

Задачник по физике

10 класс

Оглавление

Предисловие	151
1 МКТ	152
1.1 Основы МКТ	152
1.2 Графики процессов	155
1.3 Газовые законы	156
2 Термодинамика	171
2.1 Работа и внутренняя энергия газа	171
2.2 Влажность	186
2.3 Уравнение теплового баланса	190
3 Электростатика	196
3.1 Закон Кулона	196
3.2 Напряжённость поля. Принцип суперпозиции	202
3.3 Потенциал. Принцип суперпозиции	204
3.4 Конденсаторы	207
3.5 Цепи, содержащие конденсаторы и гальванические элементы . .	212
4 Постоянный ток	215
4.1 Закон Ома для однородного участка цепи	215
4.2 Закон Ома для полной цепи	217
4.3 Измерение тока и напряжения	218
4.4 Конденсаторы в цепях постоянного тока	220
4.5 Правила Кирхгофа	222
4.6 Работа и мощность тока. КПД	225
Ответы	230

Предисловие

Настоящий сборник задач основан на задачниках со вступительными испытаниями по физике в МГТУ имени Баумана (2000; Дмитриев, Васюков, Струков) и МГУ (2001; под редакцией Драбовича, Макарова, Чеснокова). Задачи перемешаны, добавлены другие задачи и определения.

Задачи, снабжённые иллюстрациями, отмечены знаком \diamond перед номером.

Нумерация вида [Б-1.22] соответствует заданиям из книги «Физика: сборник задач для поступающих в вузы», М.: Ориентир, «Светоч Л», 2000, 160 с. Васюков, Дмитриев, Струков.

Нумерация вида [М-1.2.5] соответствует заданиям из книги «Подготовка к вступительным экзаменам в МГУ. Физика» под редакцией Драбовича, Макарова, Чеснокова. ООО «МАКС-Пресс», 2001. Нумерация вида [М₂-1.2.5] соответствует той же книге, изданной в 2010 году.

Нумерация вида [С-2.1.22] соответствует задачнику «Задачи по физике» под редакцией О. Я. Савченко. Издание третье, Новосибирск, 2008.

Нумерация вида [Г-1.8] соответствует заданиям из задачника Гольдфарба для 10-11 классов («Дрофа», 16-е издание, 2012).

Нумерация вида [Ч-1.302] соответствует заданиям из книги «Методическое пособие по физике для учащихся старших классов и абитуриентов» под редакцией Чешева. Издание 7-е, исправленное. Москва, ФИЗМАТКНИГА 2018, 432 с. Для задач из этого сборника указаны номер билета и год, когда это задание предлагалось абитуриентам МФТИ.

Обо всех замеченных опечатках и ошибках просьба сообщить составителю по электронной почте sergey@lisakov.com.

Документ обновлён 2020/08/14 в 12:15.

1 МКТ

Определения

1. Основные положения МКТ.
2. Нормальные условия.
3. Относительная молекулярная (атомная) масса.
4. Количество вещества ν .
5. Один моль вещества.
6. Постоянная Авогадро (число Авогадро) N_A .
7. Постоянная Больцмана.
8. Универсальная газовая постоянная.
9. Молярная масса.
10. Идеальный газ. Ограниченность модели.
11. Основное уравнение МКТ.
12. Именные изопроецессы с графиками.
13. Уравнение состояния идеального газа.

Основы МКТ

1.1 [Б-8.1] Оценить массу m_0 и размер a следующих молекул:

- а) воды (молекулярная масса 18 а. е. м, плотность $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$),
- б) ртути (молекулярная масса 200 а. е. м, плотность $\rho = 13\,600 \text{ кг/м}^3$),
- в) этилового спирта (молекулярная масса 46 а. е. м, плотность $\rho = 790 \text{ кг/м}^3$).

1.2 [Б-8.2] Плотность гелия при нормальных условиях $\rho = 0,179 \text{ кг/м}^3$. Оценить среднее расстояние a между центрами его молекул. Молярная масса гелия $\mu = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

1.3 [Б-8.3] Плотность водяного пара $\rho = 0,88 \text{ кг/м}^3$ при 100°C . Какую часть объёма η занимают молекулы? Принять, что молекулы имеют шарообразную форму, а диаметр равен $3,1 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

1.4 [Б-8.4] Два сосуда, содержащих одинаковое число молекул гелия, соединены краном. В первом сосуде средняя квадратичная скорость молекул равна $\bar{u}_1 = 1000$ м/с, во втором $\bar{u}_2 = 1300$ м/с. Какой будет эта скорость, если открыть кран, соединяющий сосуды?

1.5 [Б-8.5] Найти отношение средних квадратичных скоростей молекулярного водорода и гелия при одинаковых температурах.

1.6 [Б-8.6] В закрытом сосуде находится идеальный газ. Как изменится его давление, если средняя квадратичная скорость его молекул увеличится на 30%?

1.7 [Б-8.7] В 1 см^3 объёма при давлении 20 кПа находится $5 \cdot 10^{19}$ молекул гелия. Определить среднюю квадратичную скорость молекул при этих условиях.

1.8 [Б-8.8] Идеальный одноатомный газ при давлении 10^5 Па занимает объём 100 м^3 . Определить суммарную кинетическую энергию E его молекул.

1.9 [Б-8.9] Плотность газа при нормальном атмосферном давлении равна $\rho = 1 \text{ кг/м}^3$. Определить среднюю квадратичную скорость молекул.

1.10 [Б-8.10] Как изменится средняя квадратичная скорость молекул газа, если температура возрастёт в 2 раза?

1.11 [Б-8.11] Вычислить среднюю квадратичную скорость атомов гелия при температуре 27°C .

1.12 [Б-8.12] Вычислить среднее расстояние между центрами молекул идеального газа при нормальных условиях. Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

1.13 [Б-8.13] Газ нагревается в открытом сосуде при нормальном атмосферном давлении от 300 до 600 К. На сколько при этом изменяется число молекул в единице объёма газа?

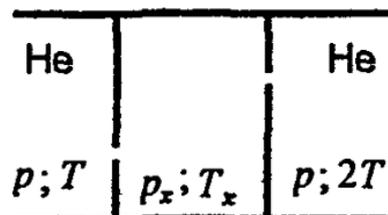
1.14 [Б-8.14] Закрытый сосуд заполнен водой при температуре $t = 27^\circ\text{C}$. Чему станет равно давление внутри сосуда, если взаимодействие между молекулами воды внезапно исчезнет?

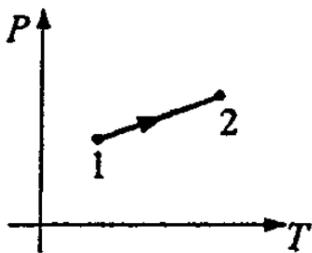
1.15 [Б-8.16] В сосуде объёмом $V = 1 \text{ дм}^3$ содержится некоторый газ при температуре $T = 290 \text{ К}$. На сколько понизится давление газа в сосуде, если вследствие утечки газа из него выйдет $\Delta N = 10^{21}$ молекул?

1.16 [Б-8.15] В сосуде объёмом $V = 1$ л при температуре $t = 183^\circ\text{C}$ находится $N = 1,62 \cdot 10^{22}$ молекул газа. Чему будет равно давление газа в сосуде, если его объём изотермически увеличить в 5 раз? При нормальных условиях 1 см^3 газа содержит $n = 2,7 \cdot 10^{19}$ молекул.

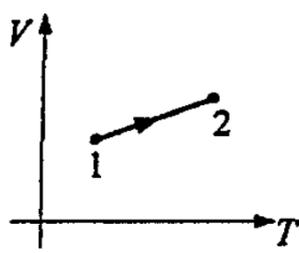
1.17 [Б-8.17] Для дальней космической связи используется спутник объёмом $V = 100 \text{ м}^3$, наполненный воздухом при нормальных условиях. Метеорит пробивает в его корпусе отверстие площадью $S = 1 \text{ см}^2$. Через какое время давление внутри спутника изменится на $\varepsilon = 1\%$? Температуру газа считать неизменной.

◇ **1.18** [Б-8.18] Теплоизолированная полость очень маленькими отверстиями соединена с двумя сосудами, содержащими газообразный гелий. Давления гелия в этих сосудах поддерживаются равным p ; температура в одном сосуде T , а в другом $2T$. Найти установившееся давление и температуру внутри полости.

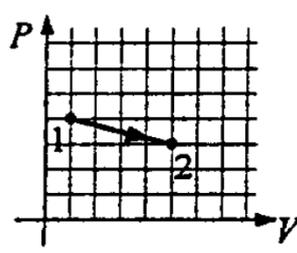




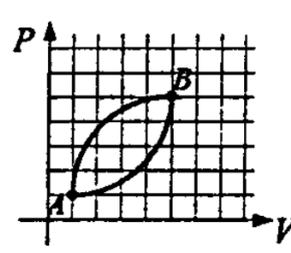
К задаче 1.19



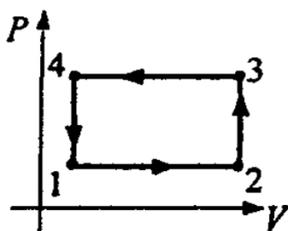
К задаче 1.20



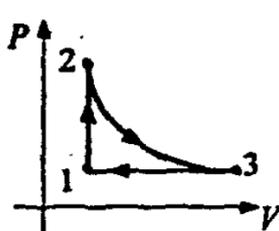
К задаче 1.21



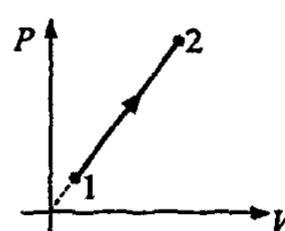
К задаче 1.22



К задаче 1.23



К задаче 1.24



К задаче 1.25

Графики процессов

◇ **1.19** [Б-8.27] График изменения состояния идеального газа в осях T, P представляет собой прямую линию 1-2. Как изменялся объём газа в этом процессе?

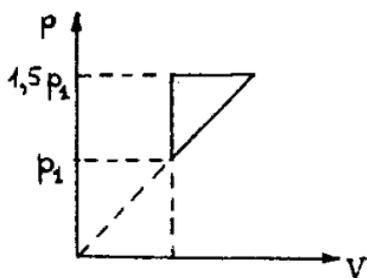
◇ **1.20** [Б-8.28] График изменения состояния идеального газа в осях T, V представляет собой прямую линию 1-2. Как изменялось давление газа в этом процессе?

◇ **1.21** [Б-8.29] График изменения состояния идеального газа в осях V, P представляет собой прямую линию 1-2. Как изменялась температура газа в этом процессе?

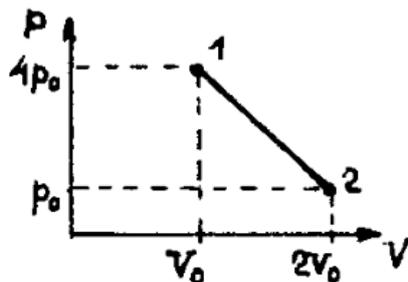
◇ **1.22** [Б-8.30] В координатных осях V, P дан график изменения состояния газа в циклическом процессе. В какой точке газ имел максимальную температуру, а в какой минимальную?

◇ **1.23** [Б-8.31] На рисунке в координатных осях V, P дан график изменения состояния газа в циклическом процессе 1-2-3-4. Изобразить график этого процесса в координатных осях T, P .

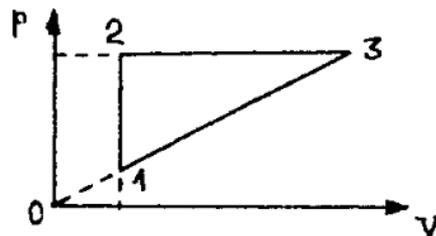
◇ **1.24** [Б-8.32] На рисунке в координатных осях V, P дан график изменения состояния газа в циклическом процессе 1-2-3. Кривая 2-3 — изотерма. Построить график процесса в координатных осях T, V .



К задаче 1.26



К задаче 1.27



К задаче 1.28

◇ **1.25** [Б-8.33] На рисунке в координатных осях V, P дан график изменения состояния газа с линейной зависимостью давления от объёма. Изобразить график этого процесса в координатах V, T .

◇ **1.26** [М-2.1.2] Найти отношение k максимальной плотности идеального газа к его минимальной плотности, которые достигаются при циклическом процессе, показанном на рисунке.

◇ **1.27** [М-2.1.3] С идеальным одноатомным газом проводят процесс 1-2, показанный на рисунке. Во сколько раз α при этом изменится средняя кинетическая энергия молекулы газа?

◇ **1.28** [М-2.1.5] На рисунке показан цикл, совершаемый над идеальным газом, причём 1-2 — изохорный, 2-3 — изобарный процессы. Температуры газа в точках 1 и 3 равны соответственно $T_1 = 300$ К и $T_3 = 400$ К. Найти температуру T_2 газа в точке 2. Масса газа постоянна.

1.29 [Б-8.34] Изобразить примерный вид графика зависимости плотности идеального газа от абсолютной температуры.

Газовые законы

1.30 Какой объём занимает один моль газа при нормальных условиях?

1.31 [М-2.1.1] Атмосферное давление на пике Ленина (высота 7134 м) $p_1 = 3,8 \cdot 10^4$ Па. Определить плотность воздуха ρ_1 на вершине при температуре $t_1 = -10^\circ\text{C}$, если при нормальных условиях ($t_0 = 0^\circ\text{C}$; $p_0 = 10^5$ Па) плотность воздуха $\rho_0 = 1,29$ кг/м³.

1.32 [Б-8.19] На какой глубине пузырьки воздуха имеют диаметр вдвое меньший, чем у поверхности воды? Атмосферное давление на уровне воды — нормальное. Считать, что температура воды не изменяется с глубиной.

1.33 [М-2.1.6] В закрытом сосуде объёмом $V = 2 \text{ м}^3$ содержится $m_1 = 3,2 \text{ кг}$ кислорода, к которому добавлено $\nu_2 = 150$ моль азота. Каково будет давление p в сосуде при температуре $t_1 = 527^\circ\text{С}$? Молярная масса кислорода $M = 0,032 \text{ кг/моль}$. Универсальная газовая постоянная $R = 8,3 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$.

1.34 [Б-8.20] Каково давление газа в электрической лампочке, объём которой $V_0 = 1 \text{ л}$, если через скот под поверхностью воды на глубине $h = 1 \text{ м}$ в лампочку вошло $m = 998,7 \text{ г}$ воды? Атмосферное давление — нормальное. Процесс считать изотермическим.

1.35 [Б-8.53] Определите среднюю молярную массу смеси, состоящей из $\alpha_1 = 75\%$ азота и $\alpha_2 = 25\%$ кислорода. Молярную массу азота принять равной $\mu_1 = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, а кислорода $\mu_2 = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

1.36 [Б-8.54] В сосуде объёмом $V = 110 \text{ л}$ находится $m_1 = 0,8 \text{ кг}$ водорода и $m_2 = 1,6 \text{ кг}$ кислорода. Определить давление смеси, если температура окружающей среды $t = 27^\circ\text{С}$.

1.37 [Б-8.55] В сосуде объёмом $V = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ находится $m_1 = 4 \text{ мг}$ гелия, $m_2 = 70 \text{ мг}$ азота и $N = 5 \cdot 10^{21}$ молекул водорода; μ_1, μ_2 — молярные массы гелия и азота. Каково давление смеси, если её температура 300 К ?

1.38 [Б-8.56] Сосуд ёмкостью $2V$ разделен пополам тонкой полупроницаемой перегородкой. В левую половину ввели газ массой m_1 , и газ массой m_2 . В правой половине — вакуум. Через перегородку может диффундировать только первый газ. Температура T остаётся постоянной. Молярная масса газов равна μ_1 и μ_2 соответственно. Какие давления $p_{\text{л}}$ и $p_{\text{п}}$ установятся в обеих половинах сосуда?

1.39 [Б-8.57] В сосуде находится смесь азота и водорода. При температуре T , когда азот полностью диссоциирован на атомы, а диссоциацией водорода можно пренебречь, давление равно p . При температуре $2T$, когда оба газа полностью диссоциированы, давление в сосуде равно $3p$. Каково отношение масс азота и водорода в смеси?

1.40 [М-2.1.9] Накачивая футбольный мяч, который первоначально был пустым, мальчик сделал $n = 50$ качаний насосом. Какое давление p установилось в мяче после того, как температура воздуха в нём сравнялась с температурой окружающей среды? Объём мяча $V = 4 \text{ л}$, объём воздухозаборной камеры насоса $v = 200 \text{ см}^3$, а атмосферное давление $p_0 = 0,1 \text{ МПа}$.

1.41 [Б-8.21] На какую глубину в жидкость плотностью ρ надо погрузить открытую трубку длиной L , чтобы, закрыв верхнее отверстие, вынуть столбик жидкости длиной $L/2$? Атмосферное давление p_0 .

1.42 [Б-8.22] Открытую стеклянную трубку длиной $l = 1$ м наполовину погружают в ртуть. Затем сверху трубку закрывают и вынимают. Какой длины столбик ртути останется в трубке? Атмосферное давление равно $H = 750$ мм. рт. ст.

1.43 [Б-8.23] Посередине лежащего на боку заполненного газом запаянного цилиндрического сосуда длиной $L = 1$ м находится тонкий поршень массой $m = 1$ кг и площадью $S = 10$ см². Если сосуд поставить на основание, то поршень перемещается на расстояние $l = 10$ см. Каково было начальное давление p газа в сосуде? Трение между стенками сосуда и поршнем отсутствует. Процесс считать изотермическим.

1.44 [Б-8.24] В запаянной с одного конца стеклянной трубке длиной $l = 0,9$ м находится столбик воздуха, ограниченный сверху столбиком ртути высотой $h = 30$ см. Ртуть доходит до верхнего края трубки. Трубку закрывают, поворачивают закрытым концом вниз, а затем открывают, при этом часть ртути выливается. Какова высота оставшегося столбика ртути? Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

1.45 [Б-8.26] Идеальный газ, занимающий объем V_1 и находящийся под давлением p_1 , сжимают сначала изотермически до объема V_2 , потом изобарически до объема V_3 , а затем опять изотермически до объема V_4 . Под каким давлением будет находиться этот газ в конце указанного процесса?

1.46 [М-2.1.4] Горизонтальный цилиндр с газом разделен на три камеры двумя неподвижными поршнями. Температура газа во всех камерах одинакова и равна T_1 . Давление газа в первой камере p_1 , объем V_1 , во второй p_2 , V_2 , в третьей соответственно p_3 , V_3 . Каково будет давление p в камерах после того как, освободив поршни, дать им возможность свободно двигаться, а температуру газа сделать равной T_2 ?

1.47 [М-2.1.7] Два одинаковых сосуда, соединённые трубкой, содержат идеальный газ общей массой $m = 6,6$ г. Первоначально температура газа в обоих сосудах одинакова. Затем газ в первом сосуде нагревают и поддерживают при температуре $t_1 = 27^\circ\text{C}$, а газ во втором сосуде нагревают и поддерживают при температуре $t_2 = 87^\circ\text{C}$. На какую величину Δm изменится масса газа в первом сосуде? Объём трубки не учитывать.

1.48 [М-2.1.8] В комнате объёмом $V = 60 \text{ м}^3$ температура с $t_1 = 17^\circ\text{C}$ поднялась до $t_2 = 27^\circ\text{C}$. На какую величину Δm изменилась масса воздуха в комнате, если атмосферное давление $p_0 = 10^5 \text{ Па}$? Молярная масса воздуха $M = 29 \text{ г/моль}$, универсальная газовая постоянная $R = 8,3 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$.

1.49 [М-2.1.10] Закрытый с обоих концов горизонтальный цилиндр заполнен идеальным газом при температуре $t = 27^\circ\text{C}$ и разделен подвижным теплонепроницаемым поршнем на две равные части длиной $L = 50 \text{ см}$ каждая. На какую величину Δt нужно повысить температуру газа в одной половине цилиндра, чтобы поршень сместился на расстояние $l = 20 \text{ см}$ при неизменной температуре газа во второй половине цилиндра?

1.50 [М-2.1.11] Закрытый сосуд заполнен газом при температуре $T_0 = 300 \text{ К}$ и давлении $p_0 = 150 \text{ кПа}$. Сосуд снабжён предохранительным клапаном, открывающимся при давлении, превышающем $p_m = 200 \text{ кПа}$. Сосуд нагрели до температуры $T_1 = 600 \text{ К}$. При этом из него вышло $m = 10 \text{ г}$ газа. Определить массу m_0 газа в сосуде до его нагрева.

1.51 [М-2.1.12] Сосуд, содержащий идеальный газ при температуре $t = 27^\circ\text{C}$, снабжён клапаном, открывающимся при перепаде давлений $p_k = 400 \text{ кПа}$. Газ нагревают до температуры $t_1 = 127^\circ\text{C}$, при этом часть газа выходит из сосуда через клапан. Найти давление p , которое установится в сосуде после охлаждения газа до начальной температуры t . Атмосферное давление $p_0 = 100 \text{ кПа}$.

1.52 [М-2.1.13] В баллоне, снабжённом предохранительным клапаном, находится идеальный газ под давлением $p = 0,5 \cdot 10^6 \text{ Па}$ при температуре $t = 27^\circ\text{C}$. Клапан открывается, если давление в баллоне превышает $p_1 = 0,6 \cdot 10^6 \text{ Па}$. До какой температуры t_1 нужно нагреть баллон, чтобы из него вытекла часть газа, масса которой составляет $\beta = 0,01$ первоначальной массы?

1.53 [М-2.1.14] Закрытый цилиндрический сосуд объёмом $V = 6,6 \text{ л}$ разделён на две части невесомым поршнем, скользящим без трения. Одна часть содержит идеальный газ массой $m_1 = 6,6 \text{ г}$, вторая часть — такой же газ массой $m_2 = 13,2 \text{ г}$. Температура газов одинакова и равна температуре окружающей среды. Из второй части сосуда выпускают массу газа $\Delta m_2 = 1,65 \text{ г}$. На какую величину ΔV изменится объём части сосуда, содержащей газ массой m_1 , когда температура газов станет равной первоначальной?

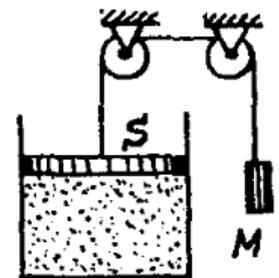
1.54 [М-2.1.15] В вертикально расположенном цилиндре постоянного сечения под невесомым подвижным поршнем находится воздух. На поршень помещают гирию массой $m = 10$ кг. На какую величину Δh переместится поршень, если температура воздуха в цилиндре поддерживается постоянной? Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па, сечение поршня $S = 100$ см², расстояние от ненагруженного поршня до дна цилиндра $h_0 = 100$ см. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

1.55 [М-2.1.16] Вертикально расположенный цилиндрический сосуд, закрытый подвижным поршнем массой $M = 2$ кг, содержит идеальный газ при температуре $T_1 = 300$ К. На поршень помещают тело массой $m = 100$ г и нагревают газ так, чтобы поршень занял первоначальное положение. Найти температуру T_2 нагретого газа. Атмосферное давление не учитывать.

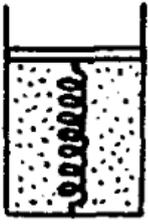
1.56 [М-2.1.17] Вертикально расположенный замкнутый цилиндрический сосуд высотой $H = 50$ см разделён подвижным поршнем весом $P = 110$ Н на две части, в каждой из которых содержится по $\nu = 0,0255$ моль идеального газа. При какой температуре T расстояние между поршнем и дном сосуда будет равно $h = 20$ см? При расчётах толщиной поршня пренебречь. Универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль · К).

1.57 [М-2.1.18] Вертикально расположенный замкнутый цилиндрический сосуд разделен на две части подвижным поршнем. В обеих частях сосуда содержится один и тот же идеальный газ. Расстояние между поршнем и дном сосуда $H_1 = 30$ см. Сосуд переворачивают так, что дном становится его верхняя плоскость. В новом положении расстояние между дном сосуда и поршнем составляет $H_2 = 20$ см. Найти отношение α массы газа, содержавшегося в той части сосуда, которая первоначально находилась вверху, к массе газа, содержавшегося в другой части сосуда. Высота сосуда $L = 60$ см. Температуру считать постоянной, толщиной поршня пренебречь.

◇ **1.58** [М-2.1.19] В цилиндре под невесомым поршнем площадью $S = 100$ см² находится 1 моль идеального газа при температуре $t_1 = 100$ °С. К поршню через два блока на невесомой нерастяжимой нити подвешен груз массой $M = 17$ кг. На какую высоту Δh поднимется груз, если медленно охладить газ до температуры $t_2 = 0$ °С? Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па. Универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль · К), ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с². Трением пренебречь.



◇ **1.59** [М-2.1.20] В вертикально расположенном цилиндре находится кислород массой $m = 64$ г, отделённый от атмосферы поршнем, который соединён с дном цилиндра пружиной жёсткостью $k = 8,3 \cdot 10^2$ Н/м. При температуре



$T_1 = 300$ К поршень располагается на расстоянии $h = 1$ м от дна цилиндра. До какой температуры T_2 надо нагреть кислород, чтобы поршень расположился на высоте $H = 1,5$ м от дна цилиндра? Универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль · К), молярная масса кислорода $M = 32$ г/моль.

1.60 [М-2.1.21] В вертикальном цилиндре под поршнем массой $M_0 = 100$ кг и площадью $S = 2$ см² находится $m = 28$ г азота при температуре $T_1 = 273$ К. Газ в цилиндре нагревают до температуры $T_2 = 373$ К. На какую высоту h поднимется поршень? Атмосферное давление $p_0 = 0,1$ МПа, молярная масса азота $M = 28$ г/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль · К), ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

1.61 [М-2.1.22] В вертикальном закрытом цилиндре находится идеальный газ, разделённый на две части тяжёлым поршнем, который может перемещаться без трения. В нижней части цилиндра масса газа вдвое больше, чем в верхней. При температуре T , одинаковой во всем цилиндре, объём V_1 нижней части цилиндра равен объёму V_2 верхней части. Каким будет отношение объёмов $\alpha = V_1/V_2$, если температуру газа увеличить в $n = 2$ раза?

