	2643,3	19,4
4	812,1	6,4	23	2808,6	20,6
5	871,8	6,84	24	2983,3	21,8
6	934,4	7,3	25	3167,2	23
7	1005,1	7,8	26	3360,5	24,4
8	1073,1	8,3	27	3565,0	25,8
9	1147,7	8,8	28	3779,1	27,2
10	1227,7	9,4	29	4004,3	28,7
11	1312,7	10	30	4241,6	30,3
12	1402,3	10,7	40	7374,2	51,2
13	1519,6	11,4	50	12 330,3	83
14	1598,3	12,1	60	19 915	130
15	1704,9	12,8	70	31 152,2	198
16	1816,9	13,6	80	47 334,8	293
17	1936,8	14,5	90	70 089,1	424
18	2063,5	15,4	100	101 308	598

Таблица 7

## Психрометрическая таблица

Показания сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
0	100	81	63	45	28	11					
2	100	84	68	51	35	20					
4	100	85	70	56	42	28	14				
6	100	86	73	60	47	35	23	10			
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7		
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

Таблица 8

Удельная теплоемкость ( $c$ ) веществ

Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Алюминий	920	Масло трансформаторное	2000
Бензин	2100	Медь	380
Вода	4200	Нафталин	1300
Вольфрам	150	Нихром	460
Глицерин	2400	Олово	250
Железо (сталь)	460	Ртуть	120
Золото	130	Свинец	120
Керосин	2100	Серебро	250
Кирпич	750	Спирт	2550
Латунь	380	Стекло	840
Лед	2100	Цинк	400
Масло подсолнечное	1700	Чугун	550

Таблица 9

**Температура плавления ( $t_n$ )  
и удельная теплота плавления ( $\lambda$ ) веществ  
(при нормальном атмосферном давлении)**

Вещество	$t_n$ , °C	$\lambda$ , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Алюминий	660	390
Лед	0	333
Медь	1085	210
Олово	232	60,3
Сталь	1500	84
Свинец	327	24,7

Таблица 10

**Температура кипения ( $t_k$ )  
и удельная теплота парообразования ( $L$ ) веществ  
(при нормальном атмосферном давлении)**

Вещество	$t_k$ , °C	$L$ , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Ацетон	56	520
Бензин	40—205	270
Вода	100	2260
Керосин	150—300	220
Ртуть	357	285
Спирт	78	857
Эфир	35	352

Таблица 11

Удельная теплота сгорания ( $q$ ) топлива

Вещество	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Вещество	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Бензин	46	Кокс	30,3
Бурый уголь	9,3	Мазут	40
Дизельное топливо	42	Порох	3
Древесный уголь	29,7	Природный газ	35,5
Каменный уголь	20,5	Спирт этиловый	27
Керосин	43	Торф	15

Таблица 12

Диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon$ ) веществ

Вещество	$\epsilon$	Вещество	$\epsilon$
Бензин	2,3	Парафин	2,2
Бумага	3—7	Полистирол	2,3
Вода	81	Слюда	7
Воздух	1,0	Спирт этиловый	24
Глицерин	56	Стекло	4—7
Кварц	4,3	Трансформаторное масло	2,2
Керосин	2,0	Эбонит	2,8

Таблица 13

**Удельное электрическое сопротивление ( $\rho$ ) и температурный коэффициент сопротивления ( $\alpha$ ) веществ  
(при температуре  $t = 20$  °С)**

Вещество	$\rho, 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$	$\alpha, 10^{-3} \text{ К}^{-1}$
Алюминий	2,7	4,2
Вольфрам	5,5	5,0
Графит	1100	-0,5
Железо	9,8	6,2
Константан	50	0,05
Латунь	7,1	1,7
Манганин	48	0,03
Медь	1,7	4,3
Никелин	42	0,02
Нихром	110	0,2
Олово	13	4,2
Платина	9,8	4,0
Свинец	21	3,7
Серебро	1,5	4,0
Сталь	12	—
Фехраль	120	0,1

Таблица 14

Электрохимический эквивалент ( $k$ ) вещества

Вещество	Валентность	$k, 10^{-8} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$	Вещество	Валентность	$k, 10^{-8} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$
Алюминий	3	9,4	Никель	2	30
Водород	1	1,0	Олово	2	62
Золото	2	68	Свинец	2	107
Кислород	2	8,3	Серебро	1	112
Медь	1	66	Хлор	1	37
Медь	2	33	Хром	3	18
Натрий	1	24	Цинк	2	34

## Периодическая система химических

Период	Ряд	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ				
		I	II	III	IV	V
I	1	(H)				
II	2	<b>Li</b> <sup>3</sup> 6,939 Литий	<b>Be</b> <sup>4</sup> 9,0122 Бериллий	<b>B</b> <sup>5</sup> 10,811 Бор	<b>C</b> <sup>6</sup> 12,01115 Углерод	<b>N</b> <sup>7</sup> 14,0067 Азот
III	3	<b>Na</b> <sup>11</sup> 22,9898 Натрий	<b>Mg</b> <sup>12</sup> 24,312 Магний	<b>Al</b> <sup>13</sup> 26,9815 Алюминий	<b>Si</b> <sup>14</sup> 28,086 Кремний	<b>P</b> <sup>15</sup> 30,9738 Фосфор
IV	4	<b>K</b> <sup>19</sup> 39,102 Калий	<b>Ca</b> <sup>20</sup> 40,08 Кальций	<b>Sc</b> <sup>21</sup> 44,956 Скандий	<b>Ti</b> <sup>22</sup> 47,90 Титан	<b>V</b> <sup>23</sup> 50,942 Ванадий
	5	<b>Cu</b> <sup>29</sup> 63,546 Медь	<b>Zn</b> <sup>30</sup> 65,37 Цинк	<b>Ga</b> <sup>31</sup> 69,72 Галлий	<b>Ge</b> <sup>32</sup> 72,59 Германий	<b>As</b> <sup>33</sup> 74,9216 Мышьяк
V	6	<b>Rb</b> <sup>37</sup> 85,47 Рубидий	<b>Sr</b> <sup>38</sup> 87,62 Стронций	<b>Y</b> <sup>39</sup> 88,905 Иттрий	<b>Zr</b> <sup>40</sup> 91,22 Цирконий	<b>Nb</b> <sup>41</sup> 92,906 Ниобий
	7	<b>Ag</b> <sup>47</sup> 107,868 Серебро	<b>Cd</b> <sup>48</sup> 112,40 Кадмий	<b>In</b> <sup>49</sup> 114,82 Индий	<b>Sn</b> <sup>50</sup> 118,69 Олово	<b>Sb</b> <sup>51</sup> 121,75 Сурьма
VI	8	<b>Cs</b> <sup>55</sup> 132,905 Цезий	<b>Ba</b> <sup>56</sup> 137,34 Барий	<b>La*</b> <sup>57</sup> 138,81 Лантан	<b>Hf</b> <sup>72</sup> 178,49 Гафний	<b>Ta</b> <sup>73</sup> 180,948 Тантал
	9	<b>Au</b> <sup>79</sup> 196,967 Золото	<b>Hg</b> <sup>80</sup> 200,59 Ртуть	<b>Tl</b> <sup>81</sup> 204,37 Таллий	<b>Pb</b> <sup>82</sup> 207,19 Свинец	<b>Bi</b> <sup>83</sup> 208,980 Висмут
VII	10	<b>Fr</b> <sup>87</sup> [223] Франций	<b>Ra</b> <sup>88</sup> [226] Радий	<b>Ac**</b> <sup>89</sup> [227] Актиний	<b>Rf</b> <sup>104</sup> [261] Резерфордий	<b>Db</b> <sup>105</sup> [262] Дубний

*ЛАНТАНОИДЫ	<b>Ce</b> <sup>58</sup> 140,12 Церий	<b>Pr</b> <sup>59</sup> 140,907 Празеодим	<b>Nd</b> <sup>60</sup> 144,24 Неодим	<b>Pm</b> <sup>61</sup> [145] Прометий	<b>Sm</b> <sup>62</sup> 150,35 Самарий	<b>Eu</b> <sup>63</sup> 151,96 Европий	<b>Gd</b> <sup>64</sup> 157,25 Гадолиний
-------------	--	---	---	--	--	--	--

**АКТИНОИДЫ	<b>Th</b> <sup>90</sup> 232,038 Торий	<b>Pa</b> <sup>91</sup> [231] Протактиний	<b>U</b> <sup>92</sup> 238,03 Уран	<b>Np</b> <sup>93</sup> [237] Нептуний	<b>Pu</b> <sup>94</sup> [242] Плутоний	<b>Am</b> <sup>95</sup> [243] Америций	<b>Cm</b> <sup>96</sup> [247] Кюрий
-------------	---	---	--	--	--	--	---

элементов Д. И. Менделеева

Таблица 15

ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ							
VI	VII	VIII					
	<b>1</b> 1,00797 <b>H</b> Водород	Обозначение элемента      Атомный номер <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <b>Li</b>      <b>3</b>                      Литий      6,939                 </div>			<b>2</b> 4,0026 <b>He</b> Гелий		
<b>8</b> 15,9994 <b>O</b> Кислород	<b>9</b> 18,9984 <b>F</b> Фтор	Относительная атомная масса			<b>10</b> 20,183 <b>Ne</b> Неон		
<b>16</b> 32,064 <b>S</b> Сера	<b>17</b> 35,453 <b>Cl</b> Хлор				<b>18</b> 39,948 <b>Ar</b> Аргон		
<b>Cr</b> <b>24</b> 51,996 Хром	<b>Mn</b> <b>25</b> 54,938 Марганец	<b>Fe</b> <b>26</b> 55,847 Железо	<b>Co</b> <b>27</b> 58,9332 Кобальт	<b>Ni</b> <b>28</b> 58,71 Никель			
<b>34</b> 78,96 <b>Se</b> Селен	<b>35</b> 79,904 <b>Br</b> Бром				<b>36</b> 83,80 <b>Kr</b> Криптон		
<b>Mo</b> <b>42</b> 95,94 Молибден	<b>Tc</b> <b>43</b> [99] Технеций	<b>Ru</b> <b>44</b> 101,07 Рутений	<b>Rh</b> <b>45</b> 102,905 Родий	<b>Pd</b> <b>46</b> 106,4 Палладий			
<b>52</b> 127,60 <b>Te</b> Теллур	<b>53</b> 126,9044 <b>I</b> Иод				<b>54</b> 131,30 <b>Xe</b> Ксенон		
<b>W</b> <b>74</b> 183,85 Вольфрам	<b>Re</b> <b>75</b> 186,2 Рений	<b>Os</b> <b>76</b> 190,2 Осмий	<b>Ir</b> <b>77</b> 192,2 Иридий	<b>Pt</b> <b>78</b> 195,09 Платина			
<b>84</b> [210] <b>Po</b> Полоний	<b>85</b> 210 <b>At</b> Астат				<b>86</b> [222] <b>Rn</b> Радон		
<b>Sg</b> <b>106</b> [263] Сиборгий	<b>Bh</b> <b>107</b> [262] Борий	<b>Hs</b> <b>108</b> [265] Хассий	<b>Mt</b> <b>109</b> [266] Мейтнерий	<b>110</b>			
<b>Tb</b> <b>65</b> 158,924 Тербий	<b>Dy</b> <b>66</b> 162,50 Диспрозий	<b>Ho</b> <b>67</b> 164,930 Гольмий	<b>Er</b> <b>68</b> 167,26 Эрбий	<b>Tm</b> <b>69</b> 168,934 Тулий	<b>Yb</b> <b>70</b> 173,04 Иттербий	<b>Lu</b> <b>71</b> 174,97 Лютеций	
<b>Bk</b> <b>97</b> [247] Берклий	<b>Cf</b> <b>98</b> [249] Калифорний	<b>Es</b> <b>99</b> [254] Эйнштейний	<b>Fm</b> <b>100</b> [253] Фермий	<b>Md</b> <b>101</b> [256] Менделевий	<b>No</b> <b>102</b> [255] Нобелий	<b>Lr</b> <b>103</b> [257] Лоуренсий	

Таблица 16

## Основные формулы механики

Название	Формула
Ускорение	$\bar{a} = \frac{\bar{v} - v_0}{\Delta t}$
Перемещение	$\Delta \bar{r} = v_0 t + \frac{\bar{a} t^2}{2}$
Угловая скорость	$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}; \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu; \omega = \frac{v}{R}$
Центростремительное ускорение	$a = \frac{v^2}{R}; a = \omega^2 R$
Второй закон Ньютона	$\bar{a} = \frac{\bar{F}}{m}$
Закон Гука	$F_{\text{упр}} = k \Delta l $
Сила трения скольжения	$F_{\text{тр}} = \mu F_{\text{д}}$
Закон всемирного тяготения	$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$
Сила Архимеда	$F_{\text{А}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{погр}}$
Импульс тела	$\bar{p} = m \bar{v}$
Закон сохранения импульса	$\overline{p_{\text{сист}}} = \overline{\text{const}}$
Механическая работа	$A = F \Delta r \cos \alpha$
Мощность	$P = \frac{A}{\Delta t}; P = F v \cos \alpha$
Кинетическая энергия	$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$
Потенциальная энергия	$E_{\text{п}} = mgh; E_{\text{п}} = \frac{k(\Delta l)^2}{2}$
Закон сохранения энергии	$E_{\text{полн}} = \text{const}$

# ОТВЕТЫ

## I. Основы молекулярно-кинетической теории

13.  $m_0 = 3,95 \cdot 10^{-25}$  кг. 14.  $m_0 = 4,0 \cdot 10^{-26}$  кг. 15. а)  $m_{\text{CaO}} = 9,3 \cdot 10^{-26}$  кг;

б)  $m_{\text{H}_2\text{CrO}_4} = 2,0 \cdot 10^{-25}$  кг; в)  $m_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} = 3,0 \cdot 10^{-25}$  кг.