1.62 [М-2.1.25] В баллоне объёмом $V = 10$ л содержится водород при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ под давлением $p = 10^7$ Па. Какая масса Δm водорода была выпущена из баллона, если при полном сгорании оставшегося газа образовалось $m = 50$ г воды? Универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль · К); молярные массы: водорода $M_{\text{H}_2} = 2$ г/моль, воды $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18$ г/моль.

1.63 [М-2.1.23] Вертикальная цилиндрическая трубка с запаянными концами разделена на две части тонким горизонтальным поршнем, способным перемещаться вдоль неё без трения. Верхняя часть трубки заполнена неона, а нижняя — гелием, причём массы газов одинаковы. При некоторой температуре поршень находится точно посередине трубки. После того, как трубку нагрели, поршень переместился вверх и стал делить объём трубки в отношении 1 : 3. Определить, во сколько раз α возросла абсолютная температура газов. Молярная масса неона $M_{\text{Ne}} = 20$ г/моль, молярная масса гелия $M_{\text{He}} = 4$ г/моль.

1.64 [М-2.1.24] Идеальный газ переводится из состояния $p_1 = 200$ кПа, $T_1 = 500$ К в состояние $p_2 = 138$ кПа, $T_2 = 300$ К так, что объём газа меняется по закону $V = a + bT$, где a и b — постоянные, $T_1 > T > T_2$. Определить максимальную концентрацию n_0 молекул газа в этом процессе. Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

1.65 (3695) Среднеквадратичная скорость молекул идеального одноатомного газа, заполняющего закрытый сосуд, равна $\bar{v} = 450$ м/с. Как и на сколько изменится среднеквадратичная скорость молекул этого газа, если давление в сосуде вследствие охлаждения газа уменьшить на 19%?

1.66 [Б-8.35] Нагревается или охлаждается идеальный газ, если он расширяется по закону $p = kV^n$, где k и n — некоторые постоянные, причём $n > 0$?

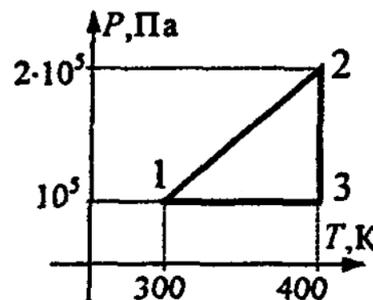
1.67 [Б-8.36] Нагревается или охлаждается идеальный газ в процессе расширения, если оно осуществляется по закону $pV^n = \text{const}$, причём $n > 0$?

1.68 [Б-8.37] Цилиндрический сосуд длиной $L = 1,5$ м, разделённый лёгким теплонепроницаемым поршнем, заполнен идеальным газом. В начальном состоянии объём левой части сосуда вдвое больше правой, а температура в обеих частях одинакова. На сколько переместится поршень, если температуру в правой части увеличить вдвое? Температура в левой части поддерживается постоянной.

1.69 [Б-8.38] В вертикальном цилиндре, закрытом сверху поршнем, находится газ при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Площадь поршня $S = 20$ см², масса $m = 2$ кг. На поршень положили груз массой $M = 5$ кг. До какой температуры нужно нагреть газ, чтобы объём газа составил 0,9 от его первоначального значения? Трение между стенками цилиндра и поршнем отсутствует. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Н/м².

1.70 [Б-8.39] В цилиндре с площадью сечения $S = 5$ см² под поршнем массой $M = 1$ кг находится некоторый газ. При увеличении абсолютной температуры газа в $n = 1,5$ раза поршень поднимается вверх и упирается в уступы. При этом объём газа по сравнению с первоначальным увеличивается в $k = 1,2$ раза. Определить силу, с которой поршень давит на уступы. Атмосферное давление $p = 100$ кПа.

◇ 1.71 [Б-8.40] На графике изображён замкнутый процесс, который совершает некоторая масса кислорода O_2 . Известно, что максимальный объём, который занимал газ в этом процессе $V_{\max} = 16,4 \text{ дм}^3$. Определить массу газа и его объём в точке 1.



1.72 [Б-8.41] Баллон, содержащий азот N_2 под давлением $p_1 = 15 \cdot 10^4 \text{ Па}$ и при температуре $t_1 = 27^\circ\text{C}$, имеет массу $M_1 = 97 \text{ кг}$. Когда часть азота была израсходована, так что при температуре $t_2 = 3^\circ\text{C}$ давление в баллоне стало равным $p_2 = 6 \cdot 10^4 \text{ Па}$, масса баллона оказалась равной $M_2 = 93,5 \text{ кг}$. Сколько молей азота осталось в баллоне?

1.73 [Б-8.42] Воздух, находившийся в открытом баллоне при температуре 27°C , нагревают. В результате масса воздуха, оставшаяся в баллоне, составляет 40% от массы воздуха, первоначально находившегося в баллоне. До какой температуры нагрет воздух в баллоне в этот момент?

1.74 [Б-8.43] Температура воздуха в помещении объёмом 50 м^3 при давлении $0,98 \cdot 10^5 \text{ Па}$ была равна 288 К . После подогрева воздуха калорифером его температура поднялась до 293 К . Найти массу воздуха, вытесненного из комнаты за время нагрева. Молярная масса воздуха $\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

1.75 [Б-8.44] Компрессор захватывает при каждом такте нагнетания $V_k = 0,5 \text{ л}$ воздуха при давлении $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ и температуре $T_k = 276 \text{ К}$ и нагнетает его в автомобильный баллон объёмом $V_6 = 0,5 \text{ м}^3$. Температура воздуха в баллоне $T_6 = 290 \text{ К}$. Сколько качаний должен сделать компрессор, чтобы уменьшить площадь соприкосновения покрышки с полотном дороги на $\Delta S = 100 \text{ см}^2$? До этого площадь соприкосновения была равна $S = 450 \text{ см}^2$; колесо находится под нагрузкой $F = 5 \text{ кН}$.

1.76 [Б-8.45] На дне цилиндра, наполненного воздухом, лежит полый металлический шарик радиусом $r = 1 \text{ см}$. До какого давления нужно сжать воздух в цилиндре, чтобы шарик всплыл? Опыт проводят при 290 К . Воздух считать идеальным газом, $\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Масса шарика 5 г .

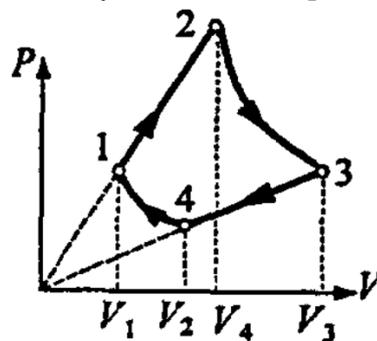
1.77 [Б-8.46] На сколько надо нагреть воздух внутри воздушного шара, чтобы он взлетел? Объём оболочки шара $V = 525 \text{ м}^3$, её масса $m = 10 \text{ кг}$. Атмосферное давление $p_0 = 10^5 \text{ Па}$, температура окружающего воздуха $T = 300 \text{ К}$. Молярная масса воздуха $\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Считать оболочку нерастяжимой и имеющей небольшое отверстие в нижней своей части.

1.78 [Б-8.47] Вертикально расположенный цилиндр, закрытый с обеих сторон, разделен тяжёлым теплонепроницаемым поршнем на две части; обе части сосуда содержат одинаковое количество воздуха. При одинаковой температуре воздуха в обеих частях $T_1 = 400$ К давление p_2 в нижней части сосуда вдвое больше давления p_1 в верхней части. До какой температуры T_2 надо нагреть воздух в нижней части сосуда, чтобы объёмы верхней и нижней частей стали одинаковыми?

1.79 [Б-8.48] Два одинаковых сосуда наполнены кислородом при температуре $t_1 = 27^\circ\text{C}$ и соединены между собой трубкой, объём которой мал по сравнению с объёмом сосудов. Во сколько раз изменится давление кислорода в сосудах, если один из них нагреть до температуры $t_2 = 87^\circ\text{C}$, а во втором поддерживать температуру прежней?

1.80 [Б-8.49] Два баллона соединены трубкой с краном. В первом находится газ под давлением $p_1 = 10^5$ Па, во втором $p_2 = 0,6 \cdot 10^5$ Па. Объём первого баллона $V_1 = 10^{-3}$ м³, а второго $V_2 = 3 \cdot 10^{-3}$ м³. Какое давление установится в баллонах, если открыть кран? Температура постоянна. Объёмом трубки можно пренебречь.

◇ **1.81** [Б-8.50] Один моль идеального газа участвует в некотором процессе, изображённом в координатах P, V . Продолжения отрезков прямых 1-2 и 3-4 проходят через начало координат, а кривые 1-4 и 2-3 являются изотермами. Изобразить этот процесс в координатах T, V ; найти объём V_3 , если известны объёмы V_1 , V_2 и V_4 .



1.82 [Б-8.51] По газопроводной трубе идёт углекислый газ CO_2 ($\mu = 44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль) под давлением $p = 4 \cdot 10^5$ Па и с температурой $t = 7^\circ\text{C}$. Какова средняя скорость движения газа в трубе, если за время $\tau = 10$ с протекает масса газа $m = 2$ кг? Площадь поперечного сечения трубы $S = 5$ см².

1.83 [Б-8.52] В камеру сгорания реактивного двигателя поступает в секунду масса m водорода и необходимое для полного сгорания количество кислорода. Площадь выходного сечения сопла двигателя S , давление в этом сечении p , абсолютная температура T , молярная масса воды μ . Определить силу тяги F двигателя.

1.84 (7717) В цилиндре под поршнем находится некоторое количество идеального одноатомного газа, среднеквадратичная скорость молекул которого равна $u = 400$ м/с. В результате некоторого процесса объём газа увеличился на $\alpha = 80\%$, а давление уменьшилось на $\beta = 20\%$. Каким стало новое значение v среднеквадратичной скорости молекул этого газа?

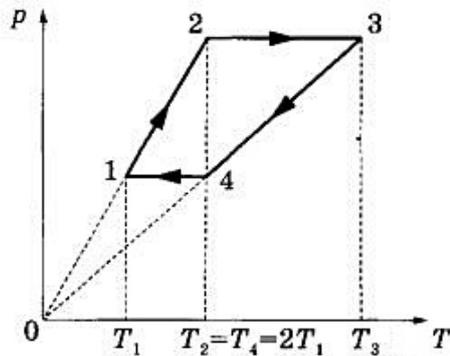
1.85 [2018-в19] В сосуде объёмом $V = 0,02$ м³ с жёсткими стенками находится одноатомный газ при атмосферном давлении. В крышке сосуда имеется отверстие площадью s , заткнутое пробкой. Максимальная сила трения покоя F пробки о края отверстия равна 100 Н. Пробка выскакивает, если газу передать количество теплоты не менее 15 кДж. Определите значение s , полагая газ идеальным.

1.86 (10269) Во сколько раз изменится подъёмная сила, если вместо гирлянды из 8 шаров, в каждый из которых накачали по 1 молю гелия, надуть тем же количеством гелия один большой шар? Толщина резиновой оболочки у всех шаров одинакова, давление и температура близки к нормальным, а подъёмная сила гирлянды равна 0,45 Н.

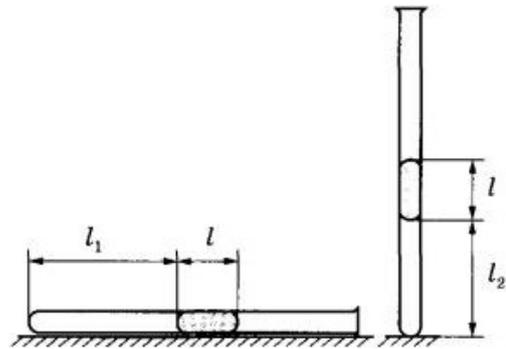
1.87 [2018-в11] Газонепроницаемая оболочка воздушного шара имеет массу 400 кг. Шар заполнен гелием. Он может удерживать груз массой 225 кг в воздухе на высоте, где температура воздуха 17 °С, а давление 10^5 Па. Какова масса гелия в оболочке шара? Оболочка шара не оказывает сопротивления изменению объёма шара, объём груза пренебрежимо мал по сравнению с объёмом шара.

1.88 [2018-в25] Сферическую оболочку воздушного шара делают из материала, квадратный метр которого имеет массу 2 кг. Шар наполняют гелием при атмосферном давлении 10^5 Па. Определите минимальную массу оболочки, при которой шар начнёт поднимать сам себя. Температура гелия и окружающего воздуха одинакова и равна 0 °С. (Площадь сферы $S = 4\pi r^2$, объём шара $V = \frac{4}{3}\pi r^3$.)

◇ **1.89** [2018-в1] В тепловом двигателе 2 моль гелия совершают цикл 1–2–3–4–1, показанный на графике в координатах $p - T$, где p — давление газа, T — абсолютная температура. Температуры в точках 2 и 4 равны и превышают температуру в точке 1 в 2 раза. Определите КПД цикла.



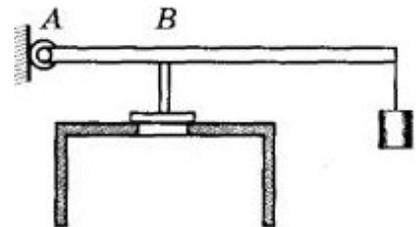
К задаче 1.89



К задаче 1.90

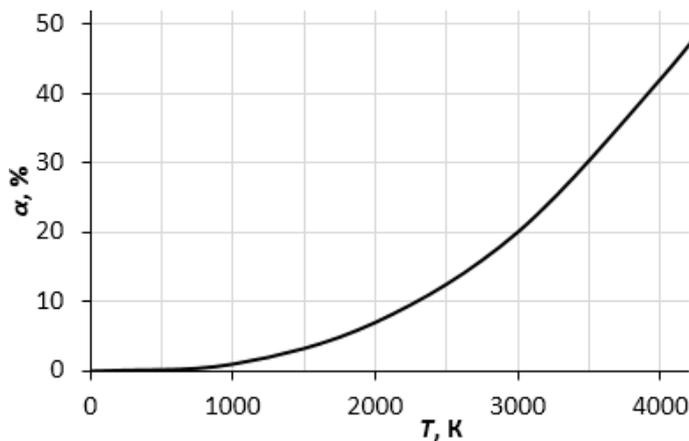
◇ **1.90** [2018-в5] В запаянной с одного конца длинной горизонтальной стеклянной трубке постоянного сечения (см. рисунок) находится столбик воздуха длиной $l_1 = 30$ см, запёртый столбиком ртути. Если трубку поставить вертикально отверстием вверх, то длина воздушного столбика под ртутью будет равна $l_2 = 25$ см. Какова длина ртутного столбика? Атмосферное давление 750 мм. рт. ст. Температуру воздуха в трубке считать постоянной.

◇ **1.91** [2018-в27] В цилиндр объёмом $0,5 \text{ м}^3$ насосом закачивается воздух со скоростью $0,002 \text{ кг/с}$. В верхнем торце цилиндра есть отверстие, закрытое предохранительным клапаном. Клапан удерживается в закрытом состоянии стержнем, который может свободно поворачиваться вокруг оси в точке A (см. рисунок). К свободному концу стержня длиной $0,5 \text{ м}$ подвешен груз массой 2 кг . Клапан открывается через 580 с работы насоса, если в начальный момент времени давление воздуха в цилиндре было равно атмосферному. Площадь закрытого клапаном отверстия $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Температура воздуха в цилиндре и снаружи не меняется и равна 300 К . Определите расстояние AB , если стержень можно считать невесомым.

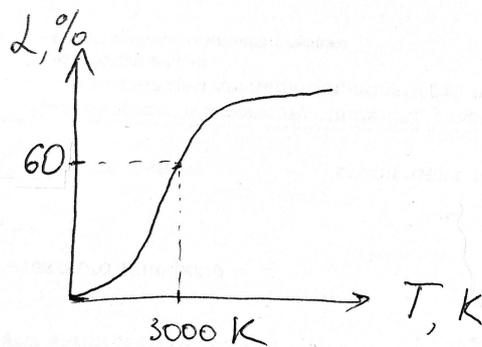


1.92 (2986) В горизонтально расположенной трубке постоянного сечения, запаянной с одного конца, помещён столбик ртути длиной $d = 15$ см, который отделяет воздух в трубке от атмосферы. Трубку расположили вертикально запаянным концом вниз и нагрели на 60 К . При этом объём, занимаемый воздухом, не изменился. Атмосферное давление 750 мм. рт. ст. Определите температуру воздуха в лаборатории.

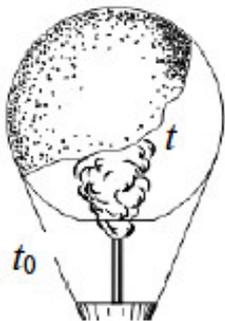
◇ **1.93** (9976) Объём 0,1 литра водорода нагревают при постоянном давлении от 300 до 3000 К. При высоких температурах молекулы водорода распадаются на отдельные атомы. На графике показана зависимость доли распавшихся молекул от температуры. Чему равен конечный объём газа?



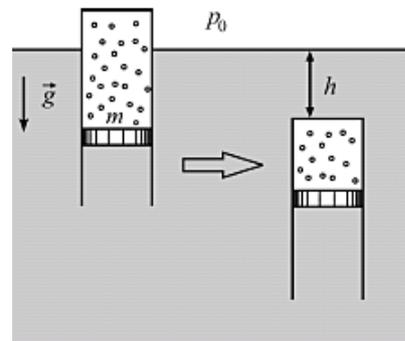
◇ **1.94** [ЕГЭ] Углекислый газ CO_2 находится в сосуде при температуре 300 К. При нагревании он разлагается в соответствии со следующим уравнением: $2\text{CO}_2 \leftrightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$. График зависимости количества распавшихся молекул CO_2 изображён на рисунке. Найдите парциальное давление кислорода, если давление смеси газов при температуре 3000 К составляет 100 кПа.



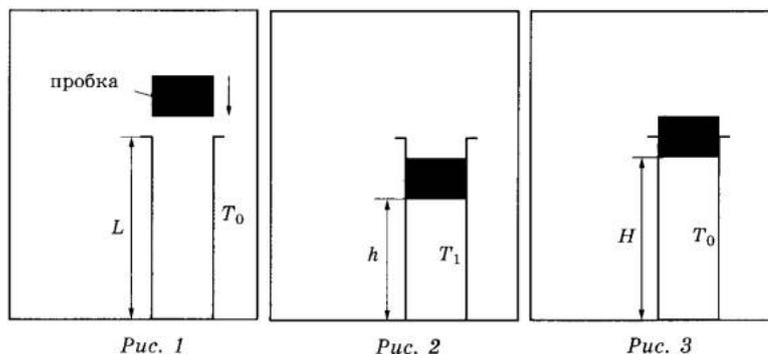
◇ **1.95** (2985) Воздушный шар, оболочка которого имеет массу $M = 145$ кг и объём $V = 230$ м³, наполняется при нормальном атмосферном давлении горячим воздухом, нагретым до температуры $t = 265$ °С. Определите максимальную температуру окружающего воздуха, при которой шар начнёт подниматься. Оболочка шара нерастяжима и имеет в нижней части небольшое отверстие.



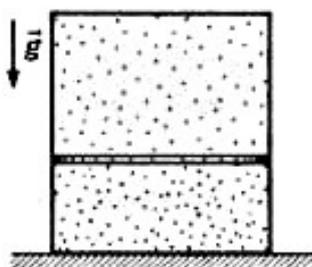
◇ **1.96** (6838) Тонкостенный цилиндр с воздухом закрыт снизу поршнем массой $m = 1$ кг, который может без трения перемещаться в цилиндре. Цилиндр плавает в вертикальном положении в воде при температуре $T = 293$ К (см. рис.). Когда цилиндр опустили при постоянной температуре на глубину $h = 1$ м (от поверхности воды до его верхней крышки), он потерял плавучесть. Какое количество воздуха было в цилиндре? Атмосферное давление равно $p_0 = 10^5$ Па, масса цилиндра и воздуха в цилиндре гораздо меньше массы поршня.



◇ **1.97** [2018-В21] В камере, заполненной азотом, при температуре $T_0 = 300$ К находится открытый цилиндрический сосуд (рис. 1). Высота сосуда $L = 50$ см. Сосуд плотно закрывают цилиндрической пробкой и охлаждают до температуры T_1 . В результате расстояние от дна сосуда до низа пробки становится $h = 40$ см (рис. 2). Затем сосуд нагревают до первоначальной температуры T_0 . Расстояние от дна сосуда до низа пробки при этой температуре становится $H = 46$ см (рис. 3). Чему равна температура T_1 ? Величину силы трения между пробкой и стенками сосуда считать одинаковой при движении пробки вниз и вверх. Массой пробки пренебречь. Давление азота в камере во время эксперимента поддерживается постоянным.



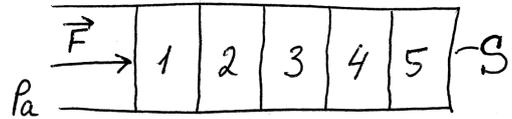
◇ **1.98** (2984) Вертикально расположенный замкнутый цилиндрический сосуд высотой 50 см разделён подвижным поршнем массой 11 кг на две части, в каждой из которых содержится одинаковое количество идеального газа при температуре 361 К. Сколько молей газа находится в каждой части цилиндра, если поршень находится на высоте 20 см от дна сосуда? Толщиной поршня пренебречь.



1.99 (3683) В высоком вертикальном цилиндрическом сосуде под тяжёлым поршнем, способным перемещаться вдоль стенок сосуда практически без трения, находится некоторое количество воздуха под давлением $p = 1,5$ атм. Поршень находится в равновесии на высоте $H_1 = 20$ см над дном сосуда. Определите, на какое расстояние ΔH сместится поршень, если сосуд перевернуть открытым концом вниз и дождаться установления равновесия. Считать температуру воздуха и атмосферное давление $p_0 = 1$ атм постоянными. Массой воздуха в сосуде по сравнению с массой поршня можно пренебречь.

1.100 (11812) Два баллона объёмами 10 и 20 л содержат 2 моль кислорода и 1 моль азота соответственно при температуре 28°C . Какое давление установится в баллонах, если их соединить между собой? Температуру газов считать неизменной.

◇ **1.101** (5983) Горизонтальный хорошо теплопроводящий цилиндр, разделённый подвижными поршнями площадью $S = 100 \text{ см}^2$ на 5 отсеков (№№ 1–5), содержит в них одинаковые количества идеального газа при температуре окружающей среды и под давлениями, равными давлению $p_a = 10^5 \text{ Па}$ окружающей цилиндр атмосферы (см. рисунок). Каждый поршень сдвигается с места, если приложенная к нему горизонтальная сила превышает силу сухого трения $F_{\text{тр}} = 2 \text{ Н}$. К самому левому поршню прикладывают горизонтальную силу F , медленно увеличивая её по модулю. Какого значения достигнет F , когда объём газа в самом правом, 5-м отсеке цилиндра, уменьшится в $n = 2$ раза? Процессы изменения состояния газов в отсеках цилиндра считать изотермическими.



1.102 (7370) Гелий в количестве $\nu = 1/20$ моль находится в горизонтальном закреплённом цилиндре с поршнем, который может без трения перемещаться в цилиндре и вначале удерживается в равновесии силой $F_1 = 280 \text{ Н}$. При этом среднеквадратичная скорость движения атомов гелия составляет $u_1 = 1400 \text{ м/с}$. Затем гелий стали охлаждать, а поршень медленно сдвигать, постепенно уменьшая действующую на него силу. Когда эта сила равнялась $F_2 = 150 \text{ Н}$, среднеквадратичная скорость движения атомов гелия стала равной $u_2 = 1200 \text{ м/с}$. На какое расстояние Δl при этом сдвинулся поршень?

1.103 (9104) В холодное зимнее время хозяева квартиры стали замерзать при температуре в комнате $T = 18^\circ\text{С}$ и, включив дополнительный обогреватель, добились повышения температуры на $\Delta T = 4^\circ\text{С}$. На сколько при этом изменилась масса воздуха в комнате? Площадь комнаты $S = 20 \text{ м}^2$, высота потолка $h = 2,5 \text{ м}$, атмосферное давление $p = 10^5 \text{ Па}$, воздух в комнате свободно сообщается с атмосферой. Ответ округлите до целого числа граммов.

1.104 (9237) В горизонтально лежащей пробирке находится воздух, заблокированный ртутью. Уровень воздуха в горизонтальном состоянии 24 см, длина столбика ртути 21 см. Пробирку переворачивают в вертикальное положение так, что отпаянная часть пробирки находится сверху. Каков будет уровень воздуха в вертикальном положении, если длина ртути не меняется, а атмосферное давление составляет 739 мм. рт. ст.?

1.105 (8556) Сосуд объёмом 10 л содержит смесь водорода и гелия общей массой 2 г при температуре 27°С и давлении 200 кПа. Каково отношение массы водорода к массе гелия в смеси?

1.106 (9248) Мальчик решил подняться в воздух на воздушных шарах с гелием. Известно, что мальчик весит 40 кг, а на улице нормальное атмосферное давление и температура 27 °С. Учитывая, что объём одного шара составляет 10 литров, найдите, сколько потребуется шаров для такого путешествия. Массой оболочки шаров и объёмом мальчика пренебречь.

1.107* [Б-8.25] За сколько циклов работы поршневого насоса с объёмом цилиндра V_1 можно откачать газ из стеклянного баллона объёмом V до давления p , если вначале давление в баллоне было равно атмосферному? Процесс считать изотермическим, атмосферное давление p_0 .

2 Термодинамика

Определения

1. Первое начало термодинамики.
2. Молярные теплоёмкости c_V , c_p , c_T , $c_{Q=0}$.
3. Второе начало термодинамики.
4. КПД тепловой машины.
5. КПД идеальной тепловой машины.
6. Изопроцессы с графиками.
7. Относительная влажность.
8. Абсолютная влажность.
9. Динамическое равновесие.
10. Насыщенный пар.

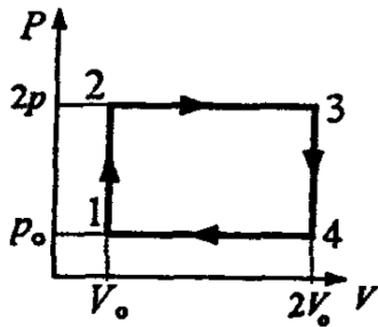
Работа и внутренняя энергия газа

2.1 Вывести молярные теплоёмкости идеального газа для различных процессов (Найти c_V , c_p , c_T , $c_{Q=0}$).

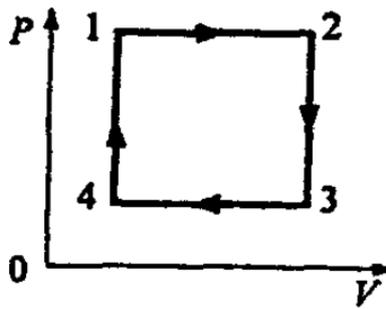
2.2 [м-2.2.1] В сосуде ёмкостью $V = 5$ л находится гелий под давлением $p = 3$ МПа. Какова внутренняя энергия U газа в сосуде?

2.3 [Б-9.12] Идеальный газ, масса которого m и молярная масса μ , расширяется изобарно при некотором давлении. Начальная температура газа T_1 , конечная T_2 . Определить работу, совершаемую газом.

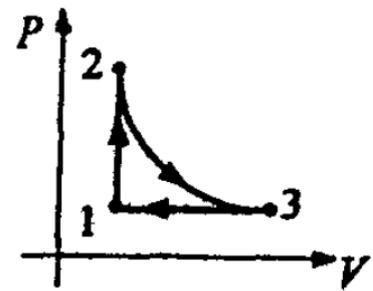
2.4 [м-2.2.2] Газ, взятый в количестве $\nu = 5$ моль, сначала нагревают при постоянном объёме так, что абсолютная температура газа возрастает в $n = 3$ раза, а затем сжимают при постоянном давлении, доводя температуру до первоначальной $T = 100$ К. Какая работа A совершена при сжатии? Универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль · К).



К задаче 2.7



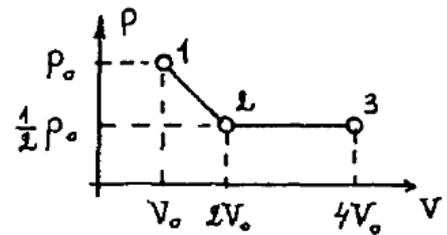
К задаче 2.8



К задаче 2.9

2.5 [Б-9.13] В вертикальном цилиндре с площадью поперечного сечения S под поршнем, масса которого равна M , находится 1 моль идеального одноатомного газа. В некоторый момент времени под поршнем включается нагреватель, передающий газу за единицу времени количество теплоты q . Определить установившуюся скорость v движения поршня при условии, что давление газа над поршнем постоянно и равно p_0 ; газ под поршнем теплоизолирован.

◇ **2.6** [М-2.2.3] Найти работу A , совершенную идеальным газом в ходе процесса 1-2-3. В состоянии 1 давление газа равно $p_0 = 10^5$ Па, а объем $V_0 = 1$ л. В состоянии 2 давление газа вдвое меньше, а объём вдвое больше. Процесс 2-3 представляет собой изобарное расширение до объёма $4V_0$.



◇ **2.7** [Б-9.23] Тепловая машина, рабочим телом которой является 1 моль идеального одноатомного газа, работает по изображённому циклу. Определить КПД.

◇ **2.8** [Б-9.24] Параметры одноатомного идеального газа в количестве 1 моль изменяются по циклическому процессу, состоящему из двух изобар и двух изохор, в направлении 1-2-3-4-1. Известно, что при изобарическом расширении объём V увеличился вдвое. T_2 — температура в конце изобарического процесса 1-2, T_3 — в конце изохорического процесса 2-3. Определить коэффициент полезного действия цикла.

◇ **2.9** [Б-9.25] С одним молем идеального одноатомного газа осуществляется цикл, состоящий из изохоры 1-2, адиабаты 2-3 и изобары 3-1. Температуры в точках 1, 2 и 3 равны T_1, T_2, T_3 . Определить КПД цикла.

2.10 Идеальная тепловая машина с КПД η работает по прямому циклу. Какая теплота отдаётся холодильнику при совершении работы A' ?

2.11 Идеальная тепловая машина с КПД η работает по обратному циклу. Какая теплота забирается из холодильника при совершении работы A ?

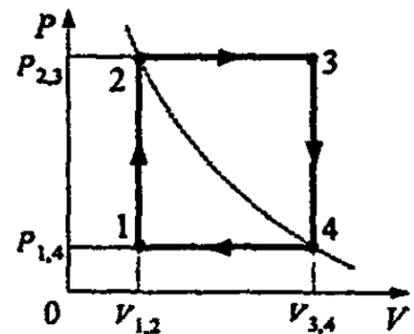
2.12 [Б-9.14] В цилиндре под поршнем находится некоторое количество газа, занимающего при температуре $t_1 = 27^\circ\text{C}$ и давлении $p = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ объем $V = 9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Какую работу A пришлось совершить, сжимая газ при постоянном давлении, если его температура при этом повысилась до $t_2 = 77^\circ\text{C}$? Трение между стенками цилиндра и поршнем отсутствует.

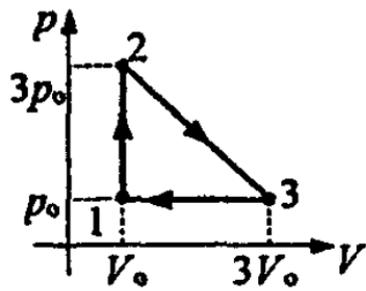
2.13 [Б-9.15] Моль идеального газа медленно нагревают так, что он переходит из состояния p_0, V_0 в состояние $2p_0, 2V_0$. Как при этом изменяется температура газа T в зависимости от его объёма V , если зависимость давления газа от объёма на графике изображается прямой линией? Определить работу A , совершаемую газом в этом процессе.

2.14 [Б-9.16] Температура некоторой массы m идеального газа с молярной массой μ меняется по закону $T = \alpha V^2$. Найти работу, совершаемую газом при увеличении объёма от V_1 до V_2 . Поглощается или выделяется теплота в таком процессе?

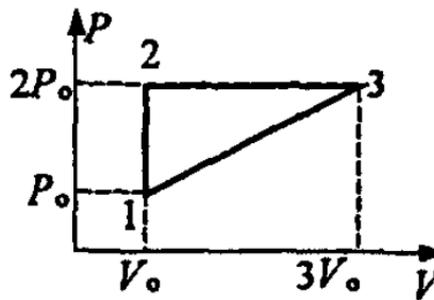
2.15 [Б-9.18] Масса m идеального газа, находящегося при температуре T , охлаждается изохорно так, что давление падает в n раз. Затем газ расширяется при постоянном давлении. В конечном состоянии его температура равна первоначальной. Молярная масса газа μ . Определить совершаемую газом работу.

◇ **2.16** [Б-9.19] Параметры 1 моля идеального газа изменяются по циклическому процессу, состоящему из двух изохор и двух изобар, в направлении 1-2-3-4-1. Температура газа в точках 1 и 3 равна соответственно T_1 и T_3 . Определить работу, совершаемую газом за цикл, если известно, что точки 2 и 4 лежат на одной изотерме.

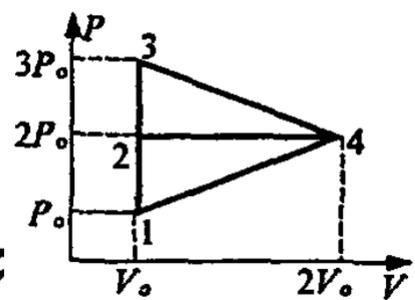




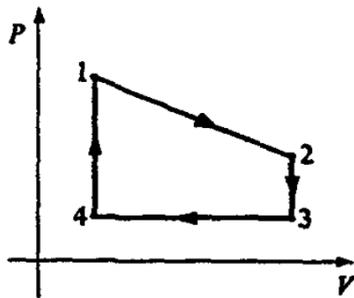
К задаче 2.20



К задаче 2.21

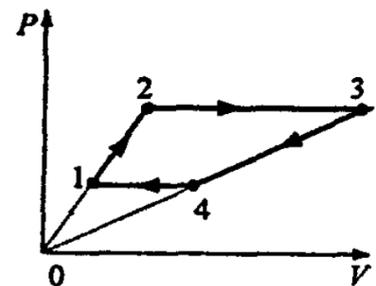


К задаче 2.22



◇ 2.17 [Б-9.20] Один моль идеального газа изменяет своё состояние по циклу, в котором (4-1) и (2-3) — изохоры, (3-4) — изобара, (1-2) — процесс с линейной зависимостью давления от объёма. Температура в состояниях 1, 2, 3, 4 равна соответственно T_1, T_2, T_3, T_4 . Какую работу совершает газ за один цикл?

◇ 2.18 [Б-9.21] Параметры идеального одноатомного газа, взятого в количестве 3 моля, изменились по изображённому циклу. Температура газа в состояниях 1, 2, 4: $T_1 = 400$ К, $T_2 = 800$ К, $T_4 = 1200$ К. Определить работу, которую совершил газ за цикл.



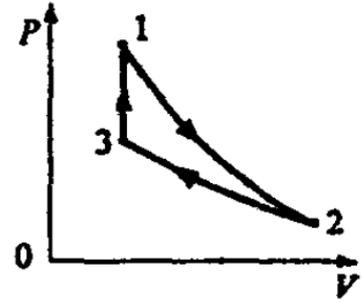
2.19 [Б-9.22] Тепловая машина имеет КПД $\eta = 40\%$. Каким станет КПД машины, если количество теплоты, потребляемое за цикл, увеличится на 20%, а количество теплоты, отдаваемое холодильнику, уменьшится на 10%?

◇ 2.20 [Б-9.26] С одним молем идеального одноатомного газа осуществляется цикл, в котором 1-2 — изохора, 3-4 — изобара, 2-3 — процесс с линейной зависимостью давления от объёма. Определить КПД цикла.

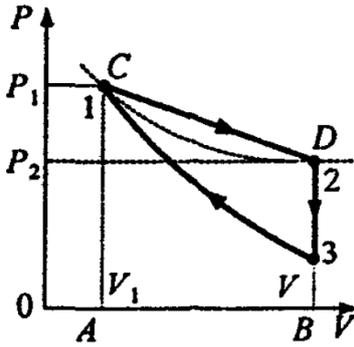
◇ 2.21 [Б-9.28] На диаграмме $p - V$ изображён цикл, проводимый с одноатомным идеальным газом. Чему равен коэффициент полезного действия этого цикла?

◇ 2.22 [Б-9.29] Определить отношение КПД циклов 1-2-4-1 и 2-3-4-2, совершаемых с идеальным одноатомным газом.

◇ **2.23** [Б-9.27] Найти КПД тепловой машины, работающей с ν молями одноатомного идеального газа по циклу, состоящему из адиабатного расширения (1-2), изотермического сжатия (2-3) и изохорного процесса (3-1). Работа, совершенная над газом в изотермическом процессе, равна $|A|$. Разность максимальной и минимальной температур газа в цикле равна ΔT .

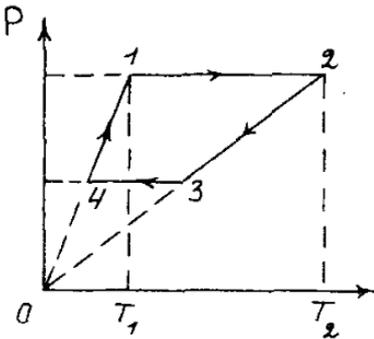


◇ **2.24** [Б-9.31] Над молем идеального одноатомного газа совершают замкнутый процесс, причём работа в нём $A = 2026$ Дж. Процесс состоит из участка 1-2, в котором давление является линейной функцией объёма, изохоры 2-3 и процесса 3-1, в котором теплоёмкость считается постоянной. Найти эту теплоёмкость, если известно, что $T_1 = T_2 = 2T_3 = 100$ К, $V_2/V_1 = 8$.



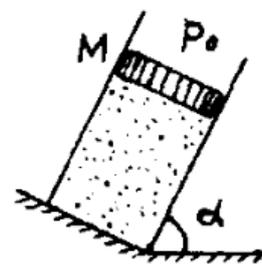
2.25 [Б-9.17] Моль идеального газа адиабатически сжали, уменьшив объём в 5 раз. Если газ перевести из начального в то же конечное состояние сначала по изобаре, а потом по изохоре, то потребуется подвести к газу $Q = 26$ кДж тепла. Наименьшая температура при этом равна $T_{\min} = 300$ К. Найти работу газа в адиабатическом процессе.

◇ **2.26** [М-2.2.4] С массой $m = 80$ г идеального газа, молярная масса которого $M = 28$ г/моль, совершается циклический процесс, изображённый на рисунке. Какую работу A совершает такой двигатель за один цикл? Универсальную газовую постоянную принять $R = 8,3$ Дж/(моль · К), $T_1 = 300$ К, $T_2 = 1000$ К. При нагревании на участке 4-1 давление газа увеличивается в 2 раза.

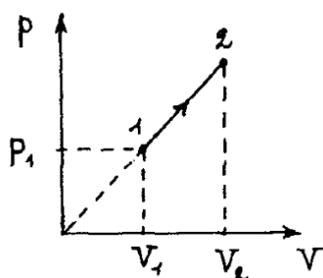
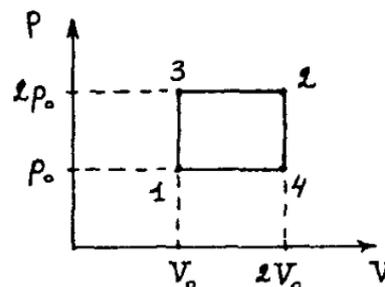


2.27 [М-2.2.5] В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем массой $m = 4$ кг, содержится один моль одноатомного газа. На какую величину Δh передвинется поршень, если газу сообщить количество тепла $Q = 9,8$ Дж? Массой газа по сравнению с массой поршня пренебречь, атмосферное давление не учитывать. Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с².

◇ **2.28** [М-2.2.6] В закреплённом под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту цилиндре может без трения двигаться поршень массой $M = 10$ кг и площадью $S = 50$ см². Под поршнем находится одноатомный идеальный газ. Газ нагревают так, что поршень перемещается на расстояние $l = 5$ см. Какое количество теплоты Q было сообщено газу? Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па, ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².



◇ **2.29** [М-2.2.8] Некоторое количество одноатомного идеального газа нужно перевести из состояния 1 в состояние 2, используя изохорный и изобарный процессы (см. рисунок). Во сколько раз β отличаются количества теплоты, которые требуются для перехода из исходного в конечное состояние по путям 1-3-2 и 1-4-2 соответственно?



◇ **2.30** [М-2.2.9] Найти количество тепла Δq , переданное одноатомному газу при переводе его из состояния 1 в состояние 2 как показано на рисунке. При расчётах принять $p_1 = 500$ кПа, $V_1 = 2$ л, $V_2 = 4$ л.

2.31 [М-2.2.10] Одноатомный идеальный газ переводится из состояния $p_1 = 130$ кПа, $V_1 = 1$ л в состояние $p_2 = 10$ кПа, $V_2 = 2$ л по прямой, соединяющей точки (p_1, V_1) и (p_2, V_2) на pV -диаграмме. Затем газ переводится в состояние $p_3 = 20$ кПа, $V_3 = 3$ л по прямой, соединяющей точки (p_2, V_2) и (p_3, V_3) . Какое количество тепла ΔQ сообщено газу?

2.32 [М-2.2.14] Теплоизолированный сосуд объёмом $V = 500$ см³ содержит одноатомный газ, молярная масса которого $M = 500$ г/моль. В сосуд вводится дополнительно $m = 1$ г такого же газа при температуре $T = 400$ К. На какую величину Δp изменится давление? Универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль · К).

2.33 [М-2.2.12] Два сосуда содержат одноатомный идеальный газ. Масса газа в первом сосуде $m_1 = 20$ г, его температура $T_1 = 300$ К. Второй сосуд содержит такой же газ массой $m_2 = 30$ г при температуре $T_2 = 400$ К. Сосуды соединяют трубкой. Пренебрегая объёмом трубки и теплообменом с окружающей средой, найти температуру газа T , установившуюся в сосудах.

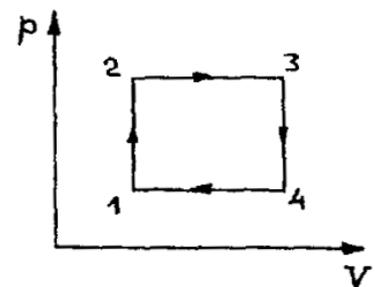
2.34 [М-2.2.13] Два сосуда, объёмы которых V_1 и V_2 , содержали одинаковый одноатомный газ молярной массы M . В сосуде объёмом V_1 масса газа равнялась m_1 при температуре T_1 , а в сосуде с объёмом V_2 — соответственно m_2 при температуре T_2 . Сосуды соединяются трубкой. Пренебрегая объёмом трубки и теплообменом с окружающей средой, найти давление p , установившееся в сосудах.

2.35 [М-2.2.11] С идеальным одноатомным газом совершается циклический процесс. Масса газа $m = 60$ г, его молярная масса $M = 20$ г/моль. Из начального состояния газ адиабатически расширяется, причём его температура изменяется от $T_1 = 400$ К до $T_2 = 64$ К. Затем газ изобарически сжимают при давлении $p_0 = 200$ кПа до первоначального объёма $V_0 = 500$ см³. Цикл замыкается изохорой $V = V_0$. Какое количество тепла Q передано газу за цикл?

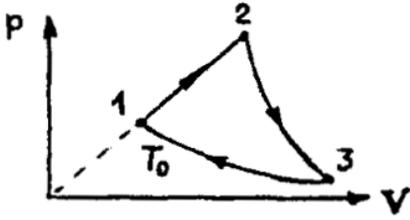
2.36 [М-2.2.15] В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде, площадь сечения которого $S = 23$ см², под поршнем весом $P = 10$ Н находится одноатомный газ. Расстояние между дном сосуда и поршнем $h = 30$ см. На внутренней стенке сосуда имеется стопорное кольцо, не позволяющее расстоянию между дном сосуда и поршнем превысить величину $H = 50$ см. Какое количество тепла Q нужно сообщить газу, чтобы его давление увеличилось в $\alpha = 1,5$ раза? Атмосферное давление $p_0 = 100$ кПа.

2.37 [М-2.2.16] С одноатомным идеальным газом совершается циклический процесс. Из начального состояния $p_2 = 1,6$ МПа и $V_1 = 2$ л газ расширяется при постоянном давлении до объёма $V_2 = 16$ л. Затем при постоянном объёме V_2 давление газа уменьшается до такой величины $p_1 = 50$ кПа, что из состояния p_1, V_2 газ приводится в начальное состояние адиабатическим сжатием. Найти работу A , совершенную газом за цикл.

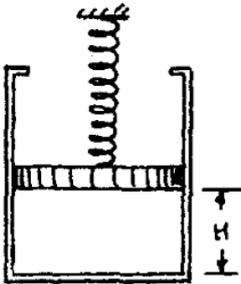
◇ **2.38** [М-2.2.17] С одним молем идеального газа проводят циклический процесс, состоящий из двух изохор и двух изобар. Найти работу A , совершаемую газом за цикл, если известно, что температура в состоянии 1 $T_1 = 300$ К, а в состояниях 2 и 4 температура одинакова и равна $T = 320$ К. Универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль · К).



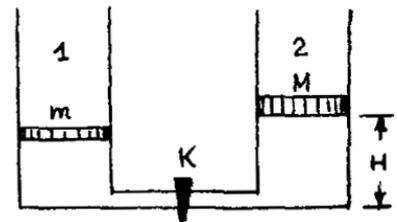
- ◇ **2.39** [М-2.2.18] С одним молем идеального одноатомного газа проводят цикл, показанный на рисунке. На участке 1-2 объем газа увеличивается в $m = 2$. Процесс 2-3 — адиабатическое расширение, процесс 3-1 — изотермическое сжатие при температуре $T_0 = 300$ К. Найти работу A , совершаемую газом на участке 2-3. Универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль · К).



- ◇ **2.40** [М-2.2.19] В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде под поршнем весом $P = 20$ Н содержится идеальный одноатомный газ. Между поршнем и неподвижной опорой располагается пружина, жёсткость которой $k = 200$ Н/м. Расстояние между поршнем и дном сосуда $H = 30$ см, при этом пружина не деформирована. Какое количество тепла Q нужно сообщить газу, чтобы поршень переместился на расстояние $\Delta h = 10$ см? Атмосферное давление не учитывать.



- ◇ **2.41** [М-2.2.20] В цилиндрическом сосуде 1 под поршнем массой $m = 5$ кг находится одноатомный идеальный газ. Сосуд 1 соединён трубкой, снабжённой краном, с таким же сосудом 2, в котором под поршнем массой $M = 10$ кг находится такой же газ. Сосуды и трубка теплоизолированы. В начальном состоянии кран К закрыт, температура газа в обоих сосудах одинакова, поршень в сосуде 2 расположен на высоте $H = 10$ см от дна. На какое расстояние Δh передвинется поршень в сосуде 1 после открывания крана? Объёмом трубки с краном пренебречь, атмосферное давление не учитывать.

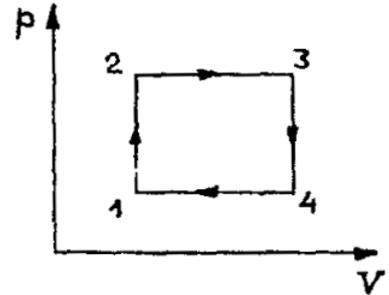


- 2.42** [М-2.2.21] Сосуд содержит $m = 1,28$ г гелия при температуре $t = 27^\circ\text{C}$. Во сколько раз β изменится среднеквадратичная скорость молекул гелия, если при его адиабатическом сжатии совершить работу $A = 252$ Дж? Молярная масса гелия $M = 4$ г/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль · К).

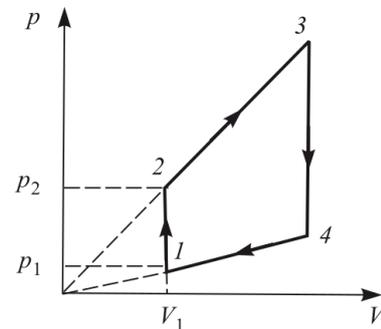
- 2.43** [М-2.2.22] В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде с площадью сечения $S = 2$ см² под поршнем массой $M = 4$ кг содержится идеальный одноатомный газ. Расстояние между поршнем и дном сосуда $h = 1$ м. Газу сообщили количество тепла $\Delta Q = 126$ Дж. Во сколько раз α изменится среднеквадратичная скорость молекул газа? Атмосферное давление $p_0 = 100$ кПа, ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с².

2.44 [М-2.2.23] Идеальная тепловая машина имеет температуру нагревателя $T_1 = 400$ К, а температуру холодильника $T_2 = 300$ К. Какую мощность N развивает эта машина, если расход топлива составляет $\mu = 10^{-3}$ кг/с, а его удельная теплота сгорания $q = 10^7$ Дж/кг?

◇ **2.45** [М-2.2.24] С одним молем идеального газа проводят циклический процесс, состоящий из двух изохор и двух изобар. Найти коэффициент полезного действия цикла η , если известно, что в состоянии 1 температура $T_1 = 256$ К, в состоянии 3 температура $T_3 = 625$ К, а в состояниях 2 и 4 температура одинакова. Универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль · К).



◇ **2.46** [М-2.2.4] Найти работу, совершенную идеальным газом за цикл (см. рисунок). Объём $V_1 = 10$ л, давление $p_1 = 10^4$ Па. Давление p_2 в $k = 4$ раза превышает p_1 . Температура в точках 2 и 4 одинакова.

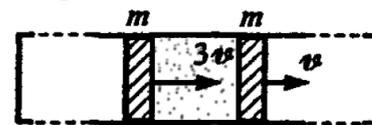


2.47 [М-2.2.7] Идеальный газ переводят из состояния p_1, V_1 в состояние p_2, V_2 двумя разными способами. В первый раз переход совершается сначала по изобаре, а затем по изохоре, а во второй — сначала по изохоре, а затем по изобаре. Найти разность количеств теплоты ΔQ , выделившихся при этих переходах. При расчётах положить $p_1 = 8 \cdot 10^5$ Па, $V_1 = 4$ м³, $p_2 = 4 \cdot 10^5$ Па, $V_2 = 2$ м³.

2.48 [Б-9.30] В сосуде с теплонепроницаемыми стенками объёмом $V = 5,6$ л находится кислород при температуре $t_1 = 85^\circ\text{C}$ и давлении $p = 2,5 \cdot 10^5$ Па. Для нагрева этого газа до $t_2 = 87^\circ\text{C}$ требуется количество теплоты $Q = 21$ Дж. Какова удельная теплоёмкость кислорода в этих условиях? Теплоёмкостью и тепловым расширением стенок сосуда пренебречь. Объём 1 моля газа при нормальных условиях равен 22,4 л.

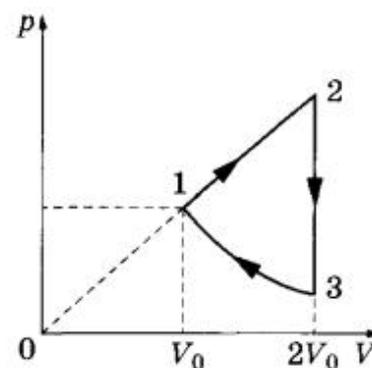
2.49 [Б-9.34] Теплоизолированный сосуд откачан до глубокого вакуума. После открытия крана сосуд быстро заполняется атмосферным воздухом. Какова будет температура воздуха T в сосуде после его заполнения? Температура атмосферного воздуха T_0 , удельная теплоёмкость при постоянном объёме c_V , средняя молярная масса M . Теплоёмкостью сосуда пренебречь.