16.  $p = 1,7 \cdot 10^{-23} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ . 17.  $E_k = 5,4 \cdot 10^{-21}$  Дж. 18.  $E_k = 8,4 \cdot 10^{-21}$  Дж.

19.  $N = 2,4 \cdot 10^{25}$ . 20.  $M = 4 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ . 21.  $\rho = 1,9 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . 22.  $N = 1,1 \cdot 10^{21}$ .

23.  $n = 3,0 \cdot 10^{25} \frac{1}{\text{м}^3}$ . 25.  $m = 22$  г. 26.  $\nu = 10$  моль. 27.  $\rho = 32 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$ .

28.  $\nu = 2,3$  моль. 29. В  $\eta = 2 \cdot 10^{19}$  раз. 30.  $\frac{N_1}{N_2} = 3,3 \cdot 10^5$ .

31.  $q = \frac{e\rho V N_A}{M} = 1,2 \cdot 10^5$  Кл. 32.  $n = 1 \cdot 10^{20} \text{м}^{-3}$ . 33. В  $\frac{N_{\text{в.п.}}}{N_k} = 2$  раза.

34.  $F_A = \frac{\rho_{\text{в}} g M N}{\rho_{\text{ж}} N_A} = 0,14$  Н. 35.  $N = \frac{m N_A \Delta t}{\tau M} = 1 \cdot 10^{19}$ .

36.  $N = \frac{m N_A V}{h S M} = 5 \cdot 10^9$ . 37.  $\Delta l = \frac{m_k M_T g}{k M_k} = 40$  мм. 38.  $N = 7,5 \cdot 10^{23}$ .

39.  $N = 3 \cdot 10^{22}$ . 40.  $\langle M \rangle = \frac{(m_1 + m_2) M_1 M_2}{m_1 M_2 + m_2 M_1} = 38 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ . 41.  $p = 0,19$  МПа.

42.  $n = 5,0 \cdot 10^{25} \text{м}^{-3}$ . 43. Уменьшится в  $\epsilon = 1,5$  раза. 44.  $m = 6$  г.

45.  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 0,5 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . 46.  $p = 80$  кПа. 47.  $\rho = 0,75 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . 48.  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 0,6 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .

49.  $\frac{p_{\text{H}_2}}{p_{\text{O}_2}} = 4$ . 50. Нет. 51.  $N = 2,7 \cdot 10^{25}$ . 52.  $\Delta \langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3}{\rho}} (\sqrt{p_2} - \sqrt{p_1}) = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

53.  $\Delta p_{\text{имп}} = 5,3 \cdot 10^{-23} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ . 54.  $|\Delta p| = 0,78$  МПа. 55.  $|\Delta N| = 2,6 \cdot 10^{21}$ .

56.  $V\eta = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} = 1,5$  раза. 57.  $\eta = 69\%$ . 58.  $p = \frac{(N_1 + N_2)p_1p_2}{p_1N_2 + p_2N_1}$ .

59.  $\langle v_{\text{KB}} \rangle = \sqrt{\frac{\langle v_{\text{KB1}} \rangle^2 + \langle v_{\text{KB2}} \rangle^2}{2}} = 696 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . 60.  $V = \frac{V_0(mg + p_0S)}{mg + ma + p_0S} = 36 \text{ см}^3$ .

61.  $\langle v_{\text{KB}} \rangle = \sqrt{\frac{3pSv_r\Delta t}{m}} = 1,12 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . 62.  $\langle E_{\text{к}} \rangle = 6 \cdot 10^{-21}$  Дж. 63. Равны.

64.  $\langle E_{\text{к}} \rangle = 1,2 \cdot 10^{-20}$  Дж. 65.  $\langle E_{\text{к}} \rangle = 3 \cdot 10^{-20}$  Дж. 66.  $p = 1,6 \cdot 10^5$  Па.

67.  $E_{\text{к}} = \frac{3p\nu M}{2\rho} = 1,2$  кДж. 68. Уменьшился в  $\beta = 4$  раза. 69. Увели-

чивается в  $\beta = 3,9$  раза. 70.  $\langle v_{\text{KB}} \rangle_{\text{CO}_2} = 0,4 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . 71.  $\langle E_{\text{к}} \rangle = 6,4 \cdot 10^{-21}$  Дж.

72.  $T = 302$  К. 73.  $t_2 = 69$  °С. 74.  $\eta = 10\%$ . 75. В  $\beta = 2$  раза.

76. В  $\varepsilon = 1,1$  раза. 77. На  $\eta = 30\%$ . 78. На  $\eta = 21\%$ . 79.  $N = 7,4 \cdot 10^{18}$ .

80.  $\langle v_{\text{KB}} \rangle = \sqrt{\frac{3kN_{\text{A}}T}{M}} = 0,4 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . 81.  $\langle v_{\text{KB}} \rangle_{\text{He}} = 1,4 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .

82.  $n = \frac{\rho \langle v_{\text{KB}} \rangle^2}{3kT} = 2,4 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ . 83.  $N = 9,8 \cdot 10^{23}$ . 84.  $T = \frac{2gRM}{9kN_{\text{A}}}$ .

85.  $\langle v_{\text{KB}} \rangle = \sqrt{\frac{\langle v_{\text{KB1}} \rangle^2 + \langle v_{\text{KB2}} \rangle^2}{2}} = 1,6 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . 86.  $p = 8,2$  МПа. 87. В  $\beta = 1,2$  раза.

88. На  $\eta = 20\%$ . 89. В  $\alpha = 8$  раз. 90. В  $\varepsilon = 1,2$  раза.

91.  $\rho = \frac{p\rho_0T_0}{p_0T} = 0,80 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . 92. В  $\varepsilon = 6$  раз. 93. В  $\varepsilon = 1,5$  раза.

94.  $p_2 = 1,5$  МПа. 95.  $V = 24$  л. 96.  $T_1 = 3 \cdot 10^2$  К. 97.  $t_2 = 51$  °С.

98.  $m = 4$  г. 99.  $T_{\text{min}} = 5,3 \cdot 10^2$  К. 100.  $M = 2 \frac{\Gamma}{\text{моль}}$ . 101.  $\tau = 2,5 \cdot 10^3$  с.

102.  $|\Delta m| = 0,3$  кг. 103.  $|\Delta p| = 3 \cdot 10^4$  Па. 104.  $p_2 = 1,9$  МПа.

105.  $p = \frac{\rho k N_{\text{A}} T}{M} = 1,4 \cdot 10^8$  Па. 106.  $\langle v \rangle = \frac{k N_{\text{A}} m T}{p \tau S M} = 0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

107.  $m_{\Gamma} = (\alpha - 1) \left( m + \frac{p_0 S}{g} \right) = 15$  кг. 108. На  $\Delta T = \frac{Tmg}{Sp} = 70$  К.

109.  $p = \frac{p_1 p_2 (N_1 + N_2)}{N_1 p_2 + N_2 p_1} = 3,0 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

110.  $p = \frac{p_1 p_2 (v_1 + v_2)}{v_1 p_2 + v_2 p_1} = 3,2 \cdot 10^5 \text{ Па. 111. } V = 18 \text{ л. 112. } p = 4,8 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

113.  $V = 0,17 \text{ м}^3. 114. m = 2,5 \text{ г. 115. Гелий. 116. } M_1 = 28 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$

117. Уменьшилось в  $\varepsilon = 4$  раза. 118.  $\rho = 2,7 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. 119. \rho = 0,42 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$

120.  $m = \frac{p_1 T_1 p_2 V_2}{p_1 T_2} = 76 \text{ г. 121. } V_2 = \frac{T_2 p_1 V_1}{(p_0 + \rho g h) T_1} = 0,95 \text{ л.}$

122. На  $\eta = 44 \%$ . 123.  $T_2 = 8,0 \cdot 10^2 \text{ К. 124. } N = \frac{p_2 V T_0}{V_0 p_0 T} = 1 \cdot 10^3.$

125.  $p_2 = 4 \cdot 10^5 \text{ Па. 126. } |\Delta h| = h - \frac{(p_0 S + m_0 g) h T_2}{(p_0 S + m g + m_0 g) T_1} = 81 \text{ мм.}$

127.  $S = \frac{m_1 g M |\Delta V|}{m_2 R |\Delta T| - p_0 M |\Delta V|} = 0,6 \text{ дм}^2. 128. m_1 = \frac{V_1 M_1 m_2}{V_2 M_2} = 42 \text{ г.}$

129.  $l_1 = \frac{M_2 L}{M_1 + M_2} = 28 \text{ см. 130. } v_2 = \frac{T_1 V_1 v_1}{T_2 V_1}.$

131.  $p_0 = \frac{h T_2 \rho g \Delta h}{h (T_2 - T_1) - T_1 \Delta h} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

132.  $t_2 = \frac{p_0 l T_1}{(p_0 + \rho g \Delta h)(l + \Delta h)} - 273 = 11 \text{ }^\circ\text{C.}$

133.  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{(T - |\Delta t|)(p_0 + \rho a l)}{(T + \Delta t)(p_0 - \rho a l)} = 1,2. 134. p_2 = 58 \text{ кПа.}$

135.  $|\Delta m| = \frac{p V M (\alpha T_2 - T_1)}{\alpha R T_1 T_2} = 19 \text{ г. 136. } T_2 = 3,6 \cdot 10^2 \text{ К.}$

137.  $\Delta m = 0,10 \text{ кг. 138. } p_1 = 0,07 \text{ МПа. 139. } \Delta p = 0,83 \text{ МПа.}$

140.  $\langle E_{к2} \rangle = 1,1 \cdot 10^{-20} \text{ Дж. 141. } p_2 = 1,1 \text{ МПа. 142. На } \eta = 4 \%$

143.  $\Delta m = \frac{p_0 V M}{R T_1 T_2} (T_1 - T_2) = 4,8 \text{ кг. 144. Уменьшилась на } \eta = 20 \%$

$$145. p_2 = \frac{p_1 T_2}{T_1} + \frac{\Delta v R T_2}{V} = 1,0 \text{ МПа. } 146. m_1 = \frac{|\Delta m| T_2 p_1}{T_2 p_1 - T_1 p_2} = 1,3 \text{ кг.}$$

$$147. p = \frac{N_\tau \tau k T}{V} = 18 \text{ кПа. } 148. V = \frac{|\Delta m| T_2}{\rho(T_2 - T_1)} = 15 \text{ м}^3.$$

$$149. V = \frac{(F + mg)RT}{\rho g RT - p M g} = 60 \text{ дм}^3. 150. m_0 = \frac{p_0 V M}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) = 19 \text{ г.}$$

$$151. m_{\min} = \frac{V M p_0}{RT} - m - m_0. 152. v = \frac{v R T}{p S \tau} = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$153. \langle v \rangle = \frac{0,5 P R T_K}{L \rho_0 S M} = 3,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}. 154. \text{В } \alpha = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} = 1,5 \text{ раза.}$$

$$155. \text{В } \alpha = 1,6 \text{ раза. } 156. p = \frac{(m_1 + m_2) p_1 p_2}{p_1 m_2 + p_2 m_1} = 0,24 \text{ МПа.}$$

$$157. \Delta l = \frac{l \Delta T}{2T} = 20 \text{ мм. } 158. \Delta r = \frac{(\alpha - 1)V}{2(\alpha + 1)S} = 25 \text{ см.}$$

$$159. v = \frac{P h (H - h)}{T R (H - 2h)} = 0,025 \text{ моль. } 160. \text{В } \beta = 2 \text{ раза.}$$

$$182. p_2 = 60 \text{ кПа, } p_3 = 30 \text{ кПа. } 183. T_1 = 600 \text{ К, } T_3 = 900 \text{ К.}$$

$$184. V_2 = V_3 = 90 \text{ см}^3. 185. p_2 = 60 \text{ кПа; } p_3 = 3,6 \cdot 10^5 \text{ Па. } 188. \frac{T_{\max}}{T_{\min}} = 4.$$

$$189. p_2 = 105 \text{ кПа. } 190. \text{В } \alpha = 1,2 \text{ раза. } 191. p_1 = 75 \text{ кПа.}$$

$$192. V_1 = 70 \text{ см}^3. 193. p_2 = 65 \text{ кПа. } 194. m = \frac{\rho V (p_0 - p)}{p_0} = 40 \text{ г.}$$

$$195. h = \frac{(\alpha^3 - 1)p_0}{\rho g} = 70 \text{ м. } 196. h_1 = \frac{(p_0 + \rho g h_2) F_{A2} - p_0 F_{A1}}{\rho g F_{A1}} = 6,0 \text{ м.}$$

$$197. |\Delta V| = \frac{|\Delta p|(V - V_1)}{p_0 - |\Delta p|} = 0,03 \text{ л. } 198. F = \frac{p_1 \Delta r S^2}{V_1 - \Delta r S} = 60 \text{ Н.}$$

$$199. F_{\text{тр}} = \frac{p_0 \Delta l \pi r^2}{l - \Delta l} = 15 \text{ Н. } 200. m_2 = \frac{\alpha(\beta - 1)m_1}{\alpha - 1} = 4 \text{ кг.}$$

201.  $a = \frac{(\alpha^2 - 1)p_0 S}{2\alpha m}$ . 202.  $p_1 = \frac{2p(p - \Delta p)}{2p - \Delta p}$ . 203.  $\Delta l = \frac{(\alpha - 1)l}{2(\alpha + 1)}$ .

204.  $p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}$ . 205.  $\tau = \frac{\alpha V}{V_\tau} = 2,7 \cdot 10^2 \text{ с}$ . 206.  $N = \frac{Vp}{V_0 p_0} = 30$ .

207.  $p = \frac{p_0 V^n}{(V + V_0)^n} = 41 \text{ кПа}$ . 208. На  $\Delta h = \left(\frac{V}{S}\right) \left(\frac{p}{p_0} - 1\right)$ .