◇ **2.50** [Б-9.33] В длинной закрытой трубке между двумя поршнями массой m каждый находится 1 моль идеального газа, масса которого много меньше массы поршней. В остальном пространстве трубки — вакуум. В начальный момент правый поршень имеет скорость v , а левый — $3v$. Найти максимальную температуру газа, если стенки трубки и поршни теплонепроницаемы. Температура газа в начальный момент равна T_0 . Внутренняя энергия одного моля газа $U = cT$. Трением пренебречь.



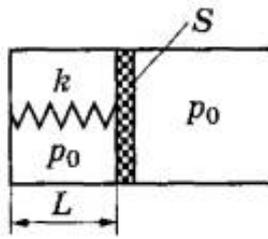
2.51 [Б-9.32] Один моль идеального одноатомного газа расширяется по политропическому закону $pV^3 = \text{const}$ от объёма V_1 и давления p_1 до объёма V_2 . Определить изменение внутренней энергии газа.

◇ **2.52** [2018-В13] Над одноатомным идеальным газом проводится циклический процесс, показанный на рисунке. На участке 1–2 газ совершает работу $A_{12} = 1000$ Дж. На адиабате 3–1 внешние силы сжимают газ, совершая работу $|A_{31}| = 370$ Дж. Количество вещества газа в ходе процесса не меняется. Найдите количество теплоты $|Q_{\text{хол}}|$, отданное газом за цикл холодильнику.

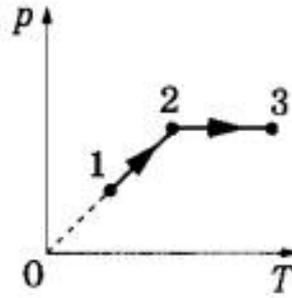


2.53 [2018-В23] С разрежённым газом, который находится в сосуде с поршнем, провели два опыта. В первом опыте газу сообщили, закрепив поршень, количество теплоты $Q_1 = 742$ Дж, в результате чего его температура изменилась на некоторую величину ΔT . Во втором опыте, предоставив газу возможность изобарно расширяться, сообщили ему количество теплоты $Q_2 = 1039$ Дж, в результате чего его температура изменилась также на ΔT . Каким было изменение температуры ΔT в опытах? Количество вещества газа $\nu = 36$ моль.

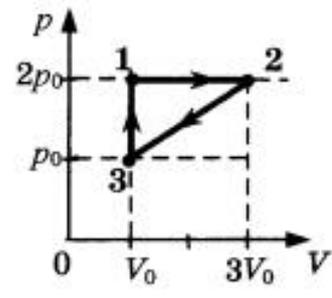
2.54 [2018-В29] В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом поршнем, находится одноатомный идеальный газ. Первоначальное давление газа $p_1 = 4 \cdot 10^5$ Па. Расстояние от дна сосуда до поршня равно L . Площадь поперечного сечения поршня $S = 25$ см². В результате медленного нагревания газ получил количество теплоты $Q = 1,65$ кДж, а поршень сдвинулся на расстояние $x = 10$ см. При движении поршня на него со стороны стенок сосуда действует сила трения величиной $F_{\text{тр}} = 3 \cdot 10^3$ Н. Найдите L . Считать, что сосуд находится в вакууме.



К задаче 2.55



К задаче 2.56



К задаче 2.57

◇ **2.55** [2018-в7] В горизонтальном цилиндре с гладкими стенками под массивным поршнем с площадью S находится одноатомный идеальный газ. Поршень соединён с основанием цилиндра пружиной с жёсткостью k . В начальном состоянии расстояние между поршнем и основанием цилиндра равно L , а давление газа в цилиндре равно внешнему атмосферному давлению p_0 (см. рисунок). Какое количество теплоты Q передано затем газу, если в результате поршень медленно переместился вправо на расстояние b ?

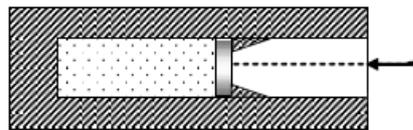
◇ **2.56** [2018-в17] Один моль одноатомного идеального газа совершает процесс 1–2–3, график которого показан на рисунке в координатах p – T . Известно, что давление газа p в процессе 1–2 увеличилось в 2 раза. Какое количество теплоты было сообщено газу в процессе 1–2–3, если его температура T в состоянии 1 равна 300 К, а в состоянии 3 равна 900 К?

◇ **2.57** [2018-в18] С одноатомным идеальным газом неизменной массы происходит циклический процесс, показанный на рисунке. За цикл газ совершает работу $A_{\text{ц}} = 5$ кДж. Какое количество теплоты газ получает за цикл от нагревателя?

2.58 (7943) В горизонтально расположенной трубке с одним закрытым концом с помощью столбика ртути заперт воздух при температуре 27°C . Затем трубку переворачивают вертикально открытым концом вверх и нагревают на 60°C , в результате чего объём запертого воздуха становится таким же, как и был в горизонтальном положении. Найдите d — высоту столбика ртути, если атмосферное давление равно 750 мм. рт. ст.

2.59 [2018-в15] Один моль аргона, находящийся в цилиндре при температуре $T_1 = 600$ К и давлении $p_1 = 4 \cdot 10^5$ Па, расширяется и одновременно охлаждается так, что его температура при расширении обратно пропорциональна объёму. Конечное давление газа $p_2 = 10^5$ Па. Какое количество теплоты газ отдал при расширении, если при этом он совершил работу $A = 2493$ Дж?

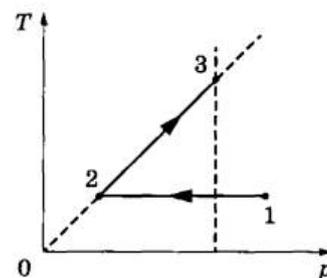
◇ **2.60** (9042) В вакууме закреплён горизонтальный цилиндр (см. рисунок). В цилиндре находится гелий, запёртый поршнем. Поршень массой 90 г удерживается упорами и может скользить влево вдоль стенок цилиндра без трения. В поршень попадает пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 400 м/с, и застревает в нём. Температура гелия в момент остановки поршня в крайнем левом положении возрастает на 64 К. Чему равно количество вещества гелия в цилиндре? Считать, что за время движения поршня газ не успевает обменяться теплом с цилиндром и поршнем.



2.61 (10202) В гладком закреплённом теплоизолированном горизонтальном цилиндре находится 1 моль идеального одноатомного газа (гелия) при температуре $T_1 = 200$ К, отделённый от окружающей среды — вакуума — теплоизолированным поршнем массой $m = 3$ кг. Вначале поршень удерживали на месте, а затем придали ему скорость $V = 15$ м/с, направленную в сторону газа. Чему будет равна среднеквадратичная скорость атомов гелия в момент остановки поршня? Поршень в цилиндре движется без трения.

2.62 (10335) В цилиндр с подвижным поршнем накачали $\nu = 4$ моль идеального одноатомного газа при температуре $t_1 = 70^\circ\text{C}$. Накачивание вели так, что давление газа было постоянным. Затем накачку прекратили и дали газу в цилиндре расшириться без теплообмена с окружающей средой до давления $p = 1$ атм. При этом газ остыл до температуры $t_2 = 30^\circ\text{C}$. Какую суммарную работу совершил газ в этих двух процессах? В исходном состоянии цилиндр был пуст и поршень касался дна.

◇ **2.63** (10440) Один моль идеального одноатомного газа совершает процесс 1–2–3, изображенный на рисунке. В процессе 1–2 температура газа постоянна и равна 300 К. Какое количество теплоты получил газ на участке 2–3?



2.64 (2980) В сосуде с небольшой трещиной находится воздух. Воздух может медленно просачиваться сквозь трещину. Во время опыта объем сосуда уменьшили в 8 раз, давление воздуха в сосуде увеличилось в 2 раза, а его абсолютная температура увеличилась в 1,5 раза. Каково изменение внутренней энергии воздуха в сосуде? Воздух считать идеальным газом.

2.65 (3658) С одним молем гелия провели процесс, при котором среднеквадратичная скорость атомов гелия выросла в $n = 2$ раза. В ходе этого процесса средняя кинетическая энергия атомов гелия была пропорциональна объёму, занимаемому гелием. Какую работу совершил газ в этом процессе? Считать гелий идеальным газом, а значение среднеквадратичной скорости атомов гелия в начале процесса принять равным $u_1 = 100$ м/с.

2.66 (4154) Один моль одноатомного идеального газа переводят из состояния 1 в состояние 2 таким образом, что в ходе процесса давление газа возрастает прямо пропорционально его объёму. В результате плотность газа уменьшается в $\alpha = 2$ раза. Газ в ходе процесса получает количество теплоты $Q = 20$ кДж. Какова температура газа в состоянии 1?

2.67 (8024) Два одинаковых теплоизолированных сосуда соединены короткой трубкой с краном. Объём каждого сосуда $V = 1$ м³. В первом сосуде находится $\nu_1 = 1$ моль гелия при температуре $T_1 = 400$ К; во втором — $\nu_2 = 3$ моль аргона при температуре T_2 . Кран открывают. После установления равновесного состояния давление в сосудах $p = 5,4$ кПа. Определите первоначальную температуру аргона T_2 .

2.68 (7306) Идеальный одноатомный газ массой $m = 72$ г совершал обратимый процесс, в течение которого среднеквадратичная скорость его молекул уменьшалась от $u_1 = 900$ м/с до $u_2 = 450$ м/с по закону $u = a\sqrt{V}$, где a — некоторая постоянная величина, а V — объём газа. Какую работу A совершил газ в этом процессе?

2.69 (6782) Теплоизолированный сосуд объёмом $V = 4$ м³ разделён пористой перегородкой на две равные части. В начальный момент в одной части сосуда находится 1 моль гелия, а в другой 1 моль неона. Атомы гелия могут свободно проникать через перегородку, а атомы неона — нет. Начальная температура гелия равна температуре неона: $T = 400$ К. Определите внутреннюю энергию газа в той части сосуда, где первоначально находился неон, после установления равновесия в системе.

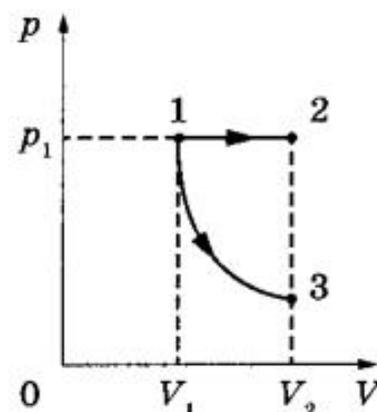
2.70 (7935) Два одинаковых теплоизолированных сосуда соединены короткой трубкой с краном. Объём каждого сосуда $V = 1$ м³. В первом сосуде находится $\nu_1 = 1$ моль гелия при температуре $T_1 = 400$ К; во втором — $\nu_2 = 3$ моль аргона при температуре T_2 . Кран открывают. После установления равновесного состояния давление в сосудах $p = 5,4$ кПа. Определите первоначальную температуру аргона T_2 .

2.71 (4217) В теплоизолированном цилиндре, разделённом на две части тонким невесомым теплопроводящим поршнем, находится идеальный одноатомный газ. В начальный момент времени поршень закреплён, а параметры состояния газа — давление, объём и температура — в одной части цилиндра равны $p_1 = 1$ атм, $V_1 = 1$ л, $T_1 = 300$ К, а в другой, соответственно, $p_2 = 2$ атм, $V_2 = 1$ л, $T_2 = 600$ К. Поршень отпускают, и он начинает двигаться без трения. Какое давление газа установится в цилиндре спустя достаточно долгое время, когда будет достигнуто состояние равновесия? Теплоёмкостями цилиндра и поршня можно пренебречь.

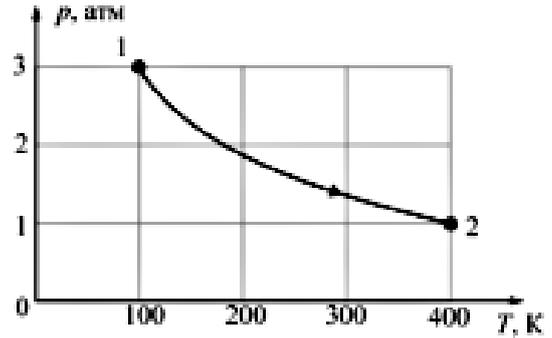
2.72 (3814) Теплоизолированный цилиндр разделён подвижным теплопроводным поршнем на две части. В одной части цилиндра находится гелий, а в другой — аргон. В начальный момент температура гелия равна 300 К, а аргона — 900 К; объёмы, занимаемые газами, одинаковы, а поршень находится в равновесии. Поршень медленно перемещается без трения. Теплоёмкость поршня и цилиндра пренебрежимо мала. Чему равно отношение внутренней энергии гелия после установления теплового равновесия к его энергии в начальный момент?

2.73 (6069) В цилиндре под поршнем находится 1 моль гелия в объёме V_1 под некоторым давлением p , причём среднеквадратичная скорость движения атомов гелия равна $u_1 = 500$ м/с. Затем объём гелия увеличивают до V_2 таким образом, что при этом среднеквадратичная скорость движения атомов гелия увеличивается в $n = 2$ раза, а отношение u^2/V в процессе остаётся постоянным (u — среднеквадратичная скорость газа, V — занимаемый им объём). Какое количество теплоты Q было подведено к гелию в этом процессе?

◇ **2.74** (2019-в9.30) Одно и то же постоянное количество одноатомного идеального газа расширяется из одного и того же начального состояния p_1, V_1 до одного и того же конечного объёма V_2 первый раз по изобаре 1-2, а второй — по адиабате 1-3 (см. рисунок). Отношение работы газа в процессе 1-2 к работе газа в процессе 1-3 равно $k = 2$. Чему равно отношение x количества теплоты Q_{12} , полученного газом от нагревателя в ходе процесса 1-2, к модулю изменения внутренней энергии газа $|U_3 - U_1|$ в ходе процесса 1-3?

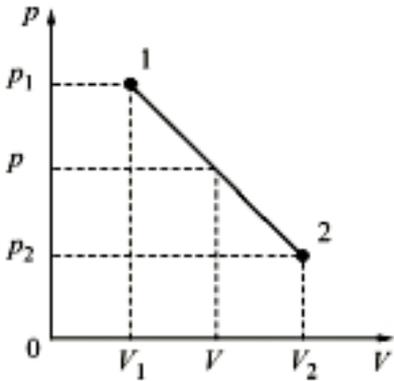


◇ **2.75** (9166) С одним молем гелия, находящегося в цилиндре под поршнем, провели процесс 1–2, изображённый на $p-T$ диаграмме. Во сколько раз изменилась при этом частота ν столкновений атомов со стенками сосуда, то есть число ударов атомов в единицу времени о единицу площади стенок? Начальные и конечные параметры процесса 1–2 приведены на рисунке.

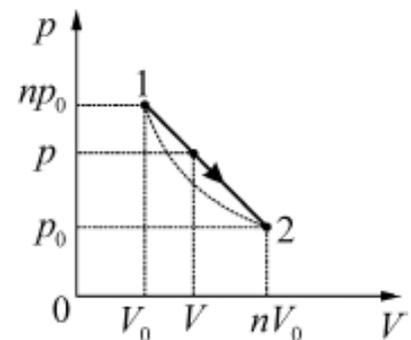


2.76 (6667) В гладком вертикальном цилиндре под подвижным поршнем массой $M = 25$ кг и площадью $S = 500$ см² находится идеальный одноатомный газ при температуре $T = 300$ К. Поршень в равновесии располагается на высоте $h = 50$ см над дном цилиндра. После сообщения газу некоторого количества теплоты поршень приподнялся, а газ нагрелся. Найдите удельную теплоёмкость газа в данном процессе. Давление в окружающей цилиндр среде равно $p_0 = 10^4$ Па, масса газа в цилиндре $m = 0,5$ г.

◇ **2.77*** (8960) С некоторым количеством идеального газа проводят процесс 1–2, для которого график зависимости давления от объёма представляет собой на pV -диаграмме прямую линию (см. рисунок). Параметры начального и конечного состояний процесса: $p_1 = 3$ атм, $V_1 = 1$ л, $p_2 = 1$ атм, $V_2 = 4$ л. Какой объём V_M соответствует максимальной температуре газа в данном процессе?



◇ **2.78*** (7806) Процесс 1–2 с идеальным газом, изображённый на $p-V$ -диаграмме, имеет вид прямой линии $p(V)$, соединяющей две точки (1 и 2), лежащие на одной изотерме. Во сколько раз максимальная температура T_M в этом процессе превышает температуру T_0 на изотерме? Параметры точек 1 и 2 (давления и объёмы) приведены на рисунке, $n = 5$.



Влажность

2.79 [М-2.3.1] Относительная влажность воздуха в комнате объёмом $V = 40 \text{ м}^3$ равна $f = 70\%$. Найти массу водяных паров в комнате, если температура воздуха $t = 20^\circ\text{С}$, а давление насыщенного пара при этой температуре $p_{\text{н}} = 2330 \text{ Па}$. Универсальная газовая постоянная $R = 8,3 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$, молярная масса воды $M = 0,018 \text{ кг}/\text{моль}$.

2.80 [М-2.3.2] В комнате при температуре $t = 20^\circ\text{С}$ относительная влажность воздуха $f_1 = 20\%$. Какую массу Δm воды нужно испарить для увеличения влажности до величины $f_2 = 60\%$ при той же температуре? Объем комнаты $V = 50 \text{ м}^3$, плотность насыщенных паров воды при температуре $t = 20^\circ\text{С}$ равна $\rho_{\text{н}} = 1,73 \cdot 10^{-2} \text{ кг}/\text{м}^3$.

2.81 [М-2.3.3] В комнате при температуре $t = 20^\circ\text{С}$ относительная влажность $f_1 = 20\%$. Найти относительную влажность f_2 после испарения в комнате $m = 0,2 \text{ кг}$ воды. Объем комнаты $V = 50 \text{ м}^3$, плотность насыщенных паров при температуре $t = 20^\circ\text{С}$ равна $\rho_{\text{н}} = 1,73 \cdot 10^{-2} \text{ кг}/\text{м}^3$.

2.82 [М-2.3.4] Воздух в комнате объёмом $V = 50 \text{ м}^3$ имеет температуру $t = 27^\circ\text{С}$ и относительную влажность $f_1 = 30\%$. Сколько времени τ должен работать увлажнитель воздуха, распыляющий воду с производительностью $\alpha = 2 \text{ кг}/\text{ч}$, чтобы относительная влажность в комнате повысилась до $f_2 = 70\%$? Давление насыщенных паров воды при $t = 27^\circ\text{С}$ равно $p_{\text{н}} = 3565 \text{ Па}$, универсальная газовая постоянная $R = 8,3 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$, молярная масса воды $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ г}/\text{моль}$.

2.83 [М-2.3.5] Относительная влажность при температуре $t_1 = 27^\circ\text{С}$ равна $f_1 = 75\%$. Во сколько раз n изменится относительная влажность, если температура упадёт до $t_2 = 10^\circ\text{С}$? Давление насыщенного пара при $t_1 = 27^\circ\text{С}$ равно $p_1 = 27 \text{ мм. рт. ст.}$, при $t_2 = 10^\circ\text{С}$ равно $p_2 = 9,2 \text{ мм. рт. ст.}$

2.84 [М-2.3.7] Определить массу воды m , которую теряет человек за $\tau = 1 \text{ ч}$ в процессе дыхания, исходя из следующих данных. Относительная влажность вдыхаемого воздуха $f_1 = 60\%$, относительная влажность выдыхаемого воздуха $f_2 = 100\%$. Человек делает в среднем $n = 15$ вдохов в минуту, вдыхая каждый раз $V = 2,5 \text{ л}$ воздуха. Температуру вдыхаемого и выдыхаемого воздуха принять $t = 36^\circ\text{С}$; давление насыщенного водяного пара при этой температуре $p_{\text{н}} = 5,9 \text{ кПа}$. Молярная масса воды $M = 18 \text{ г}/\text{моль}$, универсальная газовая постоянная $R = 8,3 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$.

2.85 [М-2.3.6] Горизонтально расположенный цилиндр разделен подвижным поршнем массы $m = 5$ кг на две равные части объемом $V = 1$ л каждая. С одной стороны от поршня находится насыщенный водяной пар при температуре $t = 100^\circ\text{C}$, с другой — воздух при той же температуре. Цилиндр поставили вертикально так, что снизу оказался пар. На какое расстояние x опустится поршень, если температуру в обеих частях цилиндра поддерживают неизменной? Площадь основания цилиндра $S = 0,01$ м², давление насыщенного пара при температуре $t = 100^\circ\text{C}$ равно $p_{\text{н}} = 10^5$ Па. Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с².

2.86 [Б-10.8] В комнате объемом 120 м³ при температуре $t = 15^\circ\text{C}$ относительная влажность составляет $\varphi = 60\%$. Определить массу водяных паров в воздухе комнаты. При $t = 15^\circ\text{C}$ давление насыщенного водяного пара $p_0 = 1701$ Па.

2.87 [Б-10.9] В сосуд объемом $V_2 = 10$ м³, наполненный сухим воздухом при давлении $p_0 = 10^5$ Па и температуре $T_0 = 273$ К, вводят $m = 3$ г воды. Сосуд нагревают до температуры $T = 373$ К. Каково давление влажного воздуха в сосуде при этой температуре?

2.88 [Б-10.10] Относительная влажность воздуха при $t_1 = 30^\circ\text{C}$ равна $\varphi_1 = 80\%$. Какова будет относительная влажность φ_2 , если этот воздух нагреть при постоянном объеме до $t_2 = 50^\circ\text{C}$? При 30°C давление насыщенных паров воды $p_{01} = 4229$ Па, при 50°C — $p_{02} = 12303$ Па.

2.89 [Б-10.11] В цилиндре под поршнем в пространстве объемом $V_1 = 1,5$ л находится воздух и насыщенный водяной пар при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Какова будет относительная влажность воздуха в цилиндре, если объем уменьшить до $V_2 = 0,1$ л, а температуру повысить до $t_2 = 100^\circ\text{C}$? При 20°C давление насыщенного пара $p_{\text{н}} = 2,3$ кПа. Пар считать идеальным газом.

2.90 [Б-10.12] В сосуде при атмосферном давлении $p_0 = 10^5$ Па находится воздух, температура которого $t_1 = 10^\circ\text{C}$, а относительная влажность $r = 60\%$. На сколько изменится относительная влажность воздуха, если сосуд нагреть до температуры $t_2 = 100^\circ\text{C}$ и уменьшить объем в 3 раза? При 10°C давление насыщенного пара воды $p_{\text{н}} = 1224$ Па. Считать содержащийся в воздухе пар идеальным газом.

2.91 [Б-10.14] Определить плотность насыщенного водяного пара $\rho_{\text{п}}$ при нормальном атмосферном давлении и температуре 100°C и сравнить её с плотностью воздуха $\rho_{\text{в}}$ при тех же условиях.

2.92 [Б-10.13] Объем воздуха V_1 с относительной влажностью φ_1 смешали с объемом воздуха V_2 с относительной влажностью φ_2 . Процесс происходил при постоянных температуре и давлении. Определить влажность воздуха после перемешивания объемов.

2.93 [Б-10.15] Шар-зонд объемом $V = 1 \text{ м}^3$ заполняют воздухом с температурой $T = 373 \text{ К}$ и давлением $p_0 = 10^5 \text{ Па}$. На сколько отличаются подъемные силы двух шаров, один из которых заполнен сухим воздухом, а другой — воздухом с относительной влажностью $\varphi = 30\%$? Молярная масса воздуха $\mu = 29 \text{ кг/моль}$. Изменением температуры от высоты пренебречь.

2.94 [Б-10.16] В закрытом сосуде объемом $V = 100 \text{ л}$ при температуре $t = 30^\circ\text{С}$ находится воздух с относительной влажностью $\varphi = 30\%$. Какова будет относительная влажность, если в сосуд ввести $m = 1 \text{ г}$ воды? Давление насыщенных паров воды при 30°С $p_{\text{н}} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Па}$. Молярная масса воды $\mu = 18 \text{ кг/моль}$.

2.95 [Б-10.17] В закрытом помещении объемом $V = 60 \text{ м}^3$ при температуре $t = 18^\circ\text{С}$ относительная влажность воздуха $\varphi = 50\%$. Сколько воды необходимо испарить, чтобы в этом объеме водяные пары при той же температуре стали насыщенными? При 18°С давление насыщенного пара $p_{\text{н}} = 2063 \text{ Па}$, $R = 8,31 \cdot 10^3 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$.

2.96 [Б-10.18] В закрытом сосуде объемом $V = 1 \text{ л}$ находятся воздух и водяной пар при температуре 100°С . Относительная влажность воздуха $\varphi = 25\%$. Какая масса водяного пара сконденсируется, если объем изотермически уменьшить в $n = 5$ раз? p_0 — нормальное атмосферное давление, M — молярная масса воды.

2.97 (5744) В цилиндре объемом $V = 10 \text{ л}$ под поршнем находится воздух с относительной влажностью $f = 60\%$ при комнатной температуре $T = 293 \text{ К}$ под давлением $p = 1 \text{ атм}$. Воздух сжимают до объема $V/2$, поддерживая его температуру постоянной. Какая масса m воды сконденсируется к концу процесса сжатия? Давление насыщенного пара воды при данной температуре равно $p_{\text{н}} = 17,5 \text{ мм. рт. ст.}$

2.98 (7910) В начальный момент времени газ имел давление $p_1 = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$ при $t = 100^\circ\text{С}$. Затем газ изотермически сжали в $k = 4$ раз. В результате давление газа увеличилось в 3 раза. Определите относительную влажность в начальный момент времени.

2.99 [2018-вз] В комнате размерами $4 \times 5 \times 3$ м, в которой воздух имеет температуру 20°C и относительную влажность 30% , включили увлажнитель воздуха производительностью $0,2$ л/ч. Сколько времени необходимо работать увлажнителю, чтобы относительная влажность воздуха в комнате повысилась до 65% ? Давление насыщенного водяного пара при температуре 20°C равно $2,33$ кПа. Комнату считать герметичным сосудом.

2.100 [ЕГЭ] В одном сосуде под поршнем находится влажный воздух, в другом — сухой воздух. Сосуды одинаковы, первоначальный объём каждого равен $3V_0$. Объём каждого сосуда изотермически уменьшают до V_0 . При этом в первом сосуде при объёме $2V_0$ выпала роса. Построить графики процессов в координатах $p(V)$.

2.101 (6911) Два сосуда объёмами 20 л и 30 л, соединённые трубкой с краном, содержат влажный воздух при комнатной температуре. Относительная влажность в сосудах равна соответственно 30% и 40% . Если кран открыть, то какой будет относительная влажность воздуха в сосудах после установления теплового равновесия, считая температуру постоянной?

2.102 (2939) В эксперименте установлено, что при температуре воздуха в комнате 29°C на стенке стакана с холодной водой начинается конденсация паров воды из воздуха, если снизить температуру стакана до 27°C . По результатам этих экспериментов определите абсолютную и относительную влажность воздуха. Для решения задачи воспользуйтесь таблицей. Поясните, почему конденсация паров воды в воздухе может начинаться при различных значениях температуры. Давление и плотность насыщенного водяного пара при различной температуре показаны в таблице.

$t, ^\circ\text{C}$	12	13	14	15	16	19	21	23	25	27	29	40	60
$p, \text{гПа}$	14	15	16	17	18	22	25	28	32	36	40	74	200
$\rho, \text{г/м}^3$	10,7	11,4	12,1	12,8	13,6	16,3	18,4	20,6	23,0	25,8	28,7	51,2	130,5

Уравнение теплового баланса

2.103 [Б-9.1] В калориметре смешиваются три химически не взаимодействующих жидкости в количествах: $m_1 = 1$ кг, $m_2 = 10$ кг, $m_3 = 5$ кг, имеющие соответственно температуры: $t_1 = 6^\circ\text{C}$, $t_2 = -40^\circ\text{C}$, $t_3 = 60^\circ\text{C}$ и удельные теплоёмкости $c_1 = 2$ кДж/(кг·К), $c_2 = 4$ кДж/(кг·К) и $c_3 = 2$ кДж/(кг·К). Определить температуру смеси и количество теплоты, необходимое для последующего нагревания смеси до $t = 6^\circ\text{C}$.

2.104 [Б-9.8] В калориметре находится $m_1 = 300$ г льда при температуре $t_1 = -10^\circ\text{C}$. Туда же помещают $m_2 = 250$ г алюминия, нагретого до температуры $t_2 = 200^\circ\text{C}$. Какая температура установится в калориметре?

2.105 [Б-9.2] В воду массой $m = 1$ кг при $t = 20^\circ\text{C}$ брошей комок мокрого снега массой $m_{\text{к}} = 250$ г. Когда весь снег растаял, общая температура стала равной $\theta = 5^\circ\text{C}$. Определить количество воды в комке снега. Теплоёмкость воды $c = 4200$ Дж/(кг·К), удельная теплота плавления снега $\lambda = 334$ кДж/кг.

2.106 [Б-9.3] В сосуд, содержащий $m_1 = 10$ кг воды при температуре $t_1 = 10^\circ\text{C}$, положили кусок льда, охлаждённого до $t_2 = -50^\circ\text{C}$, после чего температура образовавшейся ледяной массы стала $\theta = -4^\circ\text{C}$. Какое количество m_2 льда было положено в сосуд? Удельная теплоёмкость воды $c_1 = 4,2$ кДж/(кг·К), льда $c_2 = 2,1$ кДж/(кг·К). Удельная теплота плавления льда $\lambda = 0,33$ МДж/кг.

2.107 [Б-9.4] В латунный калориметр массой $m_{\text{к}} = 128$ г, содержащий $m_{\text{в}} = 240$ г воды при $t_0 = 8,4^\circ\text{C}$, опущено металлическое тело массой $m_{\text{т}} = 192$ г, нагретое до $t_{\text{т}} = 100^\circ\text{C}$. Определить удельную теплоёмкость испытуемого тела c , если в калориметре установилась температура $\theta = 21,6^\circ\text{C}$. Удельная теплоёмкость воды $c_{\text{в}} = 4200$ Дж/(кг·К), латуни $c_{\text{л}} = 380$ Дж/(кг·К).

2.108 [Б-9.5] В теплоизолированном сосуде при температуре $t_1 = 0^\circ\text{C}$ находится смесь, состоящая из воды массой $m_1 = 1,5$ кг и льда массой $m_2 = 0,5$ кг. В сосуд введено некоторое количество сухого насыщенного пара, имеющего температуру $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Через некоторое время в сосуде установилась температура $\theta = 80^\circ\text{C}$. Найти массу m_3 пара, введённого в сосуд. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг, удельная теплота парообразования воды $r = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг, удельная теплоёмкость воды $c_1 = 4,2$ кДж/(кг·К).

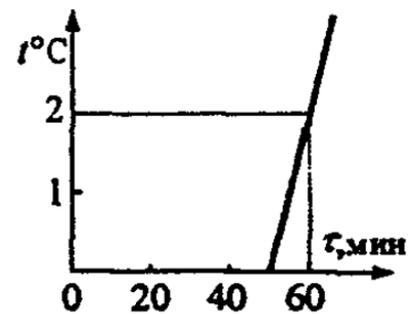
2.109 [Б-9.6] В термосе находится вода при температуре 0°C . Масса воды $M = 100$ г. Выкачивая из термоса воздух, воду замораживают посредством её испарения. Какова масса m льда, образовавшегося в термосе? Удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг, удельная теплота парообразования воды $r = 24,8 \cdot 10^5$ Дж/кг.

2.110 [Б-9.7] В калориметр, содержащий $0,4$ кг воды, при температуре 20°C поместили $0,6$ кг льда при температуре -10°C . Какая температура установится в калориметре? Какова будет масса воды и льда? Удельная теплоёмкость воды $4,2$ кДж/кг, льда — $2,1$ кДж/кг. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 340$ кДж/кг.

2.111 [Б-9.9] В латунном калориметре массой $m_1 = 0,1$ кг находится $m_2 = 5$ г льда при температуре $t = -10^\circ\text{C}$. В калориметр вливают $m_3 = 30$ г расплавленного свинца при температуре плавления. Какая температура θ установится в калориметре? Температура плавления свинца $T = 600$ К. Удельная теплоёмкость латуни $c_1 = 0,38 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К), льда — $c_2 = 2,1 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К), свинца — $c_3 = 0,13 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К). Удельная теплота плавления льда $\lambda_2 = 3,35 \cdot 10^5$ Дж/кг, свинца — $\lambda_3 = 0,25 \cdot 10^5$ Дж/кг.

2.112 [Б-9.10] В герметически закрытом сосуде в воде плавает кусок льда массой $M = 0,1$ кг, в который вмёрзла свинцовая дробинка массой $m = 5$ г. Какое количество тепла нужно затратить, чтобы дробинка начала тонуть? Теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг. Температура воды в сосуде — 0°C ; плотность льда $\rho_{\text{л}} = 0,9 \cdot 10^3$ кг/м³, свинца — $\rho_{\text{св}} = 11,3 \cdot 10^3$ кг/м³.

◇ **2.113** [Б-9.11] В ведре находится смесь воды со льдом массой $m = 10$ кг. Ведро внесли в комнату и сразу начали измерять температуру смеси. Получившаяся зависимость температуры смеси от времени изображена на рисунке. Удельная теплоёмкость воды $c_{\text{в}} = 4,2$ кДж/(кг · К), удельная теплота плавления льда $\lambda = 340$ кДж/кг. Определить массу льда в ведре, когда его внесли в комнату; теплоёмкостью ведра пренебречь.



2.114 (3073) В калориметре находился 1 кг льда. Какой была температура льда, если после добавления в калориметр 15 г воды, имеющей температуру 20°C , в калориметре установилось тепловое равновесие при -2°C ? Теплообменом с окружающей средой и теплоемкостью калориметра пренебречь.

2.115 [м-2.3.8] В чайник налили воды при температуре $t = 10^\circ\text{C}$ и поставили на электроплитку. Через время $\tau_1 = 10$ мин вода закипела. Через какое время τ_2 вода полностью выкипит? Удельная теплоёмкость воды $c = 4,2$ кДж/(кг · К), удельная теплота парообразования $r = 2,3$ МДж/кг. Температура кипения воды $t_{\text{к}} = 100^\circ\text{C}$. Теплоёмкостью чайника пренебречь.

2.116 [м-2.3.9] В калориметре находилось $m_1 = 400$ г воды при температуре $t_1 = 5^\circ\text{C}$. К ней долили ещё $m_2 = 200$ г воды при температуре $t_2 = 10^\circ\text{C}$ и положили $m_3 = 400$ г льда при температуре $t_3 = -60^\circ\text{C}$. Какая масса m льда оказалась в калориметре после установления теплового равновесия? Удельные теплоёмкости воды и льда, соответственно, $c_{\text{в}} = 4,2$ Дж/(г · К), $c_{\text{л}} = 2,1$ Дж/(г · К), удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ Дж/г. Теплоёмкостью калориметра пренебречь.

2.117 [м-2.3.10] На примус поставили открытую кастрюлю с водой при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ и сняли её через $\tau = 40$ мин. Найти объём V_1 оставшейся в кастрюле воды, если начальный объём воды составлял $V = 3$ л. В примусе каждую минуту сгорает $m = 3$ г керосина, удельная теплота сгорания которого $h = 40$ кДж/г, КПД примуса (относительная доля выделившегося тепла, идущая на нагревание воды) $\eta = 42\%$, теплоёмкость и удельная теплота парообразования воды соответственно $c = 4,2$ кДж/(кг · К), $r = 2,1$ МДж/кг, плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³, температура кипения воды $t_{\text{к}} = 100^\circ\text{C}$. Теплоёмкостью кастрюли пренебречь.

2.118 [м-2.3.11] Нагретый металлический порошок высыпают в жидкость массой m , находящуюся при температуре T_1 . Масса порошка равна M , его удельная теплоёмкость c . Когда установилось тепловое равновесие, оказалось, что температура системы равна T_2 и масса жидкости уменьшилась на Δm . Удельная теплоёмкость жидкости равна c_1 , её удельная теплота парообразования r , температура кипения $T_{\text{к}}$. Найти температуру T_3 , которую имел нагретый порошок.

2.119 [м-2.3.12] Тигель, содержащий некоторое количество олова, нагревают на плитке, выделяющей в единицу времени постоянное количество тепла. За время $\tau_0 = 20$ мин температура олова повысилась от $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $t_2 = 70^\circ\text{C}$, а ещё через $\tau = 166$ мин олово полностью расплавилось. Найти удельную теплоёмкость олова c , если его температура плавления $t_{\text{пл}} = 232^\circ\text{C}$, а удельная теплота плавления $\lambda = 58,5$ Дж/кг. Теплоёмкостью тигля и потерями тепла пренебречь.

2.120 [м-2.3.13] Железнодорожный вагон массой $M_1 = 60$ т, движущийся со скоростью $v_0 = 7,2$ км/ч, сталкивается с неподвижно стоящим вагоном массой $M_2 = 40$ т. После столкновения вагоны приобретают одну и ту же скорость и движутся как единый состав. Какой объем воды V можно было бы довести до кипения, если всю энергию, выделившуюся при столкновении вагонов, удалось бы обратить в нагрев воды? Начальная температура воды $t_0 = 20^\circ\text{C}$, температура кипения воды $t_k = 100^\circ\text{C}$, удельная теплоёмкость воды $c = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К), плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³.

2.121 [2018-в20] В калориметре находится 1 кг льда при температуре -5°C . Какую массу воды, имеющей температуру 20°C , нужно добавить в калориметр, чтобы температура его содержимого после установления теплового равновесия оказалась -2°C ? Теплообменом с окружающей средой и теплоёмкостью калориметра пренебречь.

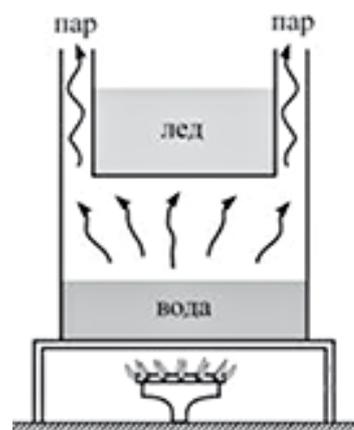
2.122 (9290) В калориметр, содержащий 200 г воды при температуре 15°C , добавили 20 г мокрого снега. Температура в калориметре стала равна 10°C . Сколько воды было в снеге?

2.123 [м-2.3.14] В теплоизолированном сосуде в начальный момент находится одноатомный газ при температуре $T_0 = 300$ К и кусочек железа массы $m = 0,2$ кг, нагретый до температуры $T_1 = 500$ К. Начальное давление газа $p_0 = 10^5$ Па, его объем $V_0 = 1000$ см³, удельная теплоёмкость железа $c = 0,45$ кДж/(кг · К). Найти давление газа в равновесном состоянии, считая объем газа неизменным.

2.124 [м-2.3.15] Толстостенный сосуд массой $m = 1$ кг изготовлен из материала, удельная теплоёмкость которого $c = 100$ Дж/(кг · К). Сосуд содержит $\nu = 2$ моля одноатомного газа, объем которого $V = 500$ м³ остаётся неизменным. Системе сообщают количество тепла $Q = 300$ Дж. Найти изменение давления газа Δp . Универсальную газовую постоянную принять $R = 8,3$ Дж/(моль · К).

2.125 [м-2.3.16] Некоторое количество воды нагревается электронагревателем мощностью $W = 500$ Вт. При включении нагревателя на время $t_1 = 2$ мин температура воды повысилась на $\Delta T = 1$ К, а при его отключении — понизилась за время $t_2 = 1$ мин на ту же величину ΔT . Какова масса нагреваемой воды, если потери тепла за счёт рассеяния в окружающую среду пропорциональны времени? Удельная теплоёмкость воды $c = 4,19 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К).

◇ **2.126** (3688) На газовую плиту поставили сосуд, в котором находится 0,5 литра воды при температуре $+20^\circ\text{C}$. В верхней части сосуда имеется ёмкость с 1 кг льда при температуре 0°C (см. рисунок). Пары воды могут выходить из сосуда, обтекая ёмкость со льдом. Что и при какой температуре окажется в верхней ёмкости к моменту, когда вся вода в сосуде испарится? Считать, что на нагревание ёмкости расходуется 50% теплоты, получаемой водой в сосуде. Испарением воды при температуре ниже $+100^\circ\text{C}$, а также теплоёмкостью стенок сосуда и ёмкости пренебречь.



2.127 (6943) В калориметр поместили $m = 200$ г льда при температуре $t_1 = -18^\circ\text{C}$, затем сообщили льду количество теплоты $Q = 120$ кДж и добавили в калориметр ещё $M = 102$ г льда при температуре $t_2 = 0^\circ\text{C}$. Какая температура t_3 установилась в калориметре в состоянии равновесия? Теплообменом содержимого калориметра с окружающей средой и теплоёмкостью калориметра можно пренебречь.

2.128 (9757) Для получения и поддержания температуры 0°C , одной из двух реперных точек на шкале Цельсия, в лабораторной практике часто используют следующий метод. В теплоизолированный стакан наливают дистиллированную воду комнатной температуры, поливают воду сверху жидким азотом, перемешивая смесь ложкой до тех пор, пока не образуется масса серого цвета, состоящая из мелких кристалликов льда и воды. Это обеспечивает нужную температуру в течение длительного времени — смесь помещают в сосуд Дьюара, где она медленно тает при 0°C . Какой объём V жидкого азота требуется израсходовать для получения массы $m = 300$ г такой смеси, содержащей 75% льда и 25% воды (по массе), из воды при 25°C ? Теплоёмкостями стакана и ложки, а также потерями теплоты можно пренебречь. Плотность жидкого азота $\rho_{\text{ж}} = 808$ кг/м³, удельная теплота парообразования $r = 197,6$ кДж/кг.

2.129 (8879) Железный шарик радиусом $r = 2$ см заморожен в ледяной шар радиусом $R = 3$ см. Их охладили до температуры $t_1 = -20^\circ\text{C}$ и опустили в калориметр, в котором находится вода массой $m = 200$ г при температуре $t_2 = 30^\circ\text{C}$. Какая температура t установится в калориметре после достижения равновесного состояния? Потерями теплоты пренебречь. Плотность льда $\rho_{\text{л}} = 900$ кг/м³.

2.130 (6749) В калориметре находится лёд при температуре -10°C . В него добавляют 50 г воды, имеющей температуру 30°C . После установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась равной -2°C . Определите первоначальную массу льда в калориметре. Теплообменом с окружающей средой и теплоёмкостью калориметра пренебречь.

2.131 (3670) В 2012 году зима в Подмоскowie была очень холодной, и приходилось использовать системы отопления дачных домов на полную мощность. В одном из них установлено газовое отопительное оборудование с тепловой мощностью 17,5 кВт и КПД 85%, работающее на природном газе — метане CH_4 . Сколько пришлось заплатить за газ хозяевам дома после месяца (30 дней) отопления в максимальном режиме? Цена газа составляла на этот период 3 рубля 30 копеек за 1 кубометр газа, удельная теплота сгорания метана $50,4 \text{ МДж/кг}$, молярная масса метана равна 16 г/моль . Можно считать, что объём потреблённого газа измеряется счётчиком при нормальных условиях.

3 Электростатика

Определения и теория

1. Закон Кулона. Связь k и ε_0 ; их единицы измерения.
2. Напряжённость электрического поля \vec{E} .
3. Потенциальная энергия W_p взаимодействия зарядов; заряда и поля.
4. Потенциал электрического поля φ . Его изменение при движении вдоль (перпендикулярно) силовым линиям.
5. Вещество в электрическом поле. Проводники и диэлектрики (полярные, неполярные). Диэлектрическая проницаемость ε .
6. Поверхностная (линейная, объёмная) плотность заряда σ (λ , ρ).
7. Поток вектора напряжённости. Теорема Гаусса. Поле бесконечной пластины; двух пластин.
8. $\vec{E}(r)$ и $\varphi(r)$, создаваемые заряженной сферой (с графиками).
9. $\vec{E}(r)$ и $\varphi(r)$ двух концентрических заряженных сфер (с графиками).

Закон Кулона

3.1 [Б-11.4] На нити подвешен шарик массой $m = 9,8$ г, которому сообщили заряд $q = 1$ мкКл. Когда к нему поднесли снизу заряженный таким же зарядом шарик, сила натяжения нити уменьшилась в 4 раза. Определить расстояние между центрами шариков.

3.2 [М-3.1.8] Два одинаковых маленьких шарика массами $m = 10$ г, заряженные одинаковыми зарядами $q = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл, закреплены на непроводящей нити, подвешенной на штативе. При какой длине l отрезка нити между шариками оба отрезка нити (верхний и нижний) будут испытывать одинаковое натяжение? Электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с².

3.3 [Б-11.6] Три положительных заряда q_1 , q_2 и q_3 расположены на одной прямой и связаны между собой двумя нитями длиной l каждая. Определить натяжение нитей, если q_2 связан одновременно с q_1 и q_3 .

3.4 [Б-11.3] Определить силу взаимодействия F_k электрона с ядром в атоме водорода. Рассчитать скорость вращения v электрона по орбите, считая её окружностью радиусом $r = 0,5 \cdot 10^{-10}$ м. Масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, элементарный заряд $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

3.5 [Б-11.1] Два маленьких проводящих шарика одинакового радиуса и массы подвешены в воздухе на длинных нитях так, что их поверхности соприкасаются. После того, как шарикам был сообщён заряд $2q$, шарики разошлись на угол 2α . Найти массу m шариков, если длина нити l .

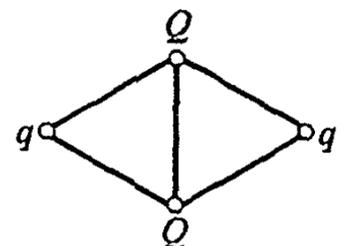
3.6 [М-3.1.6] К нитям длиной l , точки подвеса которых находятся на одном уровне на расстоянии L друг от друга, подвешены два одинаковых маленьких шарика массами m каждый. При сообщении им одинаковых по величине разноимённых зарядов шарики сблизилась до расстояния L_1 . Определить величину сообщённых шарикам зарядов q .

3.7 [Б-11.5] Два заряженных шарика, подвешенных на нитях одинаковой длины, опускают в керосин. Какова должна быть плотность шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и керосине был одинаков? Массы шариков равны. Диэлектрическая проницаемость керосина $\varepsilon = 2$, плотность керосина $\rho_k = 800$ кг/м³.

3.8 [Б-11.2] Определить величину и направление силы F взаимодействия положительного заряда Q и диполя, представляющего собой систему из двух зарядов q и $-q$, жёстко закреплённых на расстоянии d друг от друга. Заряд Q находится в точке, расположенной на одинаковом расстоянии r от каждого из зарядов $\pm q$.

3.9 [Б-11.7] В вершинах квадрата со стороной a находятся одинаковые одноимённые заряды, равные q . Какой заряд необходимо поместить в центре квадрата, чтобы система находилась в равновесии?

◇ **3.10** [Б-11.8] Четыре заряда q , Q , q , Q связаны пятью нитями длиной l (см. рисунок). Определить натяжение нити, связывающей заряды Q ($Q > q$).



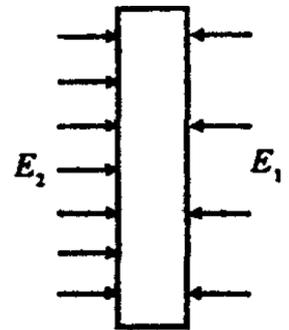
3.11* [Б-11.9] Тонкое проволочное кольцо радиусом R несёт электрический заряд q . В центре кольца расположен одноимённый с q заряд Q , причём $Q > q$. Определить силу, растягивающую кольцо.

3.12* [М-3.1.9] Два маленьких тела с равными зарядами q расположены на внутренней поверхности гладкой непроводящей сферы радиусом R . Первое тело закреплено в нижней точке сферы, а второе может свободно скользить по её поверхности. Найти массу второго тела, если известно, что в состоянии равновесия оно находится на высоте h от нижней точки сферы.

3.13 [Б-11.16] На вертикальной пластине больших размеров равномерно распределён заряд с поверхностной плотностью $\sigma = 3 \cdot 10^{-6}$ Кл/м². На прикрепленной к пластине нити подвешен маленький шарик массой $m = 2$ г, несущий заряд того же знака, что и пластина. Найти его заряд, если нить образует с вертикалью угол $\alpha = 45^\circ$.

3.14 [Б-11.17] Две плоские вертикальные пластины площадью S каждая находятся на расстоянии d , малом по сравнению с их размерами. На одной из пластин находится заряд $+q$, на другой $+3q$. Определить силу взаимодействия между пластинами.

◇ **3.15** [Б-11.18] Электрическое поле образовано внешним однородным электрическим полем и электрическим полем заряженной металлической пластины, которое вблизи пластины тоже можно считать однородным. Напряжённость результирующего электрического поля справа от пластины $E_1 = 3 \cdot 10^{-10}$ В/м, а слева — $E_2 = 5 \cdot 10^4$ В/м. Определить заряд пластины, если сила, действующая на пластину со стороны внешнего электрического поля $F = 0,7$ Н.



3.16 [Б-11.20] В однородном электрическом поле с вектором напряжённости E , направленным вертикально вниз, равномерно вращается шарик массой m с положительным зарядом q , подвешенный на нити длиной l . Угол отклонения нити от вертикали равен α . Найти силу натяжения нити и кинетическую энергию шарика.

3.17 [Б-11.19] Сосуд с маслом, диэлектрическая проницаемость которого $\epsilon = 5$, помещён в вертикальное однородное электрическое поле. В масле находится во взвешенном состоянии алюминиевый шарик диаметром $d = 3$ мм, имеющий заряд $q = 10^{-7}$ Кл. Определить напряжённость электрического поля, если плотность алюминия $\rho_{\text{ал}} = 2,6 \cdot 10^3$ кг/м³, а масла $\rho_{\text{м}} = 0,9 \cdot 10^3$ кг/м³.

3.18 [Б-11.30] Металлический шар радиусом r помещён в жидкий диэлектрик с плотностью ρ_1 . Плотность материала, из которого изготовлен шар, ρ_2 ($\rho_1 > \rho_2$). Чему равен заряд шара, если в однородном электрическом поле, направленном вертикально вверх, шар оказался взвешенным в жидкости? Электрическое поле создаётся двумя параллельными пластинами, расстояние между которыми d , а разность потенциалов U .

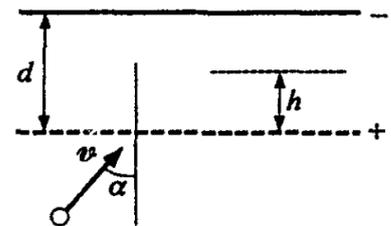
3.19 [Б-11.31] Проводник длиной l движется с постоянным ускорением a , направленным вдоль его оси. Определите напряжение, возникающее между концами проводника; m_e — масса электрона, $|e|$ — элементарный заряд.

3.20 [Б-11.32] В двух противоположных вершинах квадрата в начальный момент времени покоятся два протона, а в двух других вершинах — два позитрона. После разлёта частиц: v_1 — скорость позитрона, v_2 — скорость протона. Отношение их масс $M : m = 2000$, а заряды одинаковые. Найти отношение скоростей протонов и позитронов после их разлёта (на бесконечности).

3.21 [Б-11.33] В плоский конденсатор длиной $L = 5$ см влетает электрон под углом $\alpha = 15^\circ$ к пластинам. Энергия электрона $W = 2,4 \cdot 10^{16}$ Дж. Расстояние между пластинами $d = 1$ см. Определить величину напряжения на пластинах конденсатора U , при котором электрон при выходе из пластин будет двигаться параллельно им.