209.  $V_0 = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{p_2 - p_1}$ . 210.  $l = \frac{2l_1(p_0 - \rho g l_1)}{p_0 - 2\rho g l_1} = 1 \text{ м}$ . 211.  $p_0 = 0,1 \text{ МПа}$ .

212.  $p = \frac{\rho g l^2}{4h - 2l} = 100 \text{ кПа}$ . 213.  $p_0 = \frac{\rho g (l - l_0)^2}{l_0} = 99 \text{ кПа}$ .

214.  $h = \frac{p_0 l}{p_0 + \rho g \Delta h} - \Delta h = 61 \text{ см}$ . 215.  $l = \frac{-p_0 + \sqrt{p_0^2 + 4\rho g p_0 l_0}}{2\rho g} = 30 \text{ см}$ .

216.  $l = \frac{h_1(p_0 + \rho g h_1) - h_2(p_0 - \rho g h_2)}{\rho g (h_1 + h_2)} = 69 \text{ см}$ .

217.  $p_1 = \frac{\rho g l \left( (L - l)^2 - 4\Delta l^2 \right)}{4\Delta l (L - l)} = 51 \text{ кПа}$ . 218. а)  $l_1 = \frac{p_0 l}{p_0 + \rho g l_0} = 23 \text{ см}$ ;

б)  $l_2 = \frac{p_0 l}{p_0 - \rho g l_0} = 41 \text{ см}$ . 219.  $\omega = \frac{\sqrt{2p_0 \Delta l}}{\sqrt{2\rho h (l_0 + \Delta l)^2 + \rho h^2 (l_0 + \Delta l)}} = 5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ .

220.  $H = 30 \text{ м}$ . 221.  $V_2 = 0,6 \text{ м}^3$ . 222.  $B \alpha = 3 \text{ раза}$ . 223.  $\Delta t = 87^\circ \text{С}$ .

224.  $T_2 = 500 \text{ К}$ . 225. На  $\eta = 15 \%$ . 226.  $V_2 = 0,55 \text{ дм}^3$ . 227.  $\Delta l = 1 \text{ см}$ .

228. На  $\eta = 5 \%$ . 229.  $m = 60 \text{ г}$ . 230.  $t_2 = -23^\circ \text{С}$ . 231.  $T_1 = 3 \cdot 10^2 \text{ К}$ .

232.  $p_1 = 5,5 \text{ МПа}$ . 233.  $\Delta p = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . 234.  $m = 4,6 \text{ кг}$ .

235.  $T_{\text{кон}} = 3 \cdot 10^2 \text{ К}$ . 236.  $T_2 = T_0 \frac{p_2 V_1}{p_0 V_0}$ . 237.  $T_2 = 1,8 \cdot 10^3 \text{ К}$ .

238.  $p_4 = p_1 \frac{V_1 T_3}{T_1 V_4} = 1,6 \cdot 10^6 \text{ Па}$ . 239.  $T_{\text{min}} = 3,9 \cdot 10^2 \text{ К}$ .

240.  $T_2 = \sqrt{T_1 T_3} = 300 \text{ К}$ . 267.  $m = 46 \text{ г}$ . 268.  $p_1 = 7 \text{ кПа}$ ;  $p = 12 \text{ кПа}$ ;

$m = 17$  мг. **269.**  $V_1 = 1,7$  м<sup>3</sup>;  $p = 47$  кПа. **270.** а)  $\varphi = 50$  %; б)  $\rho_{\text{п}} = 8,2 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$ ;

в)  $t_{\text{п}} = 8$  °С. **271.**  $p = 1,2$  кПа;  $\rho_{\text{п}} = 8,8 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$ . **272.**  $N = 1,5 \cdot 10^{25}$ .

**273.**  $\rho_{\text{п}} = 9,7 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$ ;  $\varphi_2 = 72$  %. **274.**  $\Delta m = 0,23$  кг. **275.**  $\Delta m = 1,3$  кг.

**276.**  $\Delta m = 0,25$  кг. **277.** Выпадает:  $m = 3$  г. **278.**  $\rho_{\text{п}2} = 13 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$ .

**279.**  $\varphi_2 = 68$  %. **280.**  $\varphi = \frac{\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2}{V_1 + V_2} = 46$  %. **281.**  $m = 86$  кг.

**282.**  $\tau = 15$  мин. **283.**  $\frac{\rho_{\text{п}2}}{\rho_{\text{п}1}} = 2,6$ . **284.**  $N = 2 \cdot 10^3$ . **285.**  $\varphi_2 = 57$  %.

**286.** а)  $t_{\text{С}} = 2$  °С,  $t_{\text{В}} = 1$  °С; б)  $t_{\text{С}} = 24$  °С,  $t_{\text{В}} = 22$  °С. **287.** а)  $\varphi_1 = 100$  %,

$\varphi_2 = 56$  %; б)  $t_{\text{В}} = 13$  °С. **288.**  $\varphi = 60$  %,  $p_{\text{п}} = 0,96$  кПа.

**289.**  $p = 1,2 \cdot 10^5$  Па. **290.**  $\varphi_1 = 90$  %.

## II. Основы термодинамики

**291.**  $U = 0,21$  кДж. **292.**  $U = 16$  кДж. **293.**  $T = 294$  К.

**294.**  $n = 2,4 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>. **295.**  $U = 0,4$  кДж. **296.**  $U = 1,2$  Дж.

**297.**  $U = 0,18$  кДж. **298.**  $\rho = 39 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$ . **299.**  $\Delta h = 20$  см. **300.**  $U = 2 \cdot 10^5$  Дж.

**301.**  $U_{\text{max}} = U_{\text{В}}$ ,  $U_{\text{min}} = U_{\text{А}}$ . **304.**  $U = 24$  кДж. **305.**  $\Delta U = 0,5$  кДж.

**306.** В  $n = 1,4$  раза. **307.** Уменьшилась в  $n = 2,5$  раза. **308.** На  $\eta = 20$  %.

**309.**  $\Delta U = 6,2$  кДж. **310.**  $\Delta U = 0,15$  кДж. **311.**  $\Delta U = 93$  кДж.

**312.**  $\nu_1 = 6$  моль. **313.**  $U_{\text{нач}} = U_{\text{кон}}$ . **314.** Уменьшилась в  $\varepsilon = 8$  раз.

**315.** На  $\Delta U = \frac{3}{2} pV \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = 0,56$  Дж.

**316.**  $\Delta U = \frac{3}{2} \left( \frac{m_{\text{п}} g}{S} + p_0 \right) V_1 (\alpha - 1) = 18$  кДж. **317.**  $T_1 = \frac{\Delta U}{12\nu R} = 100$  К.

318.  $\Delta U = \frac{3(1-\alpha)}{2\alpha} \nu RT_0 = -1,9 \text{ кДж}$ . 319.  $p_1 = \frac{2\beta\Delta U}{3V_1(1-\beta)} = 4 \text{ кПа}$ .

320.  $\Delta U = \frac{3}{2} \nu RT_1 (\sqrt{n^3} - 1)$ . 321.  $A = 1,5 \text{ кДж}$ . 322.  $\Delta V = 6,2 \text{ л}$ .

323.  $A = 0,83 \text{ кДж}$ . 324.  $\Delta T = 290 \text{ К}$ . 325.  $A = \frac{2}{3} \Delta U = 40 \text{ кДж}$ .

326. В 16 раз. 327.  $V_1 = \frac{A}{p(n-1)} = 30 \text{ дм}^3$ . 328.  $A = \nu RT_1(n-1) = 11 \text{ кДж}$ .

329.  $A = 5 \text{ кДж}$ . 330.  $V_1 = 0,20 \text{ дм}^3$ .

331.  $A = \left(p_0 + \frac{m_{\text{Hg}}g}{S}\right) V_1(n-1) = 0,6 \cdot 10^5 \text{ Дж}$ . 332. На  $|\Delta T| = \frac{A_{\text{вн}} T_1}{p V_1} = 50 \text{ К}$ .

333.  $A = \left(p_0 + \frac{m_{\text{Hg}}g}{S}\right) h_1 S \frac{\Delta T}{T_1} = 80 \text{ Дж}$ . 334. На процессе 1—2.

335. На процессе 2—3. 336. На процессе 2—3. 337.  $A = 3\nu RT_1 = 14 \text{ кДж}$ .

338.  $A_{\text{вн}} = (n-1) \frac{m}{M} RT_1$ . 339.  $A = 2NkT_1 = 2 \text{ кДж}$ . 340.  $A = 2,6 \text{ кДж}$ .

341.  $A_{12} > 0, A_{23} > 0, A_{34} < 0, A_{41} < 0$ . 342.  $A_{12} > 0, A_{23} > 0, A_{45} < 0, A_{51} < 0$ .

343.  $A = 1 \text{ кДж}$ . 344.  $A = 7p_0 V_0 = 7 \text{ кДж}$ . 345.  $A = 60 \text{ кДж}$ . 346.  $A = 28 \text{ кДж}$ .

347.  $A = \frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2) = 24 \text{ кДж}$ . 348.  $A_{23} = \frac{3}{2} \Delta U_{12} = 42 \text{ кДж}$ .

349.  $A_{23} = \frac{2}{3} \Delta U_{13} = 40 \text{ Дж}$ . 350.  $A_{12} = \frac{\Delta U_{23}}{4} = 19 \text{ кДж}$ .

351.  $A_{13} = 0,75 \text{ кДж}$ . 352.  $A = \frac{\nu R \Delta T}{2} = 0,17 \text{ кДж}$ .

353.  $A = \frac{3\nu RT_1}{4} = 5 \text{ кДж}$ . 354. В  $n = \frac{AM_1 M_2}{(m_1 M_2 + m_2 M_1) RT_1} + 1 = 4,4$  раза.

355.  $A = 0,21 \text{ кДж}$ . 357.  $Q = 0,42 \text{ МДж}$ . 358.  $t = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ .

359.  $t_2 = 11 \text{ }^\circ\text{C}$ . 360.  $m_2 = 6,4 \text{ кг}$ . 361.  $V_1 = 80 \text{ л}$ . 362.  $m_4 = 0,33 \text{ кг}$ .

363.  $C_1 = 54 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}$ . 364.  $t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ . 365.  $m_3 = 8 \text{ кг}$ . 366.  $t = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ .

369.  $Q = 13,2 \text{ кДж}$ . 370.  $Q = 2,5 \text{ МДж}$ . 371.  $m_1 = 4,2 \text{ кг}$ .

372.  $m_2 = 34$  кг. 373.  $m_2 = 13$  кг. 375.  $Q = 242$  кДж. 376.  $m = 60$  г.

377.  $m_0 = 0,8$  кг. 378.  $m_3 = 93$  г. 379.  $\eta = 13$  %. 380.  $\tau = 17$  мин.

382.  $A = 100$  Дж;  $p = 50$  кПа. 383.  $\Delta V = 4$  дм<sup>3</sup>;  $U_2 = 0,8$  кДж.

384.  $Q = 1,8$  кДж. 385.  $A = 1,0$  кДж;  $\Delta U = 1,5$  кДж. 386.  $\Delta U = 90$  кДж;

$A = 60$  кДж;  $Q = 0,15$  МДж. 387.  $\eta_{\Delta U} = 60$  %;  $\eta_A = 40$  %. 388.  $Q = 95$  кДж.

389.  $Q = 0,24$  МДж. 390.  $\Delta U = 180$  Дж. 391.  $A = 240$  Дж. 392.  $\Delta r = 20$  см.

393.  $\Delta r = 56$  см. 394.  $\Delta U = 52$  Дж,  $A = 35$  Дж,  $Q = 87$  Дж.

395.  $Q_{23} = 15$  кДж. 396.  $t_1 = -32$  °С;  $Q = 0,10$  МДж.

397.  $\nu = \frac{2Q}{5(k-1)RT_1} = 0,2$  моль. 398.  $Q = \frac{5}{2}pV_1(k-1) = 1$  кДж.

399.  $t_1 = 69$  °С. 400. 1—2 — отдавал; 2—3 — получал. 401.  $Q = -83$  кДж.

402.  $Q_{BC} > Q_{AB} > Q_{CD}$ . 403.  $Q_{13} = 28$  Дж.

404.  $A_{23} = Q - \frac{5}{2}p_1(V_2 - V_1) = 0,60$  кДж. 405.  $Q = 216$  кДж.

406.  $Q = 24p_0V_0 = 24$  кДж. 407.  $A_{23} = 12$  Дж.

408.  $Q_{23} = \frac{20A_{12}}{3} = 80$  кДж. 409.  $\Delta U_{12} = 400$  Дж. 410.  $T_1 = 302$  К.

411.  $\Delta U = 7,2$  кДж. 412.  $Q_2 = -50$  Дж. 413.  $\Delta U = 75$  Дж.

414.  $Q = \frac{11}{2}\nu RT_1 = 11$  кДж. 415.  $Q = \frac{13}{2} \frac{m}{M} RT_1 = 31$  кДж.

416.  $Q = 23$  кДж. 417.  $Q = \frac{5}{2n}\nu RT_1(k-1) = 21$  кДж. 418. В  $n = 6$  раз.

419.  $p_1 = \frac{2Q - 3p_3V_2}{2V_2 - 5V_1} = 0,20$  МПа. 420.  $Q = \frac{3}{2}\nu RT_1(n^2 - 1)$ .

421.  $Q = 79$  кДж; в  $n = 3$  раза. 422.  $Q = 75$  кДж. 423.  $T_1 = 2,0 \cdot 10^2$  К.

424\*.  $T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = 360$  К. 425.  $p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2} = 0,20$  МПа.

426.  $Q_2 - Q_1 = 0,40$  МДж. 427.  $Q = 2 \frac{m}{M} R \Delta T = 0,33$  кДж.