3.22 [Б-11.34] Электроны, ускоренные разностью потенциалов U , влетают в электрическое поле отклоняющих пластин параллельно им, а затем попадают на экран, расположенный на расстоянии L от конца пластин. На какое расстояние h сместится электронный луч на экране, если на пластины, имеющие длину l и расположенные на расстоянии d одна от другой, подать напряжение U_n ?

3.23 [Б-11.35] Электрон со скоростью $v = 10^9$ см/с влетает в пространство между пластинами плоского конденсатора, между которыми поддерживается разность потенциалов $U = 425$ В. Определить максимальное удаление электрона h от нижней пластины конденсатора. Отношение заряда электрона к его массе $e : m = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг, угол падения электрона $\alpha = 30^\circ$. Расстояние между пластинами $d = 1$ см.



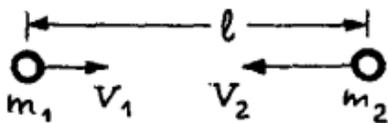
3.24* [Б-11.36] Четыре положительных точечных заряда Q расположены в вершинах жёстко закреплённой квадратной рамки со стороной a . Частица массой m , имеющая положительный заряд q , движется вдоль оси, перпендикулярной плоскости рамки и проходящей через центр квадрата O . На расстоянии $OA \gg a$ скорость частицы равна v_0 . Определить скорость частицы при подлёте к рамке на расстоянии r от центра O . Какую минимальную скорость должна иметь частица, чтобы пролететь эту рамку?

3.25 [ДВИ] Определить максимальную дальность полёта и максимальную высоту подъёма заряженного тела массы m , брошенного под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0 . Движение тела происходит одновременно в поле тяготения и однородном электростатическом поле с напряжённостью E , силовые линии которого направлены под углом β к вертикали (горизонтальная компонента поля сонаправлена с горизонтальной компонентой \vec{v}_0 , а вертикальная компонента поля сонаправлена с \vec{g}). Заряд тела q .

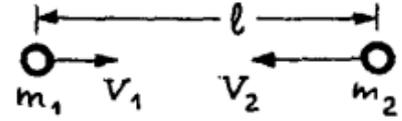
3.26 [М-3.1.12] По наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом, соскальзывает с высоты h небольшое тело, заряженное отрицательным зарядом $-q$. В точке пересечения вертикали, проведённой через начальное положение тела, с основанием наклонной плоскости находится заряд $+q$. Определить скорость, с которой тело достигнет основания наклонной плоскости. Масса тела M , ускорение свободного падения g . Трением пренебречь.

3.27 [Б-11.22] В пространство, где одновременно действуют горизонтальное и вертикальное однородные электрические поля с напряжённостью $E_{\Gamma} = 4 \cdot 10^2$ В/м и $E_{\text{В}} = 3 \cdot 10^2$ В/м, вдоль направления силовой линии результирующего электрического поля влетает электрон, скорость которого на пути $l = 2,7$ мм изменяется в 2 раза. Определить скорость электрона в конце пути.

◇ **3.28** [М-3.1.13] Два маленьких шарика массами $m_1 = 6$ г и $m_2 = 4$ г, несущие заряды $q_1 = 10^{-6}$ Кл и $q_2 = -5 \cdot 10^{-6}$ Кл соответственно, удерживаются на расстоянии $l = 2$ м друг от друга. В некоторый момент оба шарика отпускают, сообщив одновременно второму из них скорость $V_0 = 3$ м/с, направленную от первого шарика вдоль линии, соединяющей их центры. На какое максимальное расстояние L разойдутся шарики друг от друга? Электрическую постоянную принять $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9}$ Ф/м. Силу тяжести не учитывать.

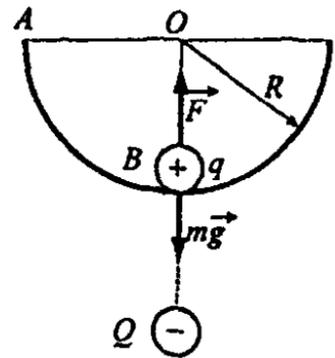


◇ **3.29** [М-3.1.14] Два маленьких шарика массами $m_1 = 6$ г и $m_2 = 4$ г несут заряды $q_1 = 10^{-6}$ Кл и $q_2 = 5 \cdot 10^{-6}$ Кл соответственно. В начальный момент они движутся навстречу друг другу по прямой, соединяющей их центры. При этом расстояние между шариками составляет $l = 2$ м и их скорости равны $V_1 = 1$ м/с и $V_2 = 2$ м/с соответственно. На какое минимальное расстояние L приблизятся шарика друг к другу? Силу тяжести не учитывать. Электрическую постоянную принять $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9}$ Ф/м.



3.30 [Б-11.23] В однородное горизонтальное электростатическое поле с напряжённостью $E = 10^3$ В/м помещена система, состоящая из двух одинаковых и противоположно заряженных шариков, соединённых тонким изолирующим стержнем длиной $l = 0,1$ м. Система может только вращаться в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через середину стержня. Масса и модуль заряда каждого шарика соответственно равны: $m = 5$ г и $q = 1$ мкКл. Система кратковременным воздействием выводится из состояния устойчивого равновесия и приводится во вращательное движение с начальной угловой скоростью $\omega_0 = 2$ с $^{-1}$. Определить максимальный угол поворота этой системы. Массой стержня пренебречь. Шарика рассматриваются как материальные точки.

◇ **3.31** [Б-11.37] Шарик массой $m = 2$ г, имеющий положительный заряд q , начинает скользить без начальной скорости из точки A по сферической поверхности радиусом $R = 10$ см. Потенциальная энергия взаимодействия заряда Q в начальный момент времени равна $W_A = -2 \cdot 10^{-3}$ Дж. Определить потенциальную энергию взаимодействия зарядов, когда заряд q находится в точке B , если в этом случае результирующая сил реакции со стороны сферической поверхности и кулоновского взаимодействия, приложенная к шарика, $F = 0,1$ Н. Трением между шариком и сферической поверхностью пренебречь.



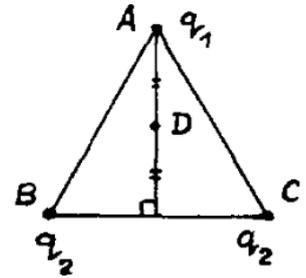
Напряжённость поля. Принцип суперпозиции

3.32 [Б-11.10] Расстояние между двумя точечными зарядами величиной $q_1 = 3 \cdot 10^{-8}$ Кл и $q_2 = -5 \cdot 10^{-8}$ Кл равно $r = 5$ см. Найти напряжённость электрического поля E в точке, находящейся на расстоянии $r_2 = 3$ см от положительного и 4 см от отрицательного заряда.

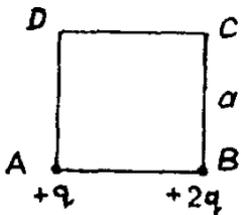
3.33 [М-3.1.1] В двух вершинах равностороннего треугольника помещены одинаковые заряды $q_1 = q_2 = q = 4$ мкКл. Какой точечный заряд q_3 необходимо поместить в середину стороны, соединяющей заряды q_1 и q_2 , чтобы напряжённость электрического поля в третьей вершине треугольника оказалась равной нулю?

3.34 [Б-11.11] В трёх вершинах квадрата со стороной a находятся одинаковые положительные заряды q . Найдите напряжённость электрического поля E в четвёртой вершине.

◇ **3.35** [М-3.1.2] Три положительных заряда расположены в вершинах равностороннего треугольника ABC . Величина заряда, находящегося в точке A , равна q_1 ; величины зарядов в точках B и C равны q_2 . Найти отношение $\alpha = q_2/q_1$, если напряжённость электрического поля, создаваемого этими тремя зарядами в точке D , лежащей на середине высоты, опущенной из вершины A на сторону BC , равна нулю.



◇ **3.36** [М-3.1.3] Два точечных заряда $+q$ и $+2q$, расположенные, соответственно, в вершинах A и B квадрата $ABCD$ со стороной $a = 1$ м, создают в вершине D электрическое поле напряжённостью \vec{E} . В какую точку нужно поместить третий точечный заряд $-q$, чтобы напряжённость суммарного электрического поля в вершине D стала равна $-\vec{E}$?



3.37 [Б-11.12] В вершинах квадрата со стороной a находятся заряды: $q_1 = q$, $q_2 = -q$, $q_3 = -2q$, $q_4 = 2q$. Найти напряжённость электрического поля E в точке, совпадающей с центром квадрата.

3.38 [Б-11.13] В вершинах равностороннего треугольника со стороной a находятся заряды $q_1 = q$, $q_2 = -2q$, $q_3 = -2q$. Найти напряжённость электрического поля E в точке, находящейся в центре вписанной в треугольник окружности.

3.39 [М-3.1.5] Три положительных точечных электрических заряда находятся в вакууме и расположены в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 1$ м. Силы отталкивания зарядов равны: первого и второго: $F_{12} = 1$ Н, первого и третьего: $F_{13} = 2$ Н, второго и третьего: $F_{23} = 3$ Н. Вычислить величину заряда q_3 . Электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

◇ **3.40** [М-3.1.7] Три одинаковых заряда расположены в вершинах равнобедренного треугольника с углом $\alpha = 90^\circ$ при вершине A . Во сколько раз k изменится величина силы, действующей на заряд в точке A , если знак заряда в точке C изменить на противоположный?



3.41 [М-3.1.4] В окружность радиуса $R = 3$ см с центром в точке O вписан правильный восьмиугольник $ABCDEFGH$. В шести вершинах восьмиугольника помещены одинаковые положительные заряды так, что вектор \vec{E}_0 напряжённости в точке O направлен по отрезку OH . Чему равна величина поля E_0 , если величина каждого из зарядов $q = 10^{-9}$ Кл? Электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

3.42 [Б-11.14] По кольцу радиусом R равномерно распределён заряд Q . Определить напряжённость в центре кольца и в точке A , отстоящей на расстояние h от центра кольца по перпендикуляру к его плоскости.

3.43 Найти зависимость $E(r)$ для бесконечно длинной равномерно заряженной нити с линейной плотностью заряда λ , используя теорему Гаусса.

3.44 Найти зависимость $E(r)$ для равномерно заряженной пластины с поверхностной плотностью заряда σ , используя теорему Гаусса.

3.45 Найти зависимость $E(r)$ для равномерно заряженной сферы зарядом q , используя теорему Гаусса.

3.46 Найти зависимость $E(r)$ для равномерно заряженного шара зарядом Q , используя теорему Гаусса.

3.47 [Б-11.21] Точечный заряд $+q$ находится на расстоянии h от плоской поверхности проводника, заполняющего нижнее полупространство. С какой силой притягивается заряд к проводнику? Определить модуль напряжённости электрического поля вблизи поверхности проводника как функцию расстояния r от основания перпендикуляра, опущенного из заряда на поверхность проводника.

3.48 [Б-11.15] Две концентрические металлические сферы радиусами R_1 и R_2 имеют заряды Q_1 и Q_2 . Найти зависимость напряжённости поля от расстояния r до центра сфер.

3.49 Три равномерно заряженных сферы вложены друг в друга. Внутренняя сфера имеет радиус r_1 и заряд q_1 , средняя — радиус R и заряд Q , внешняя — радиус r_2 и заряд q_2 . Найти потенциалы на поверхности каждой сферы и в точке O , являющейся центром для всех сфер.

◇ **3.50*** [М-3.1.16] Металлическим пластинам 1 и 2 сообщили положительные заряды $Q_1 = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл $Q_2 = 4 \cdot 10^{-6}$ Кл соответственно. Какие заряды Q'_1, Q''_1, Q'_2, Q''_2 расположатся на боковых сторонах пластин?



Потенциал. Принцип суперпозиции

3.51 [Б-11.24] На расстоянии r от центра незаряженного металлического шара находится точечный заряд q . Определить потенциал шара.

3.52 На расстоянии r от центра заряженного металлического шара радиусом R находится точечный заряд q . Определить потенциал шара, если его заряд равен Q .

3.53 [Б-11.25] На расстоянии r от заземлённого металлического шара находится точечный заряд q . Считая потенциал земли равным нулю, определить заряд шара. Радиус шара R .

3.54 Проводящий шар радиуса r с зарядом q находится внутри проводящей сферы радиуса R , по которой равномерно распределён заряд Q . Центры шара и сферы совпадают. Найти новые заряды шара q' и сферы Q' после того, как сферу заземляют.

3.55 Проводящий шар радиуса r с зарядом q находится внутри проводящей сферы радиуса R , по которой равномерно распределён заряд Q . Центры шара и сферы совпадают. Найти новые заряды шара q' и сферы Q' после того, как шар заземляют.

3.56 К шару радиуса r_1 , имеющему заряд q_1 , подносят точечный заряд q_2 , расположив его на расстоянии l от центра шара. Найти потенциал шара.

3.57 Проводящий шар радиуса r_1 с зарядом q_1 находится внутри проводящей сферы радиуса r_2 , по которой равномерно распределён заряд q_2 . Центры шара и сферы совпадают. Найти новые заряды шара q'_1 и сферы q'_2 после того, как сферу и шар соединили тонким проводом.

3.58 Два металлических шарика A и B имели заряды q_A и q_B и находились на большом расстоянии друг от друга. Шары соединили тонким проводником, при этом сила взаимодействия возросла в n раз. Во сколько раз отличаются радиусы шаров?

3.59 Два металлических шарика радиусами r_A и r_B имели заряды q_A и q_B и находились на большом расстоянии друг от друга l на дне бассейна. Шары соединили тонким проводом, а затем заполнили бассейн керосином с диэлектрической проницаемостью ε . Во сколько раз изменилась сила кулоновского взаимодействия шаров?

◇ **3.60** [м-3.1.15] Металлическая сфера, имеющая небольшое отверстие, заряжена положительным зарядом Q . Первоначально незаряженные металлические шарики A и B расположены, как показано на рисунке. Радиус сферы равен R , радиусы каждого шарика r , расстояние $AB \gg R$. Определить заряды q_A и q_B , которые индуцируются на шариках, когда их соединяют проволокой, не касаясь сферы.



3.61 Проводящий шар радиуса r с зарядом q находится внутри проводящей сферы радиуса R , по которой равномерно распределён заряд Q . Центры шара и сферы совпадают. Найти новые заряды шара q' и сферы Q' после того, как шар соединяют длинным тонким проводом сквозь маленькое отверстие в сфере с другим таким же незаряженным шаром.

3.62 Проводящий шар радиуса r с зарядом q находится внутри проводящей сферы радиуса R , по которой равномерно распределён заряд Q . Центры шара и сферы совпадают. Найти новые заряды шара q' и сферы Q' после того, как сферу соединяют тонким проводом с удалённым шаром такого же размера и заряда, как и шар внутри сферы.

3.63 Два металлических шарика имеют заряды Q_1 и Q_2 . Радиус первого шара равен R_1 . Найти расстояние между центрами шаров L , если после соединения проводом на шарах оказались равные заряды.

3.64 Два больших металлических шара имеют заряды Q_1 и Q_2 . Первый шар в 5 раз больше второго. Расстояние между центрами шаров L . Найти новые заряды после соединения шаров.

3.65 Есть две проводящие концентрические сферы радиусов a и b . На внутреннюю сферу помещён заряд q , а внешняя заземлена. Требуется определить напряжённость и потенциал электрического поля во всем пространстве; изобразить эти зависимости на графиках.

3.66 [М-3.1.10] Два удалённых друг от друга на большое расстояние металлических шара радиусами $r_1 = 5$ см и $r_2 = 10$ см, несущие заряды $q_1 = 2 \cdot 10^{-9}$ Кл и $q_2 = -10^{-9}$ Кл соответственно, соединяют тонким проводом. Какой заряд q протечёт при этом по проводу?

3.67 [М-3.1.11] Два удалённых друг от друга на большое расстояние металлических шара радиусами $r_1 = 1$ см и $r_2 = 2$ см, несущие одинаковые заряды, взаимодействуют с силой $F = 10^{-4}$ Н. Какова будет сила взаимодействия этих шаров F' , если их соединить друг с другом тонким проводом?

3.68 [Б-11.27] Две концентрические металлические сферы радиусом R_1 и R_2 имеют заряды Q_1 и Q_2 . Найти зависимость потенциала поля от расстояния r до центра сфер. Изобразить на графике.

3.69 [Б-11.28] Два проводящих шарика радиусами r и R соединены длинным проводником. Найти отношение зарядов q и Q и отношение поверхностных плотностей зарядов шариков σ_r и σ_R , если системе сообщён некоторый заряд.

3.70 [Б-11.26] По кольцу радиусом R равномерно распределён заряд Q . Определить потенциал в центре кольца, а также в точке A , отстоящей на расстояние h от центра кольца по перпендикуляру к его плоскости.

3.71 [Б-11.29] В одну большую каплю сливают n одинаковых капелек ртути, заряженных до потенциала φ . Каков будет потенциал Φ этой капли? Считать, что капли имеют сферическую форму.

Конденсаторы

3.72 Вывести электроёмкость плоского конденсатора. Конденсатор состоит из двух пластин площадью S , расстояние между пластинами d . Конденсатор заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε .

3.73 Вывести электроёмкость сферического конденсатора. Конденсатор состоит из двух concentric сфер площадью радиусами R_1 и R_2 , пространство между сферами заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε .

3.74 Вывести эквивалентную ёмкость для последовательного соединения конденсаторов с ёмкостями C_1 и C_2 .

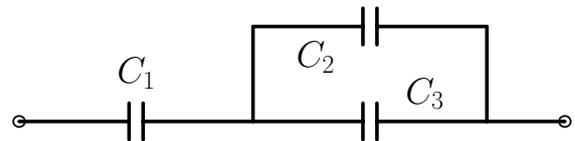
3.75 Вывести эквивалентную ёмкость для параллельного соединения конденсаторов с ёмкостями C_1 и C_2 .

3.76 Вывести формулу для энергии конденсатора ёмкостью C , имеющего заряд q .

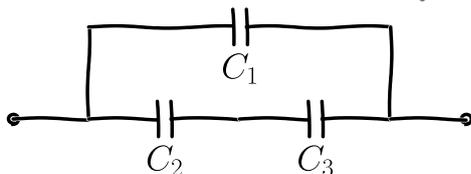
3.77 [Б-11.46] Два конденсатора ёмкостью C_1 и C_2 соединены последовательно и подключены к источнику с напряжением U . Определить напряжение на конденсаторах.

3.78 Два конденсатора ёмкостью C_1 и C_2 соединены параллельно и подключены к источнику с напряжением U . Определить напряжение и заряды на конденсаторах.

◇ **3.79** Найти эквивалентную ёмкость батареи конденсаторов, а также заряд на каждом конденсаторе. Все ёмкости известны, напряжение между выводами схемы равно U .



◇ **3.80** Найти эквивалентную ёмкость батареи конденсаторов, а также напряжение на каждом конденсаторе. Все ёмкости известны, напряжение между выводами схемы равно U .



3.81 Конденсатору ёмкостью C_1 сообщили заряд q_1 , а конденсатору ёмкостью C_2 — заряд q_2 . Затем одноимённые пластины конденсаторов соединили. Найти установившиеся заряды на конденсаторах.

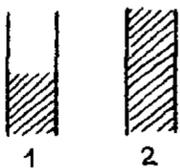
3.82 [Б-11.47] Два плоских конденсатора ёмкостью C_1 и C_2 , обладающих зарядами q_1 и q_2 , включают в замкнутую цепь так, что положительно заряженная пластина одного конденсатора соединяется с отрицательно заряженной пластиной другого. Определить заряд каждого конденсатора в этом случае.

3.83 Конденсатору ёмкостью C_1 сообщили заряд q_1 , а конденсатор ёмкостью C_2 зарядили до напряжения U_2 . Затем разноимённые пластины конденсаторов соединили тонкими проводами. Какое напряжение установится на конденсаторах?

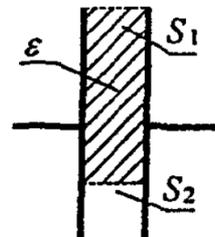
3.84 [М-3.1.23] Два плоских конденсатора заряжены: первый до разности потенциалов U_1 , второй — до разности потенциалов U_2 . Площади пластин конденсаторов соответственно: S_1 у первого и S_2 у второго, расстояние между пластинами у обоих конденсаторов одинаково. Чему будет равно напряжение на конденсаторах U , если соединить их одноимённо заряженные обкладки?

3.85 [М-3.1.17] Конденсатор представляет собой две круглые металлические пластины радиуса $r = 0,2$ м, расположенные параллельно друг другу. Расстояние между пластинами очень мало по сравнению с их радиусом. Напряжённость однородного электрического поля между пластинами $E = 0,9 \cdot 10^6$ В/м. Найти абсолютную величину заряда q на каждой из пластин. Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

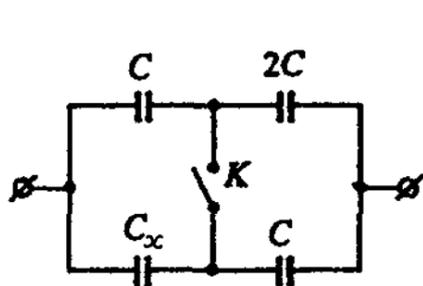
◇ **3.86** [М-3.1.19] В двух одинаковых плоских конденсаторах пространство между обкладками заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 3$, в одном наполовину, в другом полностью. Найти отношение ёмкостей α конденсаторов.



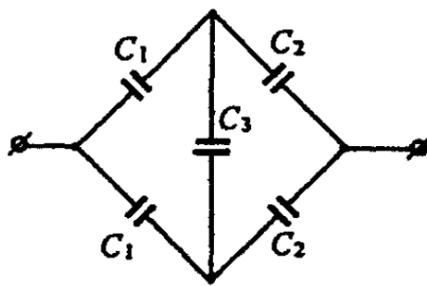
◇ **3.87** [Б-11.38] Часть пространства между обкладками конденсатора заполнили диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ (см. рисунок). Определить ёмкость конденсатора с диэлектриком. Расстояние между обкладками конденсатора d , площадь пластин заполненной части S_1 , незаполненной S_2 .



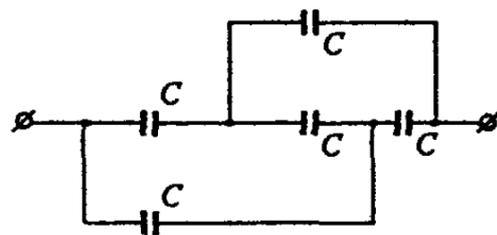
3.88 [Б-11.39] В пространство между обкладками воздушного конденсатора внесли параллельно пластинам металлическую пластинку толщиной a . Определить ёмкость конденсатора с учётом пластинки, если расстояние между обкладками d , а площадь пластин S .



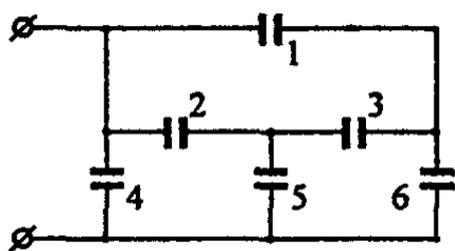
К задаче 3.90



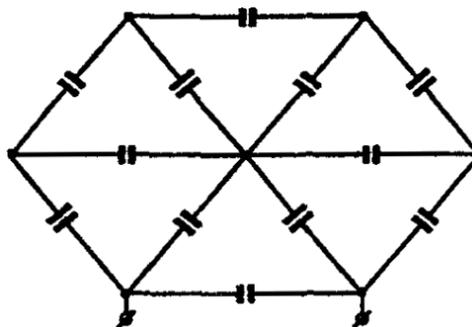
К задаче 3.91



К задаче 3.92



К задаче 3.93



К задаче 3.94

3.89 [Б-11.40] В пространство между обкладками воздушного конденсатора внесли параллельно пластинам пластинку из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ϵ и толщиной a . Определить ёмкость конденсатора с учётом пластины, если расстояние между обкладками d , а площадь пластин S .

◇ **3.90** [Б-11.41] В схеме ёмкость батареи конденсаторов не изменяется при замыкании ключа K . Определить ёмкость конденсатора C_x .

◇ **3.91** [Б-11.42] Определить ёмкость батареи конденсаторов. Значения ёмкостей всех конденсаторов считать известными.

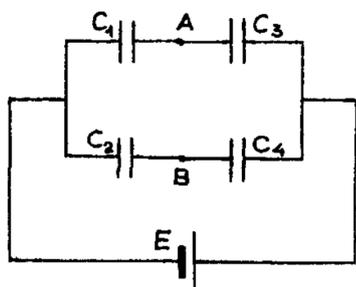
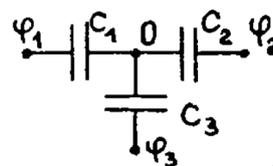
◇ **3.92** [Б-11.43] Определить ёмкость батареи конденсаторов, если ёмкости всех конденсаторов одинаковы и равны C .

◇ **3.93** [Б-11.44] Определить ёмкость батареи конденсаторов, если ёмкости всех конденсаторов одинаковы и равны C .

◇ **3.94** [Б-11.45] Определить ёмкость батареи конденсаторов. Ёмкости всех конденсаторов одинаковы и равны C .

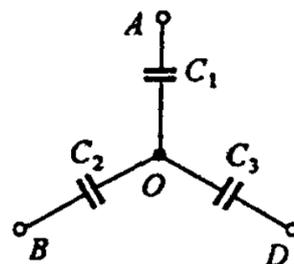
3.95 [М-3.1.18] Обкладки плоского воздушного конденсатора, подключённого к источнику постоянного напряжения, притягиваются с силой F_0 . Какая сила F будет действовать на обкладки, если в зазор параллельно им вставить металлическую пластинку, толщина которой в $n = 2$ раза меньше величины зазора, а остальные размеры совпадают с размерами обкладок?

◇ **3.96** [М-3.1.20] Первоначально незаряженные конденсаторы C_1, C_2, C_3 , соединили по схеме, изображённой на рисунке. Затем конденсаторы зарядили так, что на клеммах схемы образовались потенциалы $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$. Определить потенциал φ_O точки O .



◇ **3.97** [М-3.1.21] На рисунке изображена батарея конденсаторов, подключённая к гальваническому элементу с ЭДС \mathcal{E} . Ёмкости конденсаторов равны: $C_1 = C, C_2 = 2C, C_3 = 3C, C_4 = 6C$. Чему равна разность потенциалов U между точками A и B ? Считать, что до подключения к источнику все конденсаторы были не заряжены.

◇ **3.98** [Б-11.48] Три незаряженных конденсатора, ёмкостью C_1, C_2 и C_3 соединены звездой и подключены к точкам A, B и D . Потенциалы этих точек равны $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$. Определить потенциал общей точки O .

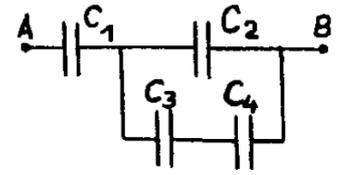


3.99 [Б-11.49] Плоский конденсатор заполнен диэлектриком, проницаемость которого зависит от напряжения на конденсаторе по закону $\epsilon = \alpha U$, где $\alpha = 1 \text{ В}^{-1}$. Параллельно этому конденсатору, который вначале не заряжен, подключают такой же конденсатор, но без диэлектрика, который заряжен до напряжения $U = 156 \text{ В}$. Определить напряжение, которое установится на конденсаторах.

3.100 Конденсатор ёмкостью C_1 , заряженный до напряжения U_1 , соединяют с незаряженным конденсатором ёмкостью C_2 . Найти количество теплоты, выделившееся в процессе перезарядки конденсаторов.

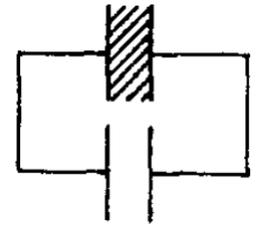
3.101 [М-3.1.26] Конденсатор ёмкостью $C = 15 \text{ пФ}$ зарядили до разности потенциалов $U = 100 \text{ В}$ и отключили от источника. Затем пространство между обкладками заполнили диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 1,5$. Определить, на какую величину ΔW изменится энергия конденсатора.

◇ **3.102** [М-3.1.22] В схеме, показанной на рисунке, ёмкости конденсаторов равны: $C_1 = 1$ мкФ, $C_2 = 2$ мкФ, $C_3 = 3$ мкФ, $C_4 = 4$ мкФ. Напряжение между точками A и B равно $U = 100$ В. Найти напряжение U_4 на конденсаторе C_4 . Первоначально конденсаторы были не заряжены.



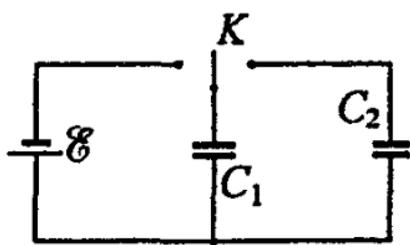
3.103 [М-3.1.24] Два плоских конденсатора имеют одинаковую ёмкость. В один из них вставили пластинку с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 6$, заполняющую весь объем между обкладками, и зарядили этот конденсатор так, что запасённая в нем энергия составила $W_0 = 2 \cdot 10^{-6}$ Дж. Отсоединив источник, пластинку удалили и к заряженному конденсатору подсоединили второй, незаряженный конденсатор. Найти энергию W , которая будет запасена в конденсаторах после их перезарядки.

3.104 [М-3.1.25] Два одинаковых плоских конденсатора, один из которых заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε , соединены как показано на рисунке и заряжены до напряжения U_0 . Какую работу A нужно совершить, чтобы вытащить диэлектрическую пластинку из конденсатора? Ёмкость пустого конденсатора равна C .

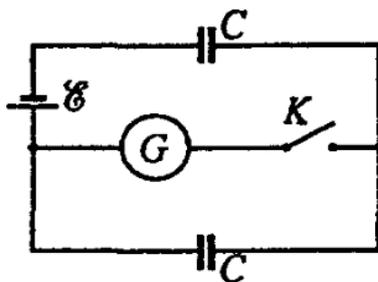


3.105 [М-3.1.27] К источнику с ЭДС \mathcal{E} последовательно подключены два конденсатора с ёмкостью C_1 и C_2 . После зарядки конденсаторов источник отключают, а параллельно конденсатору C_1 подключают через резистор незаряженный конденсатор ёмкостью C_3 . Какое количество теплоты Q выделится на резисторе в процессе зарядки конденсатора C_3 ?

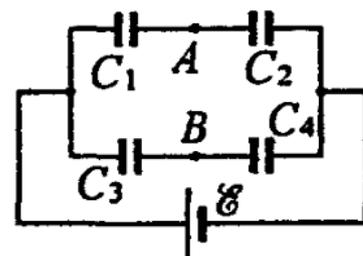
3.106 [Б-11.50] Одна из пластин незаряженного плоского конденсатора освещается рентгеновскими лучами, вырывающими из неё электроны со скоростью $v = 10^6$ м/с. Электроны собираются на второй пластине. Через какое время фототок между пластинами прекратится, если с каждого квадратного сантиметра площади вырывается каждую секунду $n = 10^{13}$ электронов? Расстояние между пластинами $d = 10$ мм.



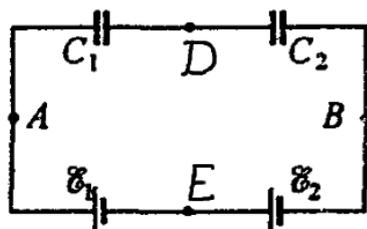
К задаче 3.107



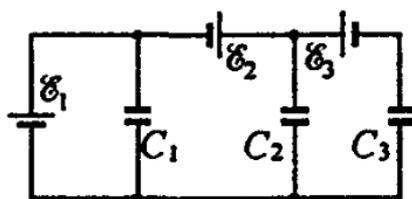
К задаче 3.108



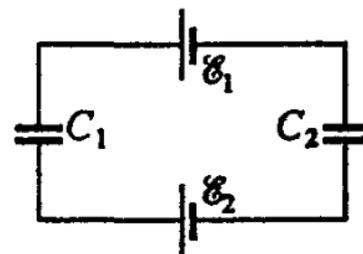
К задаче 3.109



К задаче 3.110



К задаче 3.111



К задаче 3.112

Цепи, содержащие конденсаторы и гальванические элементы

◇ **3.107** [Б-11.51] Конденсатор ёмкостью C_1 при помощи переключателя K присоединяют сначала к батарее с ЭДС \mathcal{E} , а потом к незаряженному конденсатору ёмкостью C_2 . Найти заряд q_2 , который появится на конденсаторе C_2 .

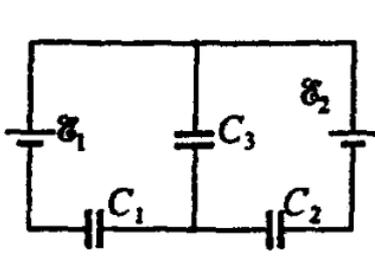
◇ **3.108** [Б-11.52] Определить, какой заряд q пройдёт через гальванометр G при замыкании ключа K . Значение ЭДС \mathcal{E} и ёмкости конденсаторов C — заданы.

◇ **3.109** [Б-11.53] Определить разность потенциалов между точками A и B .

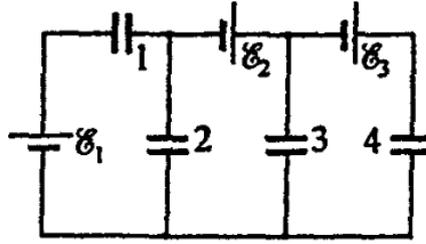
◇ **3.110** [Б-11.54] Определить разность потенциалов между точками A и B . Также определить разность потенциалов между точками D и E .

◇ **3.111** [Б-11.55] Найти заряды конденсаторов в цепи.

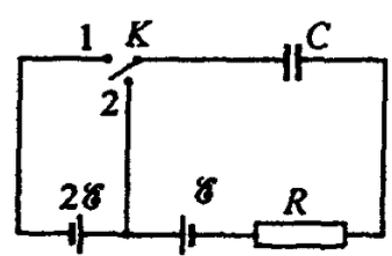
◇ **3.112** [Б-11.56] Определить напряжение на конденсаторах C_1 и C_2 .



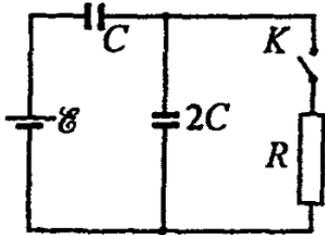
К задаче 3.113



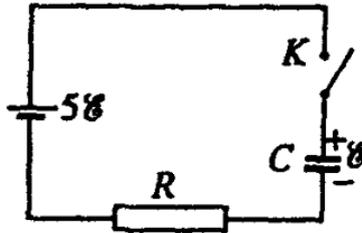
К задаче 3.114



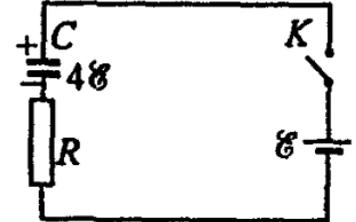
К задаче 3.115



К задаче 3.116



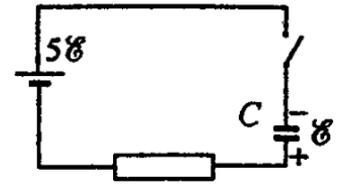
К задаче 3.117



К задаче 3.118

- ◇ **3.113** [Б-11.57] Определить заряды конденсаторов в схеме.
- ◇ **3.114** [Б-11.58] Найти заряды конденсаторов в цепи. Ёмкость каждого конденсатора равна C .
- ◇ **3.115** [Б-11.60] Какое количество тепла Q выделится в цепи при переключении ключа K из положения 1 в положение 2? Все параметры цепи предполагаются известными.
- ◇ **3.116** [Б-11.59] Какое количество тепла выделится на резисторе с сопротивлением R после замыкания ключа K ? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.
- ◇ **3.117** [Б-11.61] Конденсатор ёмкостью C , заряженный до разности потенциалов \mathcal{E} , подключается через большое сопротивление к батарее с ЭДС $5\mathcal{E}$. Определить количество тепла, которое выделится при зарядке конденсатора до напряжения $5\mathcal{E}$.
- ◇ **3.118** [Б-11.62] Конденсатор ёмкостью C , заряженный до напряжения $4\mathcal{E}$, разряжается через резистор с большим сопротивлением R и батарею с ЭДС \mathcal{E} . Определить количество тепла, выделившееся при разрядке конденсатора.

◇ **3.119** [Б-11.63] Конденсатор ёмкостью C , заряженный до разности потенциалов \mathcal{E} , подключается через большое сопротивление к батарее с ЭДС $5\mathcal{E}$. Определить количество теплоты, которое выделится при перезарядке конденсатора.



4 Постоянный ток

Определения

1. Закон Ома для однородного участка цепи.
2. Закон Ома для полной цепи.
3. Закон Ома для неоднородного участка цепи.
4. Первое правило Кирхгофа (с выводом).
5. Второе правило Кирхгофа (с выводом).
6. Мощность (полная, полезная, потеря).
7. Электрический ток. Условия существования. Действия.
8. Сила тока в 1 А.
9. Напряжение. Электродвижущая сила.

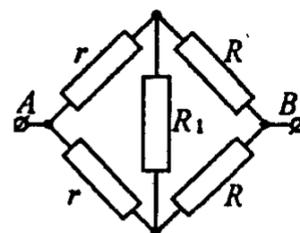
Закон Ома для однородного участка цепи

4.1 Вывести эквивалентное сопротивление для последовательного соединения резисторов сопротивлениями R_1 и R_2 .

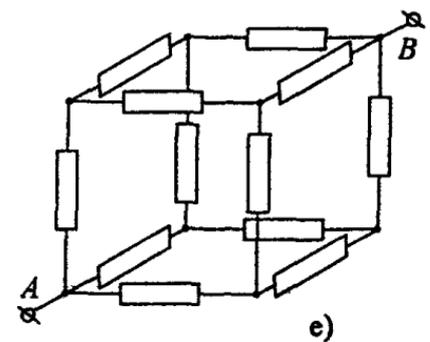
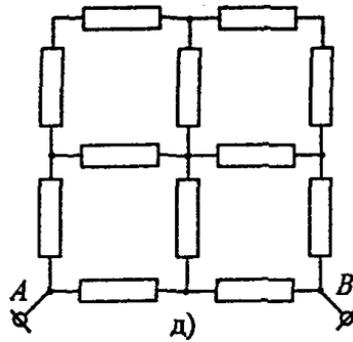
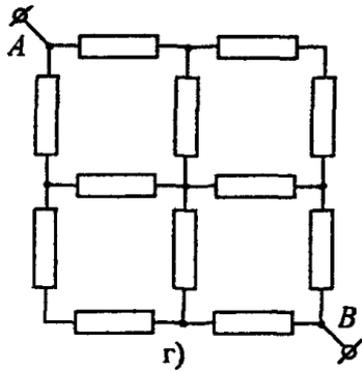
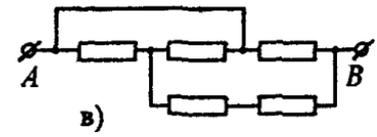
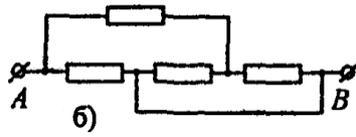
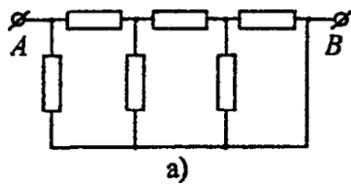
4.2 Вывести эквивалентное сопротивление для параллельного соединения резисторов сопротивлениями R_1 и R_2 .

4.3 [Б-12.3] Из куска проволоки сопротивлением 5 Ом сделано кольцо. Где следует подсоединить провода, подводящие ток, чтобы сопротивление кольца равнялось $r = 0,45$ Ом?

◇ **4.4** [Б-12.4] Вычислить общее сопротивление участка цепи между точками A и B .

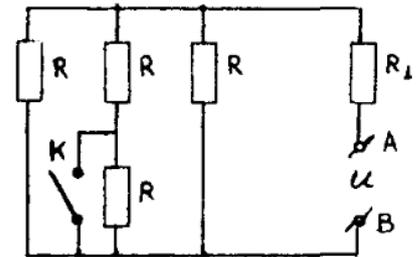


4.5 [Б-12.2] На сколько равных частей нужно разрезать проводник сопротивлением $R = 25$ Ом, чтобы при параллельном соединении этих частей получить сопротивление $r = 1$ Ом?



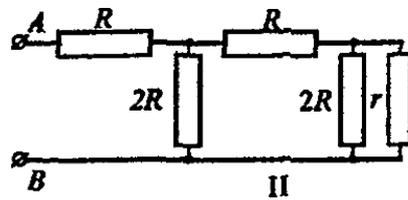
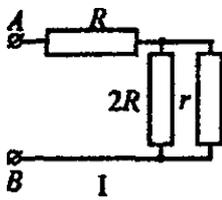
К задаче 4.7

◇ 4.6 [М-3.2.10] Цепь, изображённая на рисунке, составлена из 4 одинаковых резисторов сопротивлением $R = 7,5$ Ом и резистора $R_1 = 1$ Ом. На клеммах AB поддерживается постоянное напряжение $U = 14$ В. Насколько изменится сила тока, текущего через резистор R_1 , после замыкания ключа K ? Сопротивлением проводов и ключа пренебречь.

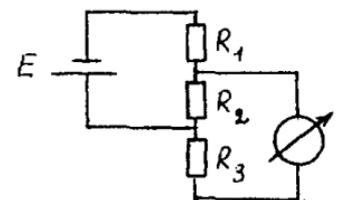


◇ 4.7 [Б-12.5] Вычислить общее сопротивление участка цепи между точками A и B . Сопротивление каждого резистора равно R . Сопротивлением соединительных проводов пренебречь.

◇ 4.8 [Б-12.6] При каком значении r сопротивления электрических цепей, измеренные между точками A и B , окажутся одинаковыми и каково при этом полное сопротивление R_{AB} ?



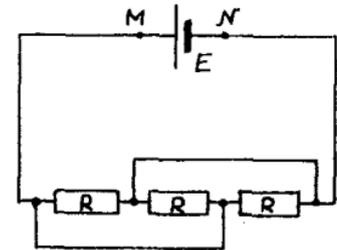
◇ 4.9 [М-3.2.6] Какой ток I_1 покажет амперметр в схеме, показанной на рисунке? Какой ток I_2 покажет амперметр, если источник тока и амперметр поменять местами? $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 40$ Ом, $R_3 = 60$ Ом, $\mathcal{E} = 10$ В. Внутренними сопротивлениями источника тока и амперметра пренебречь.



Закон Ома для полной цепи

4.10 [М-3.2.14] Из куска однородной проволоки изготовлен замкнутый контур, имеющий форму квадрата $ABCD$. Батарею подключают сначала к вершинам квадрата A и B , а затем к вершинам A и C . В первом случае сила тока, протекающего через батарею, оказывается в $m = 1,2$ раза больше, чем во втором. Определить внутреннее сопротивление батареи r , если известно, что сопротивление проволоки, из которой изготовлен квадрат, равно $R = 4$ Ом.

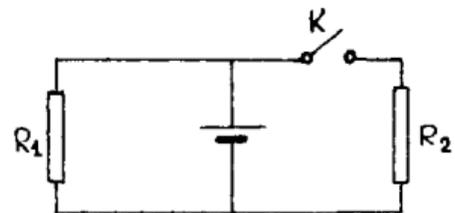
◇ **4.11** [М-3.2.16] Батарея с ЭДС $\mathcal{E} = 2$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,1$ Ом присоединена к цепи, изображённой на рисунке. Сопротивление каждого из резисторов $R = 1$ Ом. Найти напряжение U_{MN} на клеммах батареи. Сопротивлением всех соединительных проводов пренебречь.



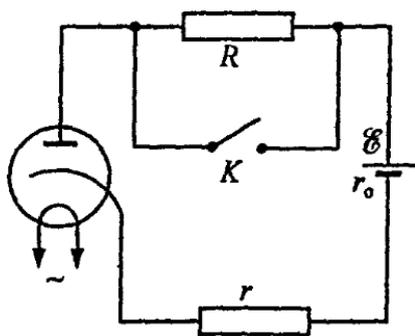
4.12 [Б-12.14] Гальванический элемент даёт на внешнее сопротивление $R_1 = 2$ Ом ток $I_1 = 0,25$ А. Если внешнее сопротивление будет $R_2 = 7$ Ом, то элемент даёт ток $I_2 = 0,1$ А. Какой ток $I_{кз}$ он даёт, если его замкнуть накоротко?

4.13 [М-3.2.1] Источник с ЭДС $\mathcal{E} = 50$ В и внутренним сопротивлением $r = 1,2$ Ом должен питать дуговую лампу с сопротивлением $R = 6$ Ом, требующую для нормального горения напряжения $U = 30$ В. Определить сопротивление R_1 резистора, введённого последовательно в цепь лампы для её нормального горения.

◇ **4.14** [М-3.2.11] В схеме, показанной на рисунке, резисторы имеют сопротивления $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 2$ Ом. Определить внутреннее сопротивление батареи r , если известно, что при разомкнутом ключе K через резистор R_1 протекает ток $I_1 = 2,8$ А, а при замкнутом ключе K через резистор R_2 протекает ток $I_2 = 1$ А.



◇ 4.15 [Б-12.15] Вакуумный диод подключён к источнику постоянного напряжения с ЭДС $\mathcal{E} = 200$ В. При замкнутом ключе K ток через диод $I_0 = 0,2$ А. Каков будет ток через диод, если ключ K разомкнуть? Сопротивление резистора $R = 1000$ Ом. Для данного диода сила тока пропорциональна разности потенциалов U между анодом и катодом, если $0 < U < 300$ В.



При замкнутом ключе K ток через диод $I_0 = 0,2$ А. Каков будет ток через диод, если ключ K разомкнуть? Сопротивление резистора $R = 1000$ Ом. Для данного диода сила тока пропорциональна разности потенциалов U между анодом и катодом, если $0 < U < 300$ В.

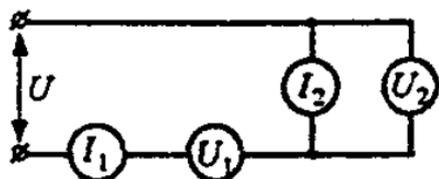
Измерение тока и напряжения

4.16 [Б-12.7] Амперметр рассчитан на максимальный ток I_0 . Его сопротивление равно R_A . Какое сопротивление $R_{ш}$ надо включить параллельно амперметру, чтобы им можно было измерять ток в n раз больший?

4.17 [Б-12.8] Вольтметром можно измерять максимальное напряжение U_0 . Его сопротивление равно R_V . Какое сопротивление R_d надо включить последовательно с вольтметром, чтобы можно было измерять напряжение в n раз больше?

4.18 [М-3.2.2] Электрическая цепь состоит из резистора с сопротивлением $R_1 = 10$ Ом и источника с внутренним сопротивлением $r = 2$ Ом. Напряжение на резисторе измеряют вольтметром, внутреннее сопротивление которого $r_v = 20$ Ом. Определить показание U вольтметра, если ЭДС источника $\mathcal{E} = 26$ В.

◇ 4.19 [Б-12.1] В схему включены два микроамперметра и два одинаковых вольтметра. Показания микроамперметров:

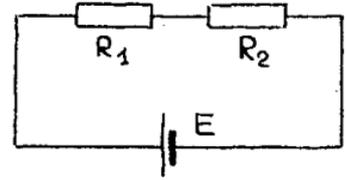


$I_1 = 100$ мкА и $I_2 = 99$ мкА, показание вольтметра $U_1 = 10$ В. Найти показание второго вольтметра.

4.20 [Б-12.9] Имеется прибор с ценой деления $I_1 = 10$ мкА. Шкала прибора имеет $n = 100$ делений; внутреннее сопротивление прибора $r = 50$ Ом. Как из этого прибора сделать вольтметр с пределом измерения напряжения $U_0 = 200$ В или миллиамперметр с пределом измерения тока $I_0 = 800$ мА? (Определить значения дополнительного сопротивления R_d и шунта $R_{ш}$).

4.21 [Б-12.10] К гальванометру с сопротивлением $r = 290$ Ом присоединили шунт, понижающий чувствительность гальванометра в 10 раз. Какой резистор надо включать последовательно с шунтированным гальванометром, чтобы общее сопротивление осталось неизменным?

◇ **4.22** [М-3.2.18] Если вольтметр, имеющий конечное сопротивление, подключён параллельно резистору R_1 , то он показывает напряжение $U_1 = 6$ В, если параллельно резистору R_2 , то — напряжение $U_2 = 4$ В. Каковы будут напряжения V_1 и V_2 на резисторах, если вольтметр не подключать? ЭДС батареи $\mathcal{E} = 12$ В, её внутреннее сопротивление пренебрежимо мало.



4.23 [Б-12.13] Какую допускают относительную ошибку в измерении ЭДС источника тока, если принимают показания вольтметра, присоединённого к его полюсам, за ЭДС? Сопротивление источника тока $r = 0,5$ Ом, сопротивление вольтметра $R = 200$ Ом.

4.24 [Б-12.11] Сопротивление амперметра $R = 0,04$ Ом, а максимальный электрический ток, который можно измерить этим прибором, $I = 1,2$ А. Определить сечение медного провода длиной $l = 10$ см, который нужно подключить к амперметру, чтобы можно было измерить этим прибором электрический ток $I_2 = 6$ А. Удельное сопротивление меди $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8}$ Ом \cdot м.

4.25 [Б-12.12] Присоединение к вольтметру некоторого добавочного сопротивления увеличивает предел измерения напряжения в n раз. Другое добавочное сопротивление увеличивает предел измерения вольтметра в m раз. Во сколько раз увеличится предел измерений вольтметра, если включить последовательно с вольтметром эти два сопротивления, соединённые между собой параллельно?

◇ **4.26** [М-3.2.15] При включении приборов по схеме, изображённой на первом рисунке, амперметр показывает ток $I_1 = 1,06$ А, а вольтметр — напряжение $V_1 = 59,6$ В. При включении тех же приборов по схеме на рис. 2 амперметр

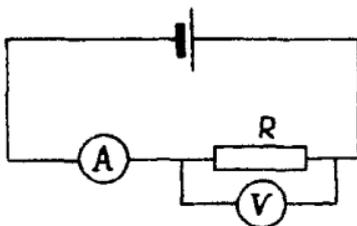


Рис. 1

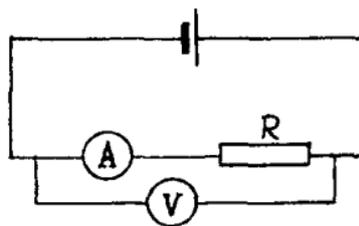


Рис. 2

по схеме на рис. 2 амперметр

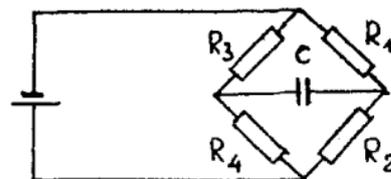
показывает ток $I_2 = 0,94$ А, а вольтметр — напряжение $V_2 = 60$ В. Определить сопротивление резистора R , считая напряжение на зажимах батареи неизменным.

4.27 [Б-12.17] К батарее через переменное сопротивление R подключён вольтметр. Если сопротивление R уменьшить в 3 раза, то показания вольтметра возрастут в 2 раза. Во сколько раз изменятся показания вольтметра, если сопротивление R уменьшить до нуля? Сопротивлением источника пренебречь.

Конденсаторы в цепях постоянного тока

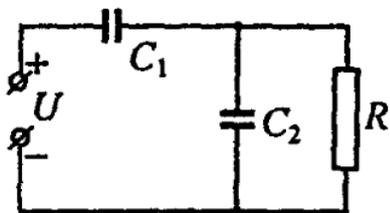
4.28 [М-3.2.12] Электрическая схема состоит из последовательно соединённых резистора с сопротивлением $R = 10$ Ом, конденсатора и батареи с внутренним сопротивлением $r = 5$ Ом. Параллельно конденсатору подключили резистор с сопротивлением $R_1 = 5$ Ом. Во сколько раз m изменится энергия конденсатора после того, как напряжение на нем станет постоянным?