428.  $Q = 2\nu R\Delta T = 6,2$  кДж. 429. В  $k = 2$  раза. 430.  $T_2 = \frac{6}{7}T_1$ .
433.  $Q_1 = 18p_0V_0$ . 434.  $V_0 = 0,5$  м<sup>3</sup>. 435.  $|Q_{отд}| = 0,46$  МДж. 436.  $A = 30$  Дж.
437.  $A = 0,1\nu R\Delta T = 0,25$  кДж. 438.  $A = Q_{23} - \nu R(T_4 - T_1) = 3,1$  кДж.
439.  $A = \frac{\nu M}{3} (\langle v_{кв1} \rangle)^2 = 6,4$  кДж. 440.  $A = \frac{m}{M} R(\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1})^2 = 1,1$  кДж.
441.  $A_{12} = 30$  кДж. 442.  $\eta = 20$  %. 443.  $\eta = 20$  %.
444.  $\eta_2 = 25$  %. 445.  $\eta_2 = 44$  %. 446.  $\eta_2 = 32$  %.
447. а)  $A = 2$  кДж; б)  $Q_1 = 13$  кДж; в)  $Q_2 = -11$  кДж; г)  $\Delta U_{\max} = 9$  кДж;  
 д)  $\eta = 15$  %. 448.  $\eta = 15$  %. 449.  $\eta = 12$  %. 450.  $\eta = 14$  %. 451.  $\eta = 17$  %.
452.  $\eta = 14$  %. 453.  $A = \frac{\nu RT_1(3\eta + 2)}{2(1 - \eta)} = 1,9$  кДж, где  $\eta = 0,13$ .
454.  $\eta = 20$  %. 455.  $\eta = 10$  %. 456.  $\eta = 50$  %. 457.  $A = 7,5$  кДж.
458.  $p_1 = 6,4 \cdot 10^5$  Па. 459.  $\eta = \frac{A_{12} - A_{31}}{2,5A_{12}} \cdot 100\% = 16$  %.
460.  $n = \frac{4\eta + 1}{1 - 4\eta} = 3$ , где  $\eta = 0,125$ . 461.  $N = \frac{\eta_3 q \rho V}{\langle P \rangle \tau \cdot 100\%} = 114$ .
462.  $v = 24 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . 463.  $\eta_3 = 42$  %. 464.  $P = 17$  кВт. 465.  $F_c = 1,0$  кН.

### III. Электростатика

476.  $q_3 = 2|q_1|$ . 477.  $q = -17e$ . 478.  $N = 2,0 \cdot 10^{10}$ . 479.  $N = 60$ .
480.  $q = -1,6$  Кл. 481.  $m = 4,1 \cdot 10^{-21}$  кг. 482.  $\Delta q = 6$  нКл.
483.  $q_1 = 0,2$  нКл,  $q_2 = 0,6$  нКл. 484.  $n = 1,8$ . 485.  $q_2 = -\frac{3}{2}q_1$ .
486.  $q_1 = -12$  мкКл и  $q_2 = 60$  мкКл. 487. а)  $q_1 = q_2 = q_3 = 20$  пКл;  
 б)  $q_1 = q_3 = 30$  пКл,  $q_2 = 0$ . 488.  $q = \frac{2eUN_A}{3RT}$ . 489.  $q = 9,63 \cdot 10^4$  Кл.
490.  $q = 5,4 \cdot 10^3$  Кл. 493.  $F = 0,54$  мН. 494.  $q = 0,02$  мкКл.
495.  $r = 6$  см. 496.  $\varepsilon = 2$ . 497.  $\varepsilon = 2,0$ . 498.  $q_2 = 8$  мкКл. 499.  $r = 40$  см.

500.  $N = 2,0 \cdot 10^{10}$ . 501.  $F_x = 72$  мН,  $F_y = 54$  мН. 502.  $F_0 = 48$  мН.

503. Уменьшится в 1,8 раза. 504.  $F_0 = \frac{4}{3} \Delta F = 16$  мкН. 505.  $F = 88$  мН.

506.  $r_2 = 50$  см. 507.  $r_1 = 12$  см. 508.  $r = 0,3$  м. 509.  $F_2 = 0,90$  мкН.

510.  $|q| = 3$  нКл или  $|q| = 75$  нКл. 511. Уменьшился на 20 %, увеличил-

ся на 80 %. 512.  $q_1 = \frac{kQ - \sqrt{(kQ)^2 - 4k\epsilon F r^2}}{2k} = 2$  мкКл,  $q_2 = 4$  мкКл.

513.  $|q_2| = \frac{mgr^2}{kq_1} = 0,10$  мкКл. 514.  $r_{\max} = \sqrt{\frac{k|q_1||q_2|}{F - mg}} = 18$  мм.

515.  $|q_0| = 4l \sin \frac{\varphi}{2} \sqrt{\frac{mg}{k} \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} = 0,32$  мкКл.

516.  $|q| = 2l \sin 45^\circ \sqrt{\frac{mg}{k}} = 4,0$  мкКл. 517.  $|q| = 0,96$  мкКл.

518.  $q = r \sqrt{\frac{mg(n-1)}{nk}} = 10$  нКл. 519.  $|q| = l \sqrt{\frac{mg}{k}} = 0,2$  мкКл.

520.  $q_2 = -1$  мкКл. 521.  $\alpha = 45^\circ$ . 522.  $T = 2\pi l \sqrt{\frac{ml \cos \alpha}{mgl^2 + 2kq^2 \cos \alpha}}$ .

523.  $\frac{q_2}{m_2} = -\frac{\omega^2 r^3}{kq_1} = -15 \frac{\text{мкКл}}{\text{кг}}$ . 524.  $h = \frac{2g}{\omega_1^2 + \omega_2^2} = 0,8$  м.

525.  $\omega = \frac{|q|}{2R} \sqrt{\frac{3k}{mR}} = 15 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ . 526.  $\omega_2 = \sqrt{\omega_1^2 - \frac{kq^2}{mr^3}} = 1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ .

527.  $F = \frac{mg}{\cos \alpha} + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 l^2}$ . 528.  $F = \frac{kq^2}{l^2} - \frac{m(g+a)}{\operatorname{tg} 60^\circ} = 0,15$  Н.

529.  $F = \frac{3k|q_1||q_2|}{l^2} = 27$  мН. 530.  $\rho = \frac{\epsilon \rho_{\text{ж}}}{\epsilon - 1} = 1,6 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

531.  $F = 4$  мН. 532.  $\Delta r = \frac{|q_1|}{2} \sqrt{\frac{k}{mg} - \frac{3mg}{k_{\text{п}}}} = 0,12$  м.

533.  $F = \frac{k|q|^2}{r^2} \left( 1 - \frac{\rho(\epsilon - 1)}{\rho_{\text{к}} \epsilon} \right)$ ,  $m = \frac{k|q|^2}{r^2} \frac{\rho(\epsilon - 1)}{\rho_{\text{к}} \epsilon g}$ . 534.  $F = 1,0$  мН.

535.  $F = 0,54$  мН. 536.  $\frac{q_1}{|q_2|} = 4$ . 537. а) в 3 раза; б) в 9 раз. 538. В 3 раза.

539.  $F_3 = 136$  мН. 540.  $F_2 = 5$  мН. 541.  $q_0 = -\frac{4}{9}q$ ;  $r_1 = \frac{l}{3}$ . 542. В 2,2 раза.

543.  $F_3 = 1,5$  мН. 544.  $F = \frac{\sqrt{3}k|q_1||q_2|}{r^2}$ ;  $F' = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2}$ . 545.  $q_1 = 3q_2$ .

546.  $F = \frac{\sqrt{3}kq^2}{a^2}$ ,  $q_0 = -\frac{\sqrt{3}}{3}q$ . 547.  $F = \frac{k|q|^2}{\varepsilon a^2}$ . 548.  $F = 0,03$  Н. 549.  $F = 2$  Н.

550.  $F_1 = 24$  мкН;  $F_2 = 32$  мкН. 551.  $F = 10$  мкН. 552.  $F = \frac{kq^2}{2R^2}\sqrt{13} = 18$  Н.

553.  $q_0 = -3,2$  мкКл. 554.  $F = 9,0$  мкН. 555.  $F = \left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}\right)\frac{kq^2}{a^2}$ ,

$q_0 = -\left(\frac{1}{4} + \frac{\sqrt{2}}{2}\right)q$ . 556.  $|q| = \frac{Fa^2}{4\sqrt{2}kq_0} = 0,40$  мкКл. 557. В 3 раза.

558.  $F_{24} = \frac{k}{l^2}\left(q_2q_4 - \frac{\sqrt{3}q_1q_3}{9}\right) = 49$  мкН. 559.  $q = l\sqrt{\frac{2}{5}\pi\varepsilon_0k_{\text{п}}(l-l_0)}$ .

560.  $q = 4l_0\sqrt{\pi\varepsilon_0k_{\text{п}}l_0}$ . 561.  $E = 75 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . 562.  $q = 20$  нКл. 563.  $F = 84$  мН.

564.  $F = 9$  мкН. 565.  $F = 4 \cdot 10^{-16}$  Н. 566.  $q = \frac{mgtg\alpha}{E} = 2,5$  мкКл.

567. а)  $E = 0,10 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ ; б)  $a = 5,0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ; в)  $a = 2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . 568. а)  $F = 0,14$  Н;

б)  $F = 20$  мН; в)  $F = 0,10$  Н. 569.  $E = \frac{k|\Delta x|}{q}$ .

570.  $F = \sqrt{(mg)^2 + (qE)^2} - 2mgqE \cos \alpha = 20$  мН. 571.  $E = \frac{2mg}{q} = 40 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ .

572.  $v = \frac{q_p E \Delta t}{m_p} = 2,9 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . 573.  $s = \frac{m_e v_0^2}{2eE}$ ;  $\Delta t = \frac{m_e v_0}{eE}$ . 574.  $E = 2 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ .

575.  $E = \frac{k|q_1||q_2|(m_1 + m_2)}{l^2(|q_1|m_2 + |q_2|m_1)} = 27 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . 576.  $E = 30 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ .

577.  $m = \frac{\rho_2 q E}{g(\rho_2 - \rho_1)} = 4,5$  г. 578.  $E = \frac{4\pi R^3 g(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{к}})}{3|q|}$ .

$$579. n = \frac{\varepsilon(\rho_{\text{ал}} - \rho_{\text{в}})}{\rho_{\text{ал}}} = 51 \text{ раз. } 580. \frac{q}{m} = \frac{dv_0^2}{El^2} = 9,6 \cdot 10^7 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}.$$

$$581. \Delta t = \sqrt{\frac{dm_e}{eE}}; v = \sqrt{v_0^2 + \frac{eEd}{m_e}}. 582. \text{ В } 2,0 \text{ раза. } 583. v_0 = l \sqrt{\frac{eE}{2m_e h}}.$$

$$584. \omega = \sqrt{\frac{qE + mg}{ml \cos \alpha}}; F = \frac{qE + mg}{\cos \alpha}; E_{\text{к}} = \frac{(qE + mg) l \operatorname{tg} \alpha \sin \alpha}{2}.$$

$$585. \text{ Уменьшится в } n = \sqrt{\frac{qE + mg}{mg}} = 2 \text{ раза. } 586. q = 50 \text{ нКл.}$$

$$587. r = 0,3 \text{ м. } 588. E = 1,5 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}. 589. \text{ В } 9 \text{ раз. } 590. E_2 = 0,10 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}.$$

$$591. \text{ На } |\Delta q| = 2,0 \text{ нКл. } 592. E = \frac{4E_A E_C}{(\sqrt{E_A} + \sqrt{E_C})^2} = 576 \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

$$593. E_B = 0,3 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}. 598. E = 1,2 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}. 599. E = 0,8 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}.$$

$$602. r = 1,5l = 15 \text{ см. } 603. l = \left(1 + \sqrt{\frac{q_2}{q_1}}\right) r = 55 \text{ см. } 604. E = 32 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}.$$

$$605. E_1 = 0,20 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}. 606. n = 9. 607. E_A = \frac{49 k|q|}{36 l^2}. 608. \text{ а) } E_{Cx} = 0 \frac{\text{В}}{\text{м}};$$

$$E_{Dx} = 125 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}; \text{ б) } E_{Cx} = 200 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}; E_{Dx} = -75 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}; \text{ в) } E_{Cx} = -200 \frac{\text{кВ}}{\text{м}};$$

$$E_{Dx} = 75 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}; \text{ г) } E_{Cx} = 0 \frac{\text{В}}{\text{м}}; E_{Dx} = -125 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}. 609. E = 2,0 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}.$$

$$610. E = 30 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}. 611. q_3 = -3,6 \text{ мкКл. } 612. E = \frac{2k|q| \cos 30^\circ}{r^2}.$$

$$613. \text{ а) } E = \frac{2k|q| \sqrt{r_2^2 - (r_1/2)^2}}{r_2^3} = 36 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}; \text{ б) } E = \frac{k|q|r_1}{r_2^3} = 27 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}.$$

$$614. E = \frac{k|q|\sqrt{2}}{a^2} = 28 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}. 615. E = \frac{k|q|}{r^2} = 0,50 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}. 616. E_0 = 45 \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

$$617. E = \frac{k(|q_1| + |q_2|)}{a^2}. 618. E = \frac{k(|q_1 + q_2 + q_3|)(1 + 2\sqrt{2})}{6a^2} = 8,6 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}.$$

619.  $E = \frac{4k\sqrt{9(|q_1|+|q_2|)^2 + q_1^2}}{3a^2} = 15 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ . 620.  $E = 21 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ . 621. BC, DM.
622.  $A_1 = A_2$ . 623.  $A = -5 \text{ мкДж}$ . 624.  $A = 30 \text{ мкДж}$ ;  $W_{\text{и}} = -30 \text{ мкДж}$ .
625. а)  $A_{AB} = 0 \text{ Дж}$ ; б)  $A_{AC} = 1,5 \text{ мДж}$ ; в)  $A_{CB} = -1,5 \text{ мДж}$ .
626.  $\varphi = 0,15 \text{ кВ}$ . 627.  $W_{\text{и}2} = -2 \text{ мДж}$ . 628.  $A = 96 \text{ нДж}$ ;  
 $\Delta W_{\text{и}} = -96 \text{ нДж}$ . 629.  $\varphi_2 = 30 \text{ В}$ . 630.  $q = -72 \text{ мкКл}$ . 631.  $A = 6,0 \text{ мкДж}$ .
632. а)  $\varphi_A - \varphi_B = \pm 6,0 \text{ кВ}$ ; б)  $\varphi_A - \varphi_B = 0 \text{ В}$ ; в)  $\varphi_A - \varphi_B = 3,0 \text{ кВ}$ .
633.  $N = 3 \cdot 10^4$ . 634.  $m = 4,0 \text{ г}$ . 635.  $\Delta t = 90 \text{ мс}$ . 636.  $q = \frac{mgd}{2U} = 5,0 \text{ фКл}$ .
637.  $v = 2 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$ . 638.  $U_{\text{max}} = \frac{2d^2|\varphi_1 - \varphi_2|}{l^2} = 1,8 \text{ кВ}$ .
639.  $(E_{\kappa})_0 = \frac{q_p l U}{d \sin 2\alpha}$ . 640.  $\varphi = 54 \text{ В}$ . 641.  $q = 0,60 \text{ нКл}$ .
642.  $r = 81 \text{ мм}$ . 643. а)  $\varphi_A - \varphi_B = 0,45 \text{ кВ}$ ; б)  $\varphi_A - \varphi_B = 0,10 \text{ кВ}$ .
644.  $\sqrt{n}$  раз. 645.  $l = \frac{kq(\varphi_A - \varphi_B)}{\varepsilon\varphi_A\varphi_B} = 54 \text{ см}$ . 646.  $\varphi = \frac{10q}{3\pi\varepsilon_0 l}$ ;  $E = \frac{4q}{3\pi\varepsilon_0 l^2}$ .
647.  $\varphi_O = \frac{2\varphi_A\varphi_C}{\varphi_A + \varphi_C} = 15 \text{ В}$ . 648.  $\varphi = 72 \text{ кВ}$ . 649.  $E = 0,99 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ .
650.  $E_x = -36 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ . 651.  $\varphi = 90 \text{ В}$ . 652.  $\varphi = 0 \text{ В}$ ;  $E = 90 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ . 653.  $\varphi = 0,54 \text{ кВ}$ .
654.  $\varphi = 80 \text{ В}$ . 655.  $\varphi = 2,1 \text{ В}$ . 656.  $\varphi = \frac{\sqrt{2}q}{\pi\varepsilon_0 a}$ . 657.  $\varphi_0 = -36 \text{ В}$ .
658.  $\varphi = -0,27 \text{ кВ}$ ;  $E = 4,5 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . 659.  $\varphi = 0,75 \text{ кВ}$ . 660.  $a = 60 \text{ см}$ .
661.  $A = \frac{kq}{6l} \left( \frac{q_1}{2} + q_2 \right)$ . 662.  $A_{\text{min}} = kq^2 \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) = 72 \text{ мДж}$ .
663.  $A = 8,1 \text{ мДж}$ . 664.  $A = kq(q_1 - q_2) \left( \frac{1}{\sqrt{r_1^2 + r_2^2}} - \frac{1}{r_2} \right) = 0,90 \text{ мДж}$ .
665.  $A = 2,6 \text{ мкДж}$ . 666.  $A = q_0 \sqrt{\frac{kq}{\varepsilon}} (\sqrt{E_1} - \sqrt{E_2})$ . 667.  $v = 80 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

$$668. v_0 = \sqrt{\frac{2q(\varphi_1 - \varphi_2)}{(k-1)m}}; v = \sqrt{\frac{2kq(\varphi_1 - \varphi_2)}{(k-1)m}}. 669. \frac{(E_k)_\alpha}{(E_k)_p} = 2; \frac{v_p}{v_\alpha} = \sqrt{2}.$$

$$670*. W_{II} = 0,10 \text{ кДж}. 671*. W_{II} = 45 \text{ мДж}. 672*. W_{II} = 12 \text{ мкДж}.$$

$$673*. A_{\min} = \frac{0,5kq^2}{a} = 10 \text{ нДж}. 674*. v = 9 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$675*. v = \sqrt{\frac{4kqq_0}{am} + \frac{kq^2}{am}} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}. 676*. r_{\min} = \frac{kq_e^2}{m_e v_0^2}. 677*. r_{\min} = \frac{5kq_p^2}{m_p v^2}.$$

$$678*. k_{\text{нр}} = 90 \frac{\text{Н}}{\text{м}}. 679*. p_{\min} = l_0 \sqrt{1,5k_{\text{нр}}m} = 0,036 \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$680*. \mu = \frac{kq^2}{mgr_1 r_2} = 0,10. 681*. m = \frac{kq^2}{\mu gl(l+2s)} = 25 \text{ г}. 682*. v_0 = 2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$683*. v_{\max} = 2,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}. 684*. v_{\min} = 6,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}. 685*. v_{\min} = 8,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$686*. v_{\min} = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}. 687*. r_{\max} = 30 \text{ м}. 688*. v_{\min} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$689*. q = \frac{hl(E_C + E_A - 2E_B)}{2kq_0(l-h)} = 20 \text{ мкКл}. 690. E_k = \frac{(eEt)^2 + (m_e v_0)^2}{2m_e}.$$

$$691*. v = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}. 692*. v = \sqrt{\frac{2}{m} \left( mgh + \frac{kq_1 q_2}{h} - \frac{kq_1 q_2 \text{tg} \alpha}{h} \right)} = 3,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$693*. E_k = 29 \text{ Дж}. 694*. v_{\min} = \sqrt{\frac{kq|Q|}{5\sqrt{5}tm} + 5gl} = 5,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$695. A_1 = A_3 > A_2. 696. \text{ а) } E_1 > E_2; \text{ б) } \varphi_1 > \varphi_2. 698*. \varphi_A = 40 \text{ В};$$

$$\varphi_B = \varphi_C = 20 \text{ В}. 699. \text{ а) } E_1 < E_2; \text{ б) } \varphi_1 > \varphi_2. 700. A = 1,8 \text{ мДж}.$$

$$701*. \text{ а) } C_M = C_{\text{ал}}; \text{ б) } C_M < C_{\text{ал}}. 702. \text{ Нет}. 707. C = 30 \text{ пФ}.$$

$$708. U = 0,92 \text{ кВ}. 709. C = 0,25 \text{ нФ}. 710. \frac{q_2}{q_1} = 50. 711. \frac{U_2}{U_1} = 25.$$

$$712. d = 10 \text{ мм}. 713. \varepsilon = 6. 714. \varepsilon = 8. 715. \text{ а) увеличится};$$

$$\text{ б) увеличится}. 716. \text{ а) увеличится в 2 раза; б) увеличится в 3 раза}.$$

717.  $C = 5 \text{ мкФ}$ . 718.  $E = 2 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ . 719.  $E = 28 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ .

720.  $F = \frac{\varepsilon_B \varepsilon_0 S U^2}{2d^2} = 2,5 \text{ мН}$ . 721.  $d = 0,8 \text{ мм}$ . 722.  $U = 39 \text{ В}$ .

723.  $U_2 = 0,12 \text{ кВ}$ . 724.  $U_2 = 0,4 \text{ кВ}$ . 725.  $U = 50 \text{ В}$ .

726.  $U_2 = 32 \text{ В}$ . 727.  $\varepsilon = \frac{|\Delta q|d}{\varepsilon_0 \pi R^2 U} + 1 = 2,4$ . 728.  $U_2 = 2 \text{ кВ}$ .

729. На  $|\Delta U| = 0,1 \text{ кВ}$ . 730.  $|\Delta q| = \frac{\varepsilon_0 S U (\varepsilon - 1)}{d}$ . 731.  $l_{\max} = d \sqrt{\frac{2CE_{\text{к}}}{qQ}}$ .

732.  $Q = 9,1 \text{ мкКл}$ . 733.  $Q = \frac{E_{\text{к}} C d \sin 2\alpha}{el}$ . 735.  $W = 0,16 \text{ Дж}$ .

736.  $W = 0,72 \text{ мДж}$ . 737.  $q = 17 \text{ мкКл}$ . 738. а)  $W_1 = 1 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$ ;

б)  $W_2 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$ . 739.  $W = 1,8 \text{ мДж}$ . 740.  $d = 6,0 \text{ мм}$ . 741.  $S = 0,064 \text{ м}^2$ .

742. На  $\Delta t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ . 743.  $\langle P \rangle = 10 \text{ МВт}$ . 744.  $A = 60 \text{ мДж}$ .

745. Увеличилась в  $\varepsilon$  раз. 746. В  $n = \frac{2A\varepsilon_0 S}{q^2 d} + 1 = 4$  раза.

747.  $\varepsilon = \frac{W + A}{W} = 4,5$ . 748.  $A = \frac{C\varepsilon(\varepsilon - 1)U^2}{2} = 50 \text{ Дж}$ . 749\*.  $A = 80 \text{ мДж}$ .

750.  $W_2 = 24 \text{ мкДж}$ .

#### IV. Постоянный электрический ток

751.  $q = 27 \text{ кКл}$ . 752.  $N = 6 \cdot 10^{21}$ . 753.  $R = 4,4 \text{ Ом}$ .

754. В  $n = 8$  раз. 755.  $S_{\text{тонк.}} = 0,4 \text{ мм}^2$ . 756.  $m_2 = 4m_1$ . 757.  $R_0 = 12 \text{ Ом}$ .

758.  $R = 2 \text{ Ом}$ . 759.  $I_1 = 0,2 \text{ А}$ ;  $I_2 = 0,6 \text{ А}$ ;  $I_3 = 0,4 \text{ А}$ .

760. На  $N = 6$  частей. 761.  $R_1 = 10 \text{ Ом}$  и  $R_2 = 30 \text{ Ом}$ . 762.  $U_2 = 90 \text{ В}$ .

763.  $U_{AB} = 0,22 \text{ кВ}$ . 764.  $U_{AB} = 41 \text{ В}$ . 765.  $I_2 = 2,5 \text{ А}$ ;  $I_3 = 1,0 \text{ А}$ .

766.  $I_A = 0,5 \text{ А}$ . 767.  $R_V = 4,0 \text{ кОм}$ . 768.  $R_V = 1,5 \text{ кОм}$ .

$$769. \frac{I_2}{I_V} = \frac{(U - U_V)R_1}{(U - U_V)R_1 - U_V R_2} = 4. \quad 770. U_2 = \frac{UU_1 R_1}{(U - U_1)R_2 + U_1 R_1} = 4,0 \text{ В.}$$

$$771. U_1 = \frac{I_1 U_2}{I_1 - I_2} = 8,0 \text{ В.} \quad 772. I_2 = 3 \text{ А.} \quad 773. I_A = 0,5 \text{ А.}$$

$$774. R_V = \frac{3U_V R}{I_A R - U_V} = 0,90 \text{ кОм.} \quad 775. U_1 = \frac{U_2^2 - U_3^2 + U_2 U_3}{U_3} = 11 \text{ В.}$$

$$776. I_3 = \frac{I_2^2 - I_1^2 + I_1 I_2}{I_1} = 19 \text{ мА.} \quad 777. U_V = \frac{n(k-1)}{kn-1} U_0 = 4 \text{ В.}$$

$$778. I_2 = 0,2 \text{ А.} \quad 779. A = 0,12 \text{ кДж; } P = 12 \text{ Вт.} \quad 780. R = 0,1 \text{ кОм.}$$

$$781. P = 40 \text{ Вт.} \quad 782. \text{ В первой в } n = 3 \text{ раза.} \quad 783. P'_1 = \frac{P_1 P_2^2}{(P_1 + P_2)^2} = 3,2 \text{ Вт;}$$

$$P'_2 = \frac{P_2 P_1^2}{(P_1 + P_2)^2} = 0,8 \text{ Вт.} \quad 784. P'_2 = \frac{P_1^2}{P_2} = 10 \text{ Вт.} \quad 785. \text{ а) } P_1 = 2,4 \text{ Вт;}$$

$$\text{б) } P_2 = 3,2 \text{ Вт.} \quad 786. P_2 = 2 \text{ Вт.} \quad 787. Q = 6 \text{ Дж.} \quad 788. \text{ а) } Q'_1 = 0,12 \text{ кДж;}$$

$$\text{б) } Q_2 = 0,75 \text{ кДж.} \quad 789. Q = 60 \text{ Дж.} \quad 790. Q'_3 = 50 \text{ Дж.}$$

$$791. Q'_1 = \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} \right)^2 Q_1 = 9 \text{ Дж.} \quad 792. Q_2 = 72 \text{ Дж.} \quad 793. Q_2 = 16 \text{ Дж.}$$

$$794. l = \frac{U^2 S \eta \tau}{\rho c m (t_2 - t_1) \cdot 100 \%} = 3,0 \text{ м.} \quad 795. \tau = 2,0 \text{ мин.} \quad 796. \tau_2 = 11 \text{ мин.}$$

$$797. \tau_2 = 1,6 \text{ мин.} \quad 798. R = 2,5 \text{ Ом.} \quad 799. R = \frac{UI - Fv}{I^2} = 3 \text{ Ом.}$$

$$800. I = \frac{mgv(\mu\sqrt{1-k^2} + k) \cdot 100 \%}{\eta U} = 78 \text{ А.} \quad 801. A_{\text{ст}} = 0,36 \text{ Дж.}$$

$$802. \mathcal{E} = 3,6 \text{ В.} \quad 803. q = 40 \text{ мКл.} \quad 804. A_{\text{ст}} = 18 \text{ Дж.} \quad 805. A_{\text{ст}} = 36 \text{ Дж.}$$

$$806. I = 0,25 \text{ А.} \quad 807. R = 1,4 \text{ Ом.} \quad 808. r = 1,0 \text{ Ом.} \quad 809. r = 2 \text{ Ом.}$$

$$810. I = 1,5 \text{ А; } R = 6,0 \text{ Ом.} \quad 811. U_1 = 4,0 \text{ В; } U_2 = 2,4 \text{ В.}$$

$$812. \mathcal{E} = \frac{Ne}{\Delta t} (R + r) = 23 \text{ В.} \quad 813. A_{\text{ст}} = \frac{\mathcal{E}(\mathcal{E} - U)}{r} = 9 \text{ кДж.}$$

**814.**  $l = \frac{UrS}{(\mathcal{E} - U)\rho} = 2,5 \cdot 10^2 \text{ м.}$  **815.**  $U = 4,2 \text{ В.}$  **816.**  $S = 0,20 \text{ мм}^2.$

**817.**  $I_2 = 2 \text{ А.}$  **818.**  $\mathcal{E} = \frac{k(n-1)U}{n-k} = 4U.$  **819.** Показания амперметра уменьшаются, вольтметра — увеличатся. **820.** Показания первого и третьего амперметров увеличатся, а второго — уменьшатся.

**821.** Показания первого и третьего вольтметров уменьшатся, а второго — увеличатся. **822.**  $U = 8 \text{ В.}$  **823.**  $I = \frac{\mathcal{E} - 2U_{\text{л}}}{R_{\text{п}} + r} = 0,50 \text{ А.}$

**824.**  $I_1 = 3 \text{ А; } I_2 = 2 \text{ А.}$  **825.**  $U_1 = 85 \text{ В.}$  **826.** В  $k = \frac{2(2n+1)}{n+2} = 3$  раза.

**827.** Сила тока увеличится в  $n = 5$  раз; напряжение уменьшится в  $k = 1,8$  раза. **828.**  $k = 6$  раз. **829.**  $I = 1 \text{ А.}$

**830.**  $I_2 = \frac{I_1(R+2r)}{2(R+r)} = 1,2 \text{ А.}$  **831.**  $I = 1,5 \text{ А.}$  **832.**  $\mathcal{E} = 12 \text{ В; } r = 2,0 \text{ Ом.}$

**833.**  $\eta = \frac{r}{R_{\text{в}} + r} \cdot 100 \% = 0,25 \%;$  в  $n = 99$  раз. **834.**  $r = 2 \text{ Ом.}$

**835.**  $U_2 = 1,6 \text{ В.}$  **836.**  $U_{\text{в}} = 24 \text{ В.}$  **837.**  $I_1 = 2,0 \text{ А, } I_2 = 1,0 \text{ А, } I_3 = 3,0 \text{ А,}$   
 $U_1 = U_2 = 12 \text{ В, } U_3 = 15 \text{ В.}$  **838.**  $r = 1,0 \text{ Ом.}$  **839.**  $I_{\text{А}} = 0,25 \text{ А.}$

**840.**  $r = 0,5 \text{ Ом.}$  **841.**  $R_2 = \frac{I_1 R_1 r}{\mathcal{E} - I_1 R_1 - I_1 r} = 1,8 \text{ Ом.}$  **842.**  $U_{\text{в}} = 6 \text{ В.}$

**843.**  $\mathcal{E} = \frac{I_1 I_2}{I_2 - I_1} (R_1 - R_2) = 18 \text{ В, } r = \frac{R_1 I_1 - R_2 I_2}{I_2 - I_1} = 2 \text{ Ом.}$  **844.**  $I_2 = 2,4 \text{ А.}$

**845.**  $\mathcal{E} = \frac{U_2 I_1 - U_1 I_2}{I_1 - I_2} = 14 \text{ В, } r = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2} = 3 \text{ Ом.}$  **846.**  $r = 1,8 \text{ Ом.}$

**847.**  $r = \frac{R_1 R_2 (U_2 - U_1)}{U_1 R_2 - U_2 R_1} = 0,5 \text{ Ом.}$  **848.**  $\mathcal{E} = \frac{I_1 U_2 (R_2 - R_1)}{I_1 R_2 - U_2} = 56 \text{ В.}$

**849.**  $\mathcal{E} = \frac{k(n-1)U_1}{n-k} = 25 \text{ В.}$  **850.**  $R_{\text{в}} = \frac{R^2}{r} = 4 \text{ кОм.}$  **851.**  $r = \frac{R_1^2}{R_2} = 5 \text{ Ом.}$

**852.**  $U_{\text{в}} = 60 \text{ В.}$  **853.**  $I_{\text{А}} = 1 \text{ А.}$  **854.**  $I_2 = 0,36 \text{ А.}$  **855.**  $\mathcal{E} = 3,6 \text{ В.}$

$$856. \mathcal{E} = \frac{U_1 U_2}{2U_1 - U_2} = 15 \text{ В. } 857. \mathcal{E} = \frac{U_1 U_2}{U_2 - U_1} = 6,0 \text{ В.}$$

$$858. \mathcal{E} = \frac{UU_2}{U - U_1} = 30 \text{ В. } 859. \text{ а) } U_3 = \frac{2U_1 U_2}{U_1 + U_2} = 4 \text{ В;}$$

$$\text{б) } U_4 = \frac{U_1 U_2}{2U_1 - U_2} = 2 \text{ В. } 860. r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - I_1} = 4 \text{ Ом.}$$

$$861. I = \frac{\mathcal{E}}{3(R+r)} = 0,3 \text{ А. } 862. I_A = 0,75 \text{ А; } U_4 = 2,5 \text{ В.}$$

$$863. I_2 = \frac{\mathcal{E} R I_1}{\mathcal{E}(R+r) - I_1 r^2} = 2 \text{ А. } 864. \mathcal{E} = \frac{U_1 I_2 (R_V - R)}{I_2 R_V - U_1} = 25 \text{ В,}$$

$$r = \frac{(U_1 - I_2 R) R_V}{I_2 R_V - U_1} = 4,0 \text{ Ом. } 865. \frac{R_1}{R_2} = \frac{(\mathcal{E} - U_1) U_2}{U_1 (\mathcal{E} - U_2)} = 4.$$

$$866. U'_1 = 7,2 \text{ В, } U_2 = 4,8 \text{ В. } 867. U_1 = U_2 = 0,75 \mathcal{E}.$$

$$868. \mathcal{E} = \frac{U_1 U_2 (U'_2 - U'_1)}{U_1 U'_2 - U_2 U'_1} = 20 \text{ В. } 869. I_{\text{к.з.}} = 2 \text{ А. } 870. I_{\text{к.з.}} = 5 \text{ А.}$$

$$871. I_{\text{к.з.}} = 26 \text{ А. } 872. I_{\text{к.з.}} = \frac{\mathcal{E} I}{\mathcal{E} - IR} = 5,5 \text{ А. } 873. I_{\text{к.з.}} = \frac{\mathcal{E} U}{(\mathcal{E} - U) R} = 1,8 \text{ А.}$$

$$874. \text{ В } n = 4 \text{ раза. } 875. \mathcal{E} = \frac{I_{\text{к.з.}} IR}{I_{\text{к.з.}} - I}. 876. I_{\text{к.з.}} = \frac{U_1 U_2 (R_2 - R_1)}{R_1 R_2 (U_2 - U_1)} = 6 \text{ А.}$$

$$877. I_{\text{к.з.}} = \frac{I_1 I_2 (R_2 - R_1)}{I_2 R_2 - I_1 R_1} = 1 \text{ А. } 878. I_{\text{к.з.}} = 14 \text{ А. } 879. C = 25 \text{ нФ.}$$

$$880. \text{ а) } q = \frac{2C\mathcal{E}R}{2R+r} = 16 \text{ мкКл; б) } q = \frac{C\mathcal{E}R}{2R+r} = 8 \text{ мкКл;}$$

$$\text{в) } q = \frac{C\mathcal{E}R}{R+2r} = 8 \text{ мкКл; г) } q = \frac{C\mathcal{E}R}{R+r} = 12 \text{ мкКл. } 881. R_1 = 4 \text{ Ом.}$$

$$882. W = 6 \text{ мкДж. } 883. q_1 = 3 \text{ мкКл, } q_2 = 9 \text{ мкКл. } 884. q_1 = 6 \cdot 10^{-8} \text{ Кл,}$$

$$q_2 = 9 \cdot 10^{-8} \text{ Кл. } 885. W = \frac{(n-1)^2 C \mathcal{E}^2}{2n^2} = 0,45 \text{ мДж.}$$

886.  $A = \frac{(n-1)C\mathcal{E}^2}{128} = 30 \text{ мкДж}$ . 887.  $\Delta q = (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2)C = 65 \text{ нКл}$ .

888.  $\mathcal{E} = 10 \text{ В}$ ;  $q_1 = q_2 \frac{C_1 R_1 (R_1 + R_2 + R_3 + r)}{C_2 R_2 (R_1 + R_3 + r)} = 7,5 \text{ мкКл}$ .

889.  $\mathcal{E} = \frac{4q_1}{3C} = 16 \text{ В}$ ;  $q_2 = 25 \text{ мкКл}$ . 890.  $C_1 = 0,12 \text{ мФ}$ ,  $C_2 = 60 \text{ мкФ}$ ,

$C_3 = 40 \text{ мкФ}$ . 891.  $P = 1,7 \text{ Вт}$ ,  $P_0 = 2,0 \text{ Вт}$ . 892.  $P = 1,8 \text{ Вт}$ ,  $P_0 = 9,0 \text{ Вт}$ .

893.  $P_0 = 22 \text{ Вт}$ . 894.  $P_0 = 24 \text{ Вт}$ . 895.  $\mathcal{E} = 9,0 \text{ В}$ .

896.  $Q = \frac{\mathcal{E}^2 R \Delta t}{(R+r)^2} = 0,28 \text{ кДж}$ . 897.  $r = \mathcal{E} \sqrt{\frac{R}{P}} - R = 1,0 \text{ Ом}$ ;

$P_0 = \mathcal{E} \sqrt{\frac{P}{R}} = 12 \text{ Вт}$ . 898.  $\mathcal{E} = 9 \text{ В}$ . 899.  $P_{\text{внут}} = 0,40 \text{ Вт}$ ;  $P_{\text{внеш}} = 3,6 \text{ Вт}$ .

900.  $P_{\text{полезн}} = 4 \text{ Вт}$ ;  $P_{\text{полн}} = 5 \text{ Вт}$ . 901.  $P_2 = 4 \text{ Вт}$ . 902.  $P = 6 \text{ Вт}$ .

903. В  $n = \left(\frac{R+2r}{R+r}\right)^2 = 1,1$  раза. 905.  $I_1 = 1,5 \text{ А}$  или  $I_2 = 0,5 \text{ А}$ .

906.  $N = \frac{U(\mathcal{E}-U)}{rP_0} = 8$ . 907.  $P_2 = \frac{P_1 I_2 - r I_1 I_2 (I_2 - I_1)}{I_1} = 6 \text{ Вт}$ .

908.  $\mathcal{E} = \frac{\sqrt{P} I_1 (R_1 - R_2)}{\sqrt{P} - I_1 \sqrt{R_2}} = 15 \text{ В}$ ,  $r = \frac{I_1 R_1 \sqrt{R_2} - R_2 \sqrt{P}}{\sqrt{P} - I_1 \sqrt{R_2}} = 1 \text{ Ом}$ . 909.  $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$ .

910.  $\mathcal{E} = \frac{P_1 I_2^2 - P_2 I_1^2}{I_1 I_2 (I_2 - I_1)} = 4 \text{ В}$ . 911.  $I_{\text{к.з.}} = 20 \text{ А}$ . 912.  $I_{\text{к.з.}} = 12 \text{ А}$ .

913.  $P = \frac{\mathcal{E}^2}{100r} = 0,98 \text{ Вт}$ . 914.  $Q_3 = 9 \text{ Дж}$ . 915.  $\Delta t = 14 \text{ мин}$ .

916.  $t = 17 \text{ }^\circ\text{C}$ . 917.  $r = \sqrt{R_1 R_2} = 6 \text{ Ом}$ . 918.  $I_{\text{к.з.}} = \sqrt{P} \left( \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} \right) = 3 \text{ А}$ .

919.  $I_{\text{к.з.}} = 5,0 \text{ А}$ . 920.  $r = 6 \text{ Ом}$ . 921.  $r = 10 \text{ Ом}$ . 922.  $P_{\text{max}} = 36 \text{ Вт}$ .

923.  $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$ . 924.  $R_2 = 4,8 \text{ Ом}$ . 925.  $Q_{\text{max}} = 0,84 \text{ кДж}$ .

928.  $P_{\text{max}} = \frac{\mathcal{E}^2}{4r} = 8 \text{ Вт}$ . 929.  $P_{\text{max}} = 30 \text{ Вт}$ . 930.  $P_{\text{max}} = \frac{II_{\text{к.з.}}^2 R}{4(I_{\text{к.з.}} - I)} = 9 \text{ Вт}$ .

931.  $P_{\max} = 36$  Вт. 932.  $R = 5,1$  Ом. 933.  $P_3 = 40$  мВт.

934.  $\frac{m}{t} = 1,25 \frac{\text{г}}{\text{с}}$ . 935.  $\Delta t = \frac{(100\% - \alpha)\mathcal{E}^2 \tau}{4c_{\text{нхр}} m r \cdot 100\%} = 48$  °С.

936.  $r = \frac{\alpha \mathcal{E}^2 \tau}{4c_{\text{вольтф}} m \Delta t \cdot 100\%} = 0,25$  Ом. 937.  $\eta = 75\%$ . 938.  $R = 38$  Ом.

941.  $\eta = 60\%$ . 942.  $U = 44$  В. 943.  $\eta = 80\%$ . 944.  $I = 1,5$  А.

945.  $P_{\text{тер}} = 12$  Вт. 946.  $Q = 4,8$  кДж. 947.  $P_{\text{полезн.}} = 24$  Вт.

948.  $P_{\text{полезн.}} = 36$  Вт;  $P_{\text{полн.}} = 48$  Вт. 949.  $r = 7,0$  Ом. 950. В  $n = 2$  раза.

951.  $\eta_1 = \frac{R_1(I_2 - I_1)}{I_2(R_1 - R_2)} \cdot 100\% = 40\%$ ;  $\eta_2 = \frac{R_2(I_2 - I_1)}{I_1(R_1 - R_2)} \cdot 100\% = 25\%$ .

952.  $\eta = \frac{\eta_1 \eta_2}{\eta_1 + \eta_2 - \eta_1 \eta_2} \cdot 100\% = 20\%$ . 953.  $P = 8$  Вт. 954.  $\mathcal{E} = 21$  В;

$Q = 0,90$  кДж. 955.  $\mathcal{E} = \frac{q^2 I_{\text{к.з.}}}{C(qI_{\text{к.з.}} - PC)} = 50$  В. 956.  $Q = 0,36$  мДж.

957.  $Q = 0,18$  мкДж. 958.  $Q = 0,18$  мкДж. 959.  $Q_2 = 320$  мДж.

960.  $Q_R = \frac{R}{R+r} \cdot \frac{C}{2} (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2)^2 = 50$  мкДж.

## V. Магнитное поле. Электромагнитная индукция

971.  $B_0 = 6$  мТл. 972.  $B_1 = 51$  мкТл. 973.  $B_0 = 10$  мТл. 974.  $B_0 = 50$  мТл.

975\*.  $B = 1,2 \cdot 10^{-5}$  Тл. 976\*.  $B = 25$  мкТл. 977\*.  $r = 5$  см. 978\*.  $I = 5$  А.

979\*. а)  $l = \frac{I_2 r}{I_1 + I_2} = 0,3$  м; б)  $l = \frac{I_2 r}{I_2 - I_1} = 0,6$  м.

980\*. а)  $B = \frac{\mu_0}{\pi r} (I_2 - I_1) = 5,6$  мкТл; б)  $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \left( \frac{I_2}{r_2} - \frac{I_1}{r_1} \right) = 0$ .

981\*.  $B_0 = 0,5$  мкТл. 982\*.  $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \sqrt{\frac{I_1^2}{r_1^2} + \frac{I_2^2}{r_2^2}} = 4,0$  мкТл.

983.  $B_0 = 11$  мТл. 984\*.  $B_0 = \frac{\mu_0}{2R} \left| \frac{I_2}{2\pi} - I_1 \right|$ ;  $B_0 = \frac{\mu_0}{2R} \left( I_1 + \frac{I_2}{2\pi} \right)$ .

985\*.  $B_{\min} = 10 \text{ мкТл}$ ;  $B_{\max} = 30 \text{ мкТл}$ . 986\*.  $U = \frac{\mu_0 \pi \rho I^2}{BS} = 0,68 \text{ В}$ .

987\*.  $B = \frac{\mu_0 q}{dT} = 25 \text{ нТл}$ . 988\*.  $B = \frac{\mu \mu_0 U \pi d}{4 \rho l} = 6,3 \text{ мТл}$ . 989\*.  $B = 0,52 \text{ Тл}$ .

990\*.  $B_0 = 52 \text{ мкТл}$ . 995.  $F_A = 0,56 \text{ Н}$ . 996.  $I = 20 \text{ А}$ . 997.  $B = 0,1 \text{ Тл}$ .

998. В 2 раза. 999.  $l = 65 \text{ см}$ . 1000.  $\frac{F_A}{l} = 0,34 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ . 1001.  $F_A = 20 \text{ мН}$ .

1002.  $F_A = 14 \text{ мН}$ . 1003.  $q = 30 \text{ Кл}$ . 1004.  $l = 34 \text{ см}$ . 1005.  $I = 20 \text{ А}$ .

1006.  $I = 10 \text{ А}$ . 1007.  $\rho_0 = \frac{BU}{\rho l g} = 10 \frac{\text{Г}}{\text{см}^3}$ . 1008.  $B = \frac{\rho S g (R+r)}{\mathcal{E}} = 0,3 \text{ Тл}$ .

1009.  $a = 2,0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . 1010.  $a = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . 1011.  $A = 5,4 \text{ мДж}$ . 1012.  $P = 27 \text{ мВт}$ .

1013. В  $n = \frac{mg + IBl}{mg - IBl} = 3$  раза. 1014.  $|\Delta F| = \frac{BIl}{2} = 5 \text{ мН}$ .

1015. Уменьшится в  $n = 2,0$  раза. 1016.  $P = \frac{\rho_0^2 \rho S g^2 l}{B^2} = 0,24 \text{ Вт}$ .

1017.  $I = \frac{mgtg\alpha}{Bl} = 6 \text{ А}$ . 1018. В 3 раза. 1019.  $B = 50 \text{ мТл}$ .

1020.  $\alpha = \arctg \frac{4B\mathcal{E}}{\rho_0 g (4\rho l + \pi d^2 r)}$ . 1021.  $l_2 = 31 \text{ см}$ . 1022.  $E_{n2} = 81 \text{ мДж}$ .

1023\*.  $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r} = 20 \text{ мкН}$ . 1024\*.  $r = \frac{n\mu_0 I^2 l}{2\pi mg} = 1,8 \text{ см}$ . 1025.  $l = 15 \text{ см}$ .

1026.  $a = \frac{IBl - \mu mg}{m} = 0,80 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . 1027.  $B_{\min} = 20 \text{ мТл}$ .

1028.  $F_2 = \frac{F_1 (IBl + mg)}{mg - IBl} = 2 \text{ Н}$ . 1029.  $I = 2,0 \text{ А}$ .

1030.  $a_1 = \frac{BIl \cos\alpha + mg \sin\alpha}{m} = 7,2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ;  $a_2 = \frac{mg \sin\alpha - BIl \cos\alpha}{m} = 2,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

1031.  $B_{\min} = \frac{mg(\mu \cos\alpha + \sin\alpha)}{Il} = 0,14 \text{ Тл}$ .

1032.  $B_{\min} = \frac{mg(\mu \cos\alpha - \sin\alpha)}{Il}$ .

$$1033. \Delta l = \frac{mg \sin \alpha + BIl \cos \alpha - \mu(mg \cos \alpha - BIl \sin \alpha)}{2k} = 6,5 \text{ см.}$$

$$1034. F_{\min} = (mg + IBl)(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = 1,3 \text{ Н.}$$

$$1035. F = \frac{4UBS}{3\rho} = 4 \text{ Н. } 1036. F_A = \frac{3BUI}{2R} = 54 \text{ мН.}$$

$$1037. \alpha = \arcsin\left(\frac{BIl}{mg}\right) = 30^\circ. \quad 1038. \alpha = \arctg \frac{IB}{2\rho Sg}.$$

$$1039. I = \frac{mg}{2aB} = 25 \text{ А. } 1040. I = \frac{mg}{2aB} \operatorname{tg} \alpha = 5 \text{ А. } 1043. \text{ Протон — I,}$$

электрон — III, нейтрон — II. 1044.  $q_1 < 0, q_2 > 0; m_2 = 2m_1.$

$$1045. F_{\text{II}} = 6,4 \cdot 10^{-16} \text{ Н. } 1046. B = 0,4 \text{ Тл. } 1047. B n = 75 \text{ раз.}$$

$$1048. F_{\text{эл}} = 2,4 \text{ фН. } 1049. F_{\text{II}} = 8,4 \cdot 10^{-17} \text{ Н. } 1050. B = 0,25 \text{ Тл.}$$

$$1051. F_{\text{II}} = 1,6 \text{ фН. } 1052. F_{\text{II}} = 8 \cdot 10^{-17} \text{ Н. } 1053. a = 3,2 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}.$$

$$1054. B \frac{v_\alpha}{v_p} = \frac{k}{n} = 4 \text{ раза. } 1055. R = \frac{m_p v}{eB}. \quad 1056. \frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{E_{\text{к1}}}{E_{\text{к2}}}}.$$

$$1057. \frac{R_1}{R_2} = 2. \quad 1058. \frac{m_1}{m_2} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 = 4. \quad 1059. B = \frac{2\pi m_e}{eT} = 0,20 \text{ Тл.}$$

$$1060. v = 1,1 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}. \quad 1061. \frac{\omega_e}{\omega_p} = \frac{m_p}{m_e} = 1,8 \cdot 10^3. \quad 1062. v_{\text{Ne}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}.$$

$$1063. p = eBR = 4,8 \cdot 10^{-25} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}; \quad E_{\text{к}} = \frac{R^2 e^2 B^2}{2m_e} = 1,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

$$1064. R = 2,0 \text{ мм}; \quad a = \frac{eBp}{m_e^2} = 2,5 \cdot 10^{16} \frac{\text{М}}{\text{с}^2}; \quad E_{\text{к}} = \frac{p^2}{2m_e} = 2,3 \cdot 10^{-17} \text{ Дж.}$$

$$1065. m_2 = 3,0 \cdot 10^{-26} \text{ кг. } 1066. q_2 = 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

$$1067. P = \frac{eB^2 R^2 I}{2m_p} = 0,96 \text{ Вт. } 1068. \Delta t = \frac{eB^2 d^2 I \tau}{8m_p c m} = 12 \text{ }^\circ\text{C.}$$

$$1069. R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m_e(\varphi_1 - \varphi_2)}{q_e}} = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ м. } 1070. B = \frac{2\pi}{l} \sqrt{\frac{2MU}{qN_A}} = 0,26 \text{ Тл.}$$

1071. а)  $F_{\text{Л}} = \frac{q^2 BE \Delta t}{m} = 3,1 \text{ мН}$ ; б)  $\tau = \frac{\pi m}{qB} = 0,1 \text{ с}$ .

1072. а)  $d_1 = \frac{2}{B} \sqrt{\frac{2m_1 U}{q_1}} = 41 \text{ см}$ ; б)  $d_2 = \frac{2}{B} \sqrt{\frac{2m_2 U}{q_2}} = 50 \text{ см}$ .

1073.  $\varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{q_p B^2 R^2}{2m_p} = -69 \text{ В}$ . 1074.  $\Delta r = \frac{qB^2 R^2}{2mE} = 6,4 \text{ см}$ .

1075.  $\frac{q}{m} = \frac{E^2}{2(\varphi_1 - \varphi_2)B^2} = 1,0 \cdot 10^8 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$ . 1076.  $B = \frac{U}{d} \sqrt{\frac{m}{2qU_0}}$ .

1077.  $v_0 = 25 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . 1078.  $B = \frac{2mv}{lq} + k \frac{q}{vl^2} = 0,18 \text{ Тл}$ .

1079.  $v_{\text{min}} = \frac{eBl}{m_e} = 0,32 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$ . 1080.  $B = \frac{m_p v_0 \sin \alpha}{q_p l} = 25 \text{ мТл}$ .

1081.  $h = \frac{m_0 v (1 - \sin \alpha)}{qB}$ . 1082.  $\tau = \frac{\pi m_p}{2q_p B} = 0,27 \text{ мкс}$  или

$\tau = \frac{3\pi m_p}{2q_p B} = 0,82 \text{ мкс}$ . 1083.  $P = \frac{F}{\mu q B} (F - \mu mg) = 2,7 \text{ Вт}$ .

1084.  $v = \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{\mu q B} = 1,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , где  $\sin \alpha = 0,60$ ,  $\cos \alpha = 0,80$ .

1085.  $q = \frac{3mg - F}{B\sqrt{2gl}} = 10 \text{ мКл}$ . 1086.  $\Phi = 1,1 \text{ мВб}$ . 1087.  $S = 15 \text{ см}^2$ .

1088.  $\Delta \Phi = 0,10 \text{ мВб}$ . 1089.  $\Delta \Phi = -2 \text{ мВб}$ . 1090.  $\Delta \Phi = (n - 1) B \pi r^2$ .

1091.  $B_1 = 0,18 \text{ Тл}$ . 1092.  $\Delta \Phi = 13 \text{ мВб}$ . 1093. В  $n = \frac{4}{\pi}$  раз.

1094. В 2 раза. 1095.  $\Phi_2 = 4,5 \text{ мВб}$ . 1096. а) да; б) нет; в) да; г) нет;

д) да; е) да. 1097. а) да; б) нет; в) да; г) да. 1100. Вверх. 1101. Слева —

южный, справа — северный. 1104.  $\mathcal{E}_{\text{инд}} = 40 \text{ мВ}$ . 1106.  $\mathcal{E}_{\text{инд}} = 0,25 \text{ В}$ .

1107.  $|\mathcal{E}_{\text{инд}}^{\text{max}}| = 25 \text{ мВ}$ . 1108. На  $|\mathcal{E}_{\text{инд1}}| - |\mathcal{E}_{\text{инд2}}| = 9 \text{ мВ}$ .

1109.  $S = 35 \text{ см}^2$ . 1110.  $\mathcal{E}_{\text{инд}} = 1 \text{ В}$ . 1111.  $B_1 = 0,1 \text{ Тл}$ . 1112.  $N = 500$ .

1115.  $0 - t_1$  и  $t_2 - t_3$ . 1116.  $t_1 - t_2$  и  $t_2 - t_3$ . 1117.  $S = 0,4 \text{ м}^2$ .

1118.  $B_1 = 15$  мТл. 1119.  $\mathcal{E}_{\text{инд}} = 0,19$  В. 1120. В 2 раза.

$$1121. \mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{Bl^2}{16\Delta t} \left( \frac{4}{\pi} - 1 \right) = -0,31 \text{ В. } 1122. l = \sqrt{-\frac{36\mathcal{E}_{\text{инд}}\Delta t}{B\sin\alpha}} = 48 \text{ см.}$$

$$1123. q = -\frac{\Delta B}{\Delta t} \frac{N\pi D^2 C}{4} = 0,63 \text{ мкКл.}$$

$$1124. W = \frac{C}{2} \left( -\frac{\Delta B}{\Delta t} \right)^2 S^2 \sin^2 \alpha = 7,5 \text{ мДж. } 1125. I_{\text{инд}} = 0,04 \text{ А.}$$

$$1126. I_{\text{инд}} = 0,4 \text{ А. } 1127. \langle I_{\text{инд}} \rangle = \frac{2Ba^2}{R\Delta t} = 0,4 \text{ А. } 1128. I_{\text{инд}} = 0,4 \text{ мА.}$$

$$1129. I_{\text{инд}} = \left| -\frac{\Delta B}{\Delta t} \frac{aS}{4\rho} \right| = 0,2 \text{ А. } 1130. I_{\text{инд}} = 45 \text{ мА. } 1131. U_2 = 0,8 \text{ В.}$$

$$1132. U_3 = 0,4 \text{ В. } 1133. \Delta t = 50 \text{ мс. } 1134. \langle I_{\text{инд}} \rangle = \frac{3Br}{4\mu\Delta t} = 1,0 \text{ А.}$$

$$1135. \frac{I_{\text{кр}}}{I_{\text{кв}}} = \frac{4}{\pi}. \quad 1136. I_{\text{инд}1} = 1,0 \text{ мА.}$$

$$1137. I_{\text{инд}} = -\frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot \frac{r_2^2 - r_1^2}{2\mu(r_1 + r_2)} = 30 \text{ мкА.}$$

$$1138. I_{\text{инд}2} = \frac{1+k^2}{(1+k)^2} I_{\text{инд}1} = 1,0 \text{ мА. } 1139. q = \left| -\frac{(B_2 - B_1)rS}{2\rho} \right| = 12 \text{ мКл.}$$

1140.  $A_{\text{ст}} = 2$  мкДж. 1141.  $|q_2| = 1,8$  мкКл. 1142.  $N = 2,5 \cdot 10^{13}$ .

$$1143. q = \left| \frac{Br}{\mu} \right| = 0,20 \text{ Кл. } 1144. |q| = \frac{Bm}{16\rho_{\text{уд}}\rho_{\text{м}}} = 9,9 \text{ мКл.}$$

$$1145. R = \frac{\pi Br^2}{2|q|} = 0,1 \text{ Ом. } 1146. |q| = 0,48 \text{ Кл.}$$

$$1147. \text{ а) } |q| = \left| \frac{Ba^2(\pi - 4)}{\pi R} \right| = 25 \text{ мКл; б) } |q| = \left| \frac{Ba^2}{9R} \right| = 10 \text{ мКл;}$$

$$\text{ в) } |q| = \left| \frac{Ba^2}{R} \right| = 90 \text{ мКл. } 1148. |q| = 1,5 \text{ мКл.}$$

$$1149. P = \left( \frac{\Delta B}{\Delta t} \right)^2 \frac{\pi D^3 NS}{16\rho} = 29 \text{ мкВт. } 1150. Q = 16 \text{ мкДж. } 1151. R = 1 \text{ Ом.}$$

1152.  $P = \frac{A^2 l^4}{16\pi^2 R} = 2 \cdot 10^{-5}$  Вт. 1153.  $Q = 40$  мДж.

1155.  $Q = \frac{(\pi d^2 B_0)^2}{16R} \left( \frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2 - t_1} \right)$ . 1156.  $\Delta t = \frac{B_1^2 \pi^2 D^3 N r^2}{16\rho \tau c m} = 1,6$  °С.

1157.  $\Delta t = \frac{B^2 a^3}{\mu \tau c m} = 1$  °С. 1158.  $a = \sqrt[3]{\frac{4\rho Q \Delta t}{(\Delta B)^2 N S_0}} = 0,1$  м.

1159.  $Q = \frac{B^2 a^3 v}{R} = 0,02$  мкДж. 1160.  $Q = \frac{2B^2 v a^3}{R} = 80$  мкДж.

1161.  $L = 3,5$  мГн. 1162.  $I = 2,5$  А. 1163.  $\Delta \Phi = -0,68$  мкВб.

1164.  $\Phi = 0,90$  мВб. 1165.  $L = 50$  мГн. 1166.  $L = 0,40$  Гн.

1167.  $0 - t_2; t_3 - t_4; t_5 - t_6$ . 1168.  $t_2 - t_3$ . 1169.  $\langle \mathcal{E}_c \rangle = 5$  мВ.

1171.  $L = 0,06$  Гн. 1172.  $\langle \mathcal{E}_c \rangle = 1,8$  В. 1173.  $\Delta t = 70$  мс.

1174.  $L = 0,1$  Гн. 1175.  $\langle \mathcal{E}_c \rangle = 3,0$  В. 1176\*.  $N = \frac{4Ld}{\mu_0 \pi D^2}; \frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{\mathcal{E}_c}{L}$ .

1177.  $W_M = 0,25$  Дж. 1178.  $W_M = 3,0$  Дж. 1179.  $W_M = 36$  мДж.

1180.  $W_{M1} = 2,0$  Дж. 1181.  $L = 0,01$  Гн. 1182.  $L = 0,56$  Гн.

1183.  $\mathcal{E}_c = 0,2$  В. 1184.  $L = 1$  мГн. 1185.  $Q_p = 1,2$  Дж.

1186.  $\langle \mathcal{E}_c \rangle = 1,0$  В;  $Q = 0,12$  мДж. 1187.  $Q_2 = 90$  мДж.

1188.  $\mathcal{E} = \sqrt{\frac{2Q_1(R_1 + R_2)}{LR_1}} R_3 = 28$  В. 1189.  $L = \frac{2Q_1 R_3^2 (R_1 + R_2)}{\mathcal{E}^2 R_2} = 2,5$  мГн.

1190.  $Q_1 = 32$  мДж.

## VI. Электрический ток в различных средах

1193\*.  $\alpha = 5,0 \cdot 10^{-3}$  К<sup>-1</sup>. 1194\*.  $t = 250$  °С. 1195\*.  $t = 200$  °С.

1196\*.  $R_2 = 20,4$  Ом. 1197\*.  $\rho_2 = 3,6 \cdot 10^{-8}$  Ом · м. 1198\*.  $t_2 = 50$  °С.

1199\*.  $t_1 = 25$  °С. 1200\*.  $t = 800$  °С. 1201\*.  $\alpha = 0,004$  К<sup>-1</sup>. 1202\*.  $l = 6,9$  м.

1203\*.  $I = 4$  А. 1204\*. На  $\eta = 13$  %. 1205\*.  $k = \frac{l_{\text{жел}}}{l_{\text{ур}}} = 62$ . 1211. В первой.

1213\*. I. 1217\*.  $m = 28$  г. 1218\*.  $m = 11$  г. 1219\*.  $m = 0,61$  кг. 1220\*.  $m = 17$  г.

1221\*.  $\Delta t = 1,0 \cdot 10^3$  с. 1222\*.  $\tau = 2,0 \cdot 10^3$  с. 1223\*.  $I = 2,5$  А.

1224\*.  $P = 80$  Вт. 1225\*.  $I = \frac{\rho Sh}{k\Delta t} = 10$  А. 1227\*.  $k = 2,4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Кл}}{\text{Кл}}$ .

1228\*.  $M = \frac{meN_A n}{I\Delta t} = 65 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}$ . 1229\*.  $m_2 = 6$  г. 1230\*.  $m_M = 49,5$  мг.

1231\*.  $m_c = 19$  г;  $m_3 = 7,8$  г. 1232\*.  $m_1 = 80,4$  мг. 1233\*. На  $\Delta I = 0,1$  А.

1234\*.  $m = 1,6$  мг. 1235\*.  $m = 9,9$  мг. 1236\*.  $\Delta t = 3,1$  сут.

1237\*.  $m = \frac{\eta kW}{U100\%} = 54$  кг. 1238\*.  $W = \frac{mU100\%}{k\eta} = 1,3 \cdot 10^8$  Дж.

1239\*.  $T = \frac{pVM}{RkIt} = 295$  К. 1240\*.  $p = 3,0$  кПа. 1241\*.  $T = 290$  К.

1242\*.  $V = 0,1$  м<sup>3</sup>. 1243\*.  $p = 2 \cdot 10^5$  Па. 1244\*.  $W = 1,3 \cdot 10^{10}$  Дж.

1245\*.  $\frac{m_1}{m_2} = 1,3$ . 1246\*.  $E = 20 \frac{\text{В}}{\text{М}}$ . 1247\*.  $\mathcal{E} = \frac{kcpV\Delta T}{m} + \frac{mr}{k\Delta t} = 4,7$  В.

1248\*.  $V_T = \frac{kcpVRT\Delta t}{\mathcal{E}Mp}$ . 1249\*.  $W_M = 16$  мДж. 1250\*.  $W_3 = 8,1$  мкДж.

1254\*.  $W_H = 3,92 \cdot 10^{-18}$  Дж. 1255\*.  $v_{\min} = 2,2 \frac{\text{ММ}}{\text{с}}$ . 1256\*.  $T = 8,0 \cdot 10^4$  К.

1257\*.  $E = 3,1 \frac{\text{МВ}}{\text{М}}$ . 1258\*.  $\langle \lambda \rangle = 3,6$  мм. 1259\*.  $d = 2$  мм.

1260.  $U = 0,9$  ГВ;  $W = 9$  мДж. 1261\*.  $N = 1,0 \cdot 10^{11}$ . 1262\*.  $N = 5 \cdot 10^4$ .

1263\*.  $I = 0,8$  мкА;  $U = 4$  мВ. 1264\*.  $U = \frac{ed^2NCR}{V\epsilon_0\Delta t} = 0,16$  В.

1265\*.  $q_2 = \frac{ed_1NS_1C_2R}{V\Delta t} = 1,6$  мкКл. 1281. В германии. 1282\*.  $R_1 = 2$  Ом;

$R_2 = 20$  кОм. 1283.  $k = 6,7 \cdot 10^{-10}$ . 1284. В 3 раза. 1285\*.  $R_1 = 3$  Ом;

$R_2 = 3$  МОм. 1288.  $R_2 = 2,5$  кОм. 1289\*.  $R_{AB} = 18$  Ом;  $R_{BA} = 50$  Ом.

1290\*.  $P_{AB} = 7,2$  Вт;  $P_{BA} = 0,80$  Вт.

## СОДЕРЖАНИЕ

От авторов .....	3
------------------	---

### Молекулярная физика

#### I. Основы молекулярно-кинетической теории

1. Основные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ). Масса молекул. Количество вещества. Молярная масса .....	6
2. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа .....	11
3. Температура — мера средней кинетической энергии теплового движения частиц вещества .....	17
4. Уравнение состояния идеального газа .....	24
5. Изопроцессы .....	33
6. Строение и свойства твердых тел и жидкостей .....	51
7. Испарение и конденсация. Насыщенный пар. Влажность воздуха .....	53

#### II. Основы термодинамики

8. Внутренняя энергия идеального газа .....	59
9. Работа в термодинамике .....	64
10. Количество теплоты .....	72
11. Первый закон термодинамики .....	77
12. Циклы. Тепловые двигатели .....	89

### Электродинамика

#### III. Электростатика

13. Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона .....	100
14. Напряженность электростатического поля .....	120

---

15. Работа сил электростатического поля. Потенциал . . . .	134
16. Электроемкость. Конденсаторы . . . . .	154
<b>IV. Постоянный электрический ток</b>	
17. Законы постоянного электрического тока . . . . .	164
18. Электродвижущая сила источника тока. Закон Ома для полной электрической цепи . . . . .	176
19. Работа и мощность тока. Закон Джоуля — Ленца . . . .	195
<b>V. Магнитное поле. Электромагнитная индукция</b>	
20. Магнитное поле . . . . .	210
21. Сила Ампера . . . . .	220
22. Сила Лоренца . . . . .	234
23. Магнитный поток. Явление электромагнитной индукции . . . . .	246
24. Явление самоиндукции. Индуктивность. Энергия магнитного поля катушки с током . . . . .	266
<b>VI. Электрический ток в различных средах</b>	
25. Электрический ток в металлах . . . . .	274
26. Электрический ток в жидкостях . . . . .	277
27. Электрический ток в газах . . . . .	285
28. Электрический ток в полупроводниках . . . . .	288
<i>Приложения</i> . . . . .	293
<i>Ответы</i> . . . . .	307

Учебное издание

**Дорофейчик Владимир Владимирович**  
**Белая Ольга Николаевна**

**СБОРНИК ЗАДАЧ  
ПО ФИЗИКЕ**

Учебное пособие для 10 класса  
учреждений общего среднего образования  
с русским языком обучения  
(базовый и повышенный уровни)

Нач. редакционно-издательского отдела *С. П. Малякво*

Редактор *Е. А. Соколовская*

Художественный редактор *З. П. Болтикова*

Художники *А. А. Ламанова, А. Н. Киселев*

Обложка художника *А. А. Ламановой*

Компьютерная верстка *А. Н. Киселева*

Корректоры *Н. В. Федоренко, Г. М. Мазина*

Подписано в печать 20.06.2022. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 19,53. Уч.-изд. л. 12,0.  
Тираж 45 977 экз. Заказ

Научно-методическое учреждение «Национальный институт образования»

Министерства образования Республики Беларусь.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/263 от 02.04.2014.

Ул. Короля, 16, 220004, г. Минск

Открытое акционерное общество «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 2/3 от 10.09.2018.

Ул. Корженевского, 20, 220024, г. Минск

Правообладатель Национальный институт образования

(Название учреждения образования)

Учебный год	Имя и фамилия учащегося	Состояние учебного пособия при получении	Оценка учащемуся за пользование учебным пособием
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			