◇ **4.29** [М-3.2.17] В схеме, показанной на рисунке, где $R_1 = 60$ Ом, $R_2 = 20$ Ом, $R_3 = 40$ Ом, $R_4 = 20$ Ом, батарею и конденсатор поменяли местами. Во сколько раз α изменится при этом заряд конденсатора? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



4.30 [Б-12.35] Плоский конденсатор с пластинами квадратной формы размерами $a \times a = 0,2 \times 0,2$ м² и расстоянием между пластинами $d = 2$ мм присоединён к полюсам источника с ЭДС $\mathcal{E} = 750$ В. В пространство между пластинами с постоянной скоростью $v = 0,08$ м/с вводят стеклянную пластину толщиной $h = 2$ мм. Какой ток будет протекать при этом в цепи? Диэлектрическая проницаемость стекла $\epsilon = 7$.

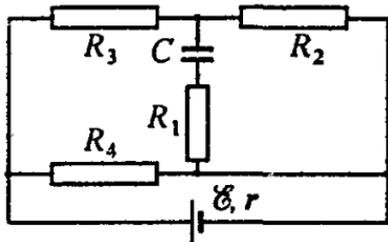
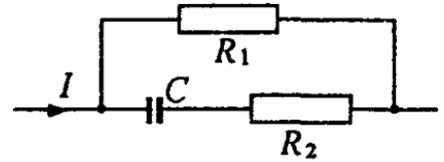
◇ **4.31** [Б-12.36] На схеме ёмкость конденсатора $C_2 = 10$ мкФ, сопротивление резистора $R = 2$ кОм, площадь пластин конденсатора ёмкостью C_1 $S = 100$ см² а расстояние между ними $d = 5$ мм. Рентгеновский излучатель, который ионизирует воздух между обкладками конденсатора C_1 , создаёт $w = 2 \cdot 10^{12}$ пар носителей заряда за 1 с в 1 м³. Заряд носителей равен элементарному заряду $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Все образованные за единицу времени носители заряда долетают до пластин конденсатора C_1 . Определить заряд на конденсаторе C_2 .



4.32 [Б-12.37] К источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 90$ В подключили плоский конденсатор с воздушным промежутком. Площадь каждой пластины конденсатора $S = 0,5$ м². Пластины сближают так, что расстояние между ними

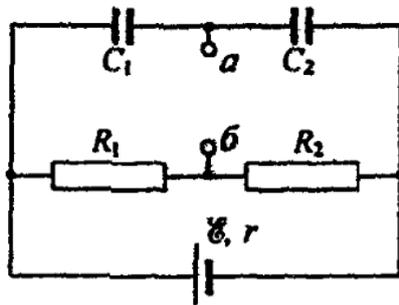
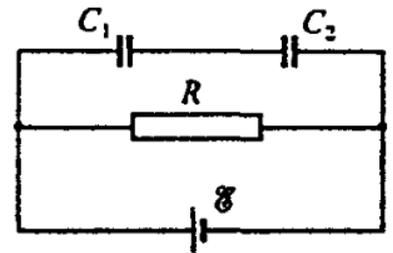
меняется во времени по закону $d(t) = d_0/(1 + \alpha t)$ где $d_0 = 0,1$ м, $\alpha = 5 \text{ с}^{-1}$ при этом через источник тока течёт постоянный ток. Определить его величину. Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

◇ 4.33 [Б-12.38] Определить заряд Q на конденсаторе $C = 2$ мкФ, включённом в цепь постоянного тока $I = 3$ А, $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = 200$ Ом. На какой пластине конденсатора образуется положительный заряд?



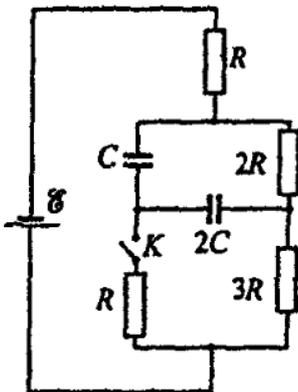
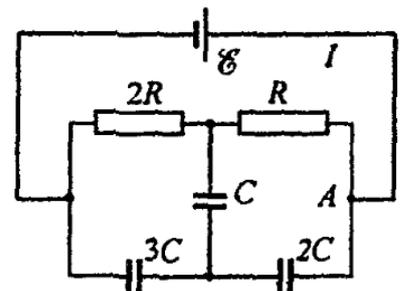
◇ 4.34 [Б-12.39] Определить заряд конденсатора в схеме. Сопротивления резисторов $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 20$ Ом; ЭДС $\mathcal{E} = 500$ В внутреннее сопротивление источника $r = 10$ Ом; ёмкость конденсатора $C = 10$ мкФ.

◇ 4.35 [Б-12.40] Определить напряжение на конденсаторах C_1 и C_2 в схеме, если известно, что при замыкании резистора с сопротивлением R накоротко ток через батарею возрастёт в 3 раза. ЭДС батареи равна \mathcal{E} .



◇ 4.36 [Б-12.41] Определить разность потенциалов между точками a и b в схеме. Все обозначенные на рисунке величины считать известными.

◇ 4.37 [Б-12.42] Определить заряды всех конденсаторов в схеме. Внутренним сопротивлением батареи пренебречь. Все обозначенные на рисунке величины считать известными.

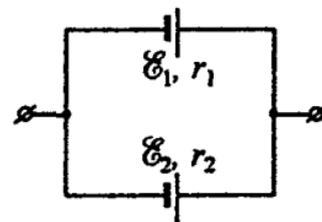


◇ 4.38 [Б-12.43]

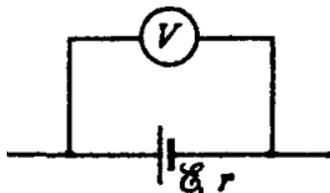
Определить заряд, протекающий через ключ K при его замыкании (смотри рисунок слева). Внутренним сопротивлением батареи пренебречь. Все подписанные на рисунке величины считать известными.

Правила Кирхгофа

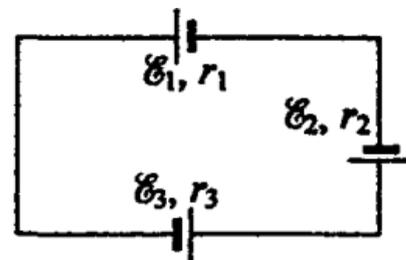
◇ 4.39 [Б-12.19] Определить ЭДС \mathcal{E} и внутреннее сопротивление батареи r , составленной из двух параллельно соединённых источников. ЭДС и внутренние сопротивления источников считать известными.



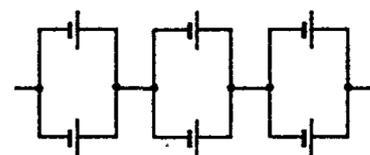
◇ 4.40 [Б-12.20] Вольтметр, подсоединённый к полюсам источника тока, входящего в состав неизвестной цепи, показывает $U = 6$ В. Определить величину и направление тока, протекающего через источник, если его ЭДС $\mathcal{E} = 4$ В, а внутреннее сопротивление 1 Ом.



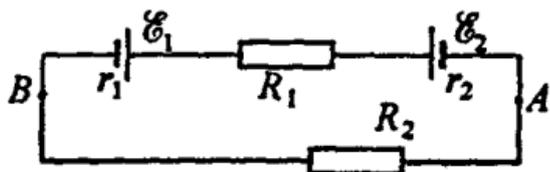
◇ 4.41 [Б-12.21] Три источника тока с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 3,0$ В, $\mathcal{E}_2 = 6,0$ В, $\mathcal{E}_3 = 4,5$ В и внутренним сопротивлением $r_1 = 0,8$ Ом, $r_2 = 1,2$ Ом и $r_3 = 1$ Ом соединены в цепь. Определите напряжения на полюсах каждого источника.



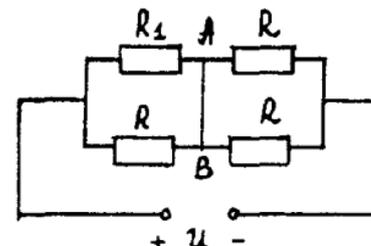
◇ 4.42 [Б-12.18] Определить ЭДС \mathcal{E} и внутреннее сопротивление батареи элементов, если ЭДС каждого элемента $2,2$ В, а внутреннее сопротивление $0,8$ Ом.

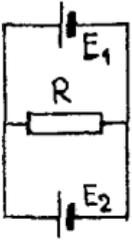


◇ 4.43 [Б-12.16] В схеме $\mathcal{E}_1 = 12$ В, $\mathcal{E}_2 = 6$ В, $R_1 = 4$ Ом, ток в электрической цепи $I = 1$ А, внутреннее сопротивление источников: $r_1 = 0,75$ Ом, $r_2 = 0,25$ Ом. Определить напряжение между точками A и B .



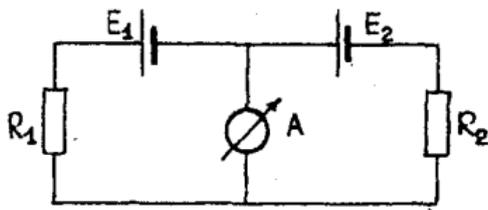
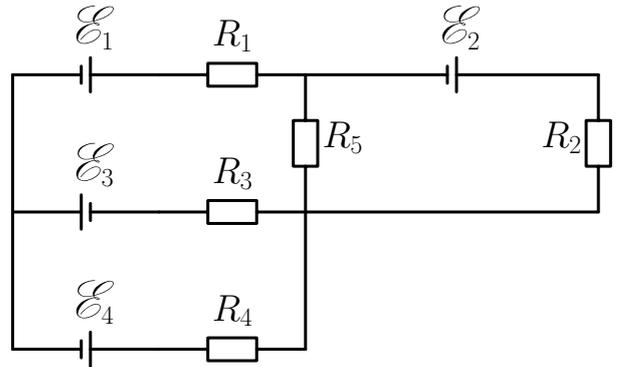
◇ 4.44 [М-3.2.19] В схеме, показанной на рисунке, напряжение на клеммах источника $U = 100$ В, сопротивления в цепи $R_1 = 101$ Ом, $R = 100$ Ом. Определить величину тока I , протекающего по проводнику AB . Сопротивлением подводящих проводов, проводника AB и внутренним сопротивлением источника пренебречь.



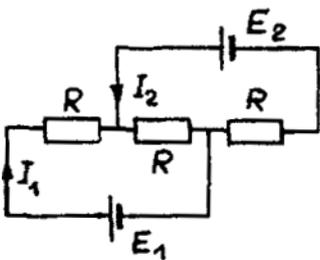


◇ 4.45 [М-3.2.4] Два гальванических элемента, электродвижущие силы которых $\mathcal{E}_1 = 2$ В и $\mathcal{E}_2 = 1$ В, соединены по схеме, указанной на рисунке. При каком значении сопротивления R ток через гальванический элемент с ЭДС \mathcal{E}_2 не пойдёт? Внутреннее сопротивление элемента с ЭДС \mathcal{E}_1 равно $r_1 = 1$ Ом.

◇ 4.46 В электрической схеме, показанной на рисунке, известны $\mathcal{E}_1 = 30$ В, $\mathcal{E}_2 = 60$ В, $\mathcal{E}_3 = 80$ В. Сопротивления резисторов равны $R_1 = 130$ Ом, $R_2 = 100$ Ом, $R_3 = 150$ Ом, $R_4 = 200$ Ом, $R_5 = 80$ Ом. Сила тока I_5 , текущего через пятый резистор, равна $0,206$ А. Найти токи на остальных участках цепи I_1, I_2, I_3, I_4 . Найти электродвижущую силу \mathcal{E}_4 . Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

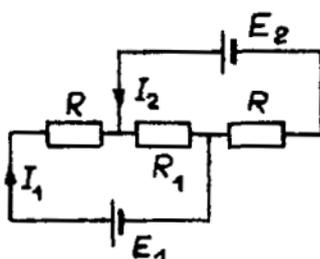
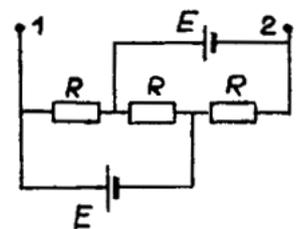


◇ 4.47 [М-3.2.5] В схеме, показанной на рисунке, $\mathcal{E}_1 = 10$ В, $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 40$ Ом. Чему равна ЭДС второго источника \mathcal{E}_2 , если ток через амперметр не течет? Внутренними сопротивлениями источников пренебречь.



◇ 4.48 [М-3.2.7] В цепь включены два источника с ЭДС $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$ и внутренними сопротивлениями r_1, r_2 соответственно, и три одинаковых резистора сопротивлением R . При какой величине R значения токов I_1 и I_2 будут равны друг другу?

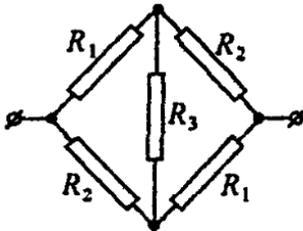
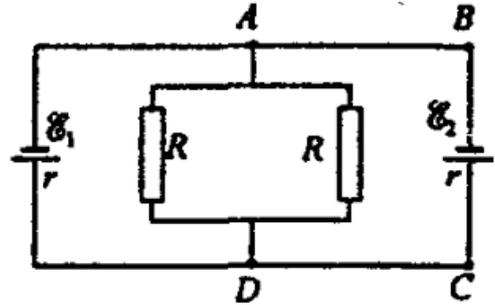
◇ 4.49 [М-3.2.8] Цепь образована двумя одинаковыми батареями \mathcal{E} и тремя равными сопротивлениями $R = 0,5$ Ом. При каком значении r внутреннего сопротивления каждой из батарей напряжение между точками 1 и 2 будет равно ЭДС батарей?



◇ 4.50 [М-3.2.9] В схеме, показанной на рисунке, подбором величины сопротивления R_1 добились того, что ток I_2 стал равен нулю. Чему равно внутреннее сопротивление r_1 первой батареи, если $\mathcal{E}_1 = 2$ В, $\mathcal{E}_2 = 1,5$ В, $R = 2,5$ Ом, $R_1 = 9$ Ом?

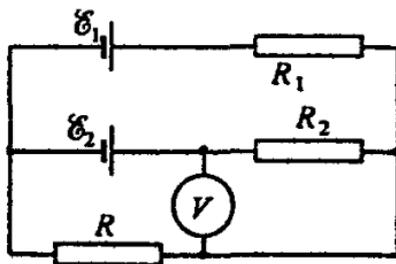
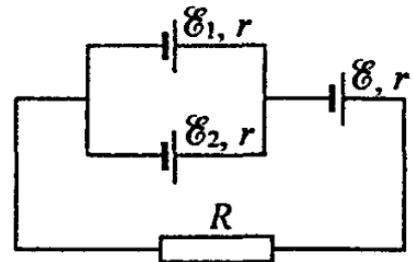
4.51 [М-3.2.13] Батарея из двух одинаковых гальванических элементов, соединённых последовательно, нагружена на внешний резистор $R = 2 \text{ Ом}$, через который за некоторое время протекает заряд $Q_1 = 20 \text{ Кл}$. Какой величины заряд Q_2 протечёт за то же время через каждый элемент, если их соединить параллельно и нагрузить на тот же резистор? Внутреннее сопротивление каждого элемента $r = 0,1 \text{ Ом}$.

◇ 4.52 [Б-12.28] Два источника тока, имеющие одинаковое внутреннее сопротивление $r = 0,5 \text{ Ом}$, подключены к резисторам, каждый из которых имеет сопротивление R . ЭДС \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 источников тока соответственно равны 12 В и 6 В . Определить сопротивление R , при котором ток в цепи $ABCD$ не течёт.



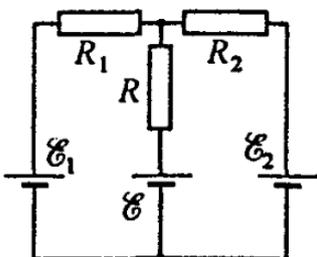
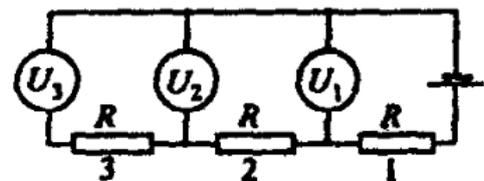
◇ 4.53 [Б-12.33] Используя правила Кирхгофа, определить общее сопротивление цепи. Сопротивления R_1 , R_2 и R_3 считать известными.

◇ 4.54 [Б-12.30] Определить ток I , протекающий через резистор с сопротивлением R . Внутреннее сопротивление источников одинаково и равно r . ЭДС источников считать известными (см. рисунок).



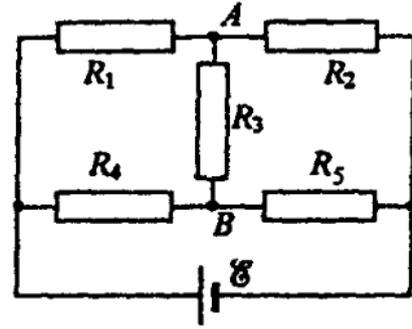
◇ 4.55 [Б-12.31] Чему равно показание вольтметра в схеме? Вольтметр считать идеальным, т.е. имеющим очень большое сопротивление. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

◇ 4.56 [Б-12.32] Электрическая цепь, собрана из и одинаковых вольтметров. Первый вольтметр показывает $U_1 = 10 \text{ В}$, а третий $U_3 = 8 \text{ В}$. Что показывает второй вольтметр?



◇ 4.57 [Б-12.29] При каком значении \mathcal{E} ток через сопротивление R будет равен нулю? Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

◇ 4.58 [Б-12.34] В изображённой на рисунке электрической цепи сопротивления резисторов $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 2 \text{ Ом}$, $\mathcal{E} = 22 \text{ В}$. Определить силу тока, на участке AB . Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



Работа и мощность тока. КПД

4.59 Найти общую выделяемую мощность для последовательно соединённых резисторов сопротивлениями R_1 и R_2 , подключённых к участку с напряжением U .

4.60 Найти общую выделяемую мощность для параллельно соединённых резисторов R_1 и R_2 , подключённых к участку с напряжением U .

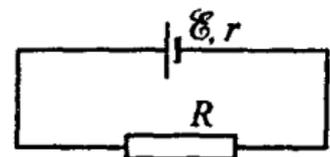
4.61 Вывести формулу для расчёта потерь в ЛЭП (найти $P_{\text{потерь}}$). Известно напряжение на участке U , подаваемая мощность P , сопротивление проводов R .

4.62 [М-3.2.20] При подключении к батарее поочерёдно двух сопротивлений нагрузки $R_1 = 4 \text{ Ом}$ и $R_2 = 1 \text{ Ом}$ выделяемая в них мощность оказалась одинаковой и равной $W = 9 \text{ Вт}$. Чему равна ЭДС \mathcal{E} батареи?

4.63 [М-3.2.36] Напряжение на зажимах генератора постоянного тока $U_0 = 220 \text{ В}$, а на зажимах нагрузки $U_1 = 210 \text{ В}$. Определить мощность $P_{\text{л}}$, выделяющуюся в линии между генератором и потребителем, если номинальная мощность нагрузки при напряжении на ней, равном U_0 , составляет $P = 10 \text{ кВт}$.

4.64 [Б-12.23] Источник постоянного тока с внутренним сопротивлением $r = 1 \text{ Ом}$ замкнут в первом случае на резистор с сопротивлением R , а во втором случае — на 4 таких же резистора, соединённых параллельно. Определить сопротивление R , если мощность, выделяемая в нагрузке, в первом и во втором случаях одна и та же.

◇ 4.65 [Б-12.24] Дана электрическая цепь, содержащая источник ЭДС. К источнику подключено внешнее сопротивление R . Найти полезную мощность и КПД цепи.



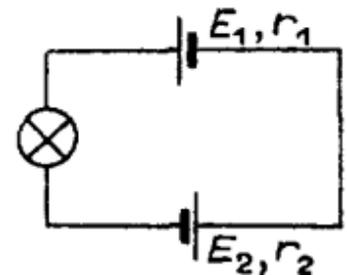
4.66 [Б-12.25] Аккумулятор с внутренним сопротивлением $r = 0,08$ Ом при токе $I_1 = 4$ А отдаёт во внешнюю цепь мощность $P_1 = 8$ Вт. Какую мощность P_2 отдаёт он во внешнюю цепь при токе $I_2 = 6$ А?

4.67 [Б-12.22] Определить массу меди, нужной для устройства двухпроводной линии длиной $l = 5$ км. Напряжение на шинах станции $U = 2,4$ кВ. Передаваемая потребителю мощность $P = 60$ кВт. Допускаемая потеря напряжения в проводах равна 8%. Плотность меди $d = 8,9 \cdot 10^3$ кг/м³, удельное сопротивление $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом · м.

4.68 [Б-12.26] Электромотор питается от батареи с ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В. Какую мощность N развивает мотор при протекании по его обмотке тока $I = 2$ А, если при полном затормаживании якоря по цепи течёт ток $I_0 = 3$ А?

4.69 [Б-12.27] Чему равен КПД электромотора, если при включении его в сеть постоянного тока ток $I_0 = 15$ А, а в установившемся режиме ток снижается до $I = 9$ А?

◇ **4.70** [М-3.2.21] Лампочка накаливания включена в цепь, показанную на рисунке. ЭДС источников в схеме равны $\mathcal{E}_1 = 3$ В и $\mathcal{E}_2 = 4$ В. Их внутренние сопротивления соответственно $r_1 = 2$ Ом и $r_2 = 1$ Ом. Найти мощность W , выделяющуюся в лампочке, если известно, что при напряжении на лампочке $U = 6$ В в ней выделяется мощность $W = 9$ Вт. Изменением сопротивления нити лампочки в зависимости от температуры пренебречь.

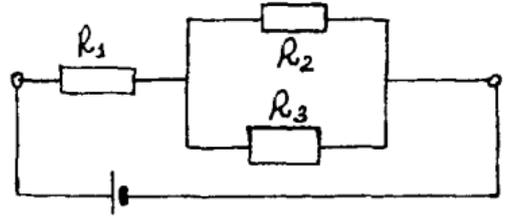


4.71 [М-3.2.22] Две лампы имеют мощности $W_1 = 20$ Вт и $W_2 = 40$ Вт при стандартном напряжении сети. При их последовательном включении в сеть с другим напряжением оказалось, что в двадцативаттной лампе выделяется та же мощность, что и при стандартном напряжении. Какая мощность W'_2 выделяется при этом в другой лампе? Изменением сопротивления нитей ламп с температурой пренебречь.

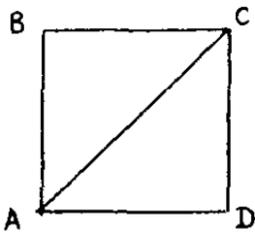
4.72 [М-3.2.23] Электрическая лампочка подключена к источнику тока через сопротивление, подсоединённое последовательно. Известно, что при ЭДС источника $\mathcal{E}_1 = 20$ В и подсоединённом сопротивлении $r_1 = 4$ Ом через лампочку течёт такой же ток, что и при ЭДС $\mathcal{E}_2 = 14$ В и сопротивлении $r_2 = 1$ Ом. Найти мощность W , выделяющуюся в лампочке. Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

4.73 [М-3.2.24] Чему равно внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи, если при её разряде через внешнюю цепь с сопротивлением $R = 3$ Ом во внешней цепи выделяется $\eta = 90\%$ запасённой энергии?

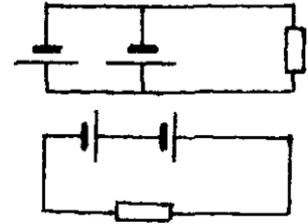
◇ **4.74** [М-3.2.25] В схеме, показанной на рисунке, $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 3$ Ом. Известно, что на сопротивлении R_1 выделяется мощность $P_1 = 25$ Вт. Какая мощность P_2 выделяется на сопротивлении R_2 ?



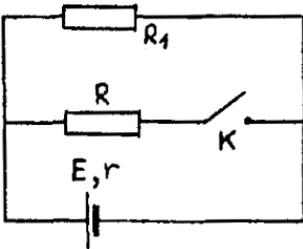
◇ **4.75** [М-3.2.26] Из однородной проволоки спаян квадрат $ABCD$ с диагональю AC (см. рисунок). Источник напряжения (внутренним сопротивлением которого можно пренебречь) подсоединяют к точкам AC схемы (случай 1), а затем к точкам BD (случай 2). Во сколько раз различаются мощности W_1 и W_2 , выделяемые в цепи в этих случаях?



◇ **4.76** [М-3.2.27] Батарея из двух одинаковых параллельно соединённых элементов с внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом нагружена на внешнее сопротивление $R = 1$ Ом. Во сколько раз β изменится отношение мощности, выделяемой во внешнем сопротивлении, к полной мощности, если элементы соединить последовательно?



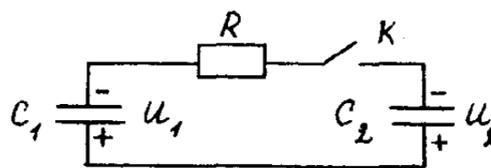
◇ **4.77** [М-3.2.28] В схеме, показанной на рисунке, сопротивление $R_1 = 1$ Ом. Определить внутреннее сопротивление источника тока r , если известно, что при замыкании ключа K сила тока через источник возрастает в $n = 3$ раза, а мощность, выделяющаяся во внешней цепи, увеличивается в $m = 2$ раза.



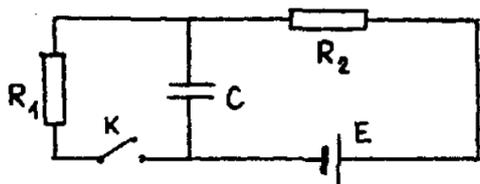
4.78 [М-3.2.29] Батарея из двух одинаковых параллельно соединённых элементов нагружена на внешнее сопротивление $R = 1$ Ом. После того, как элементы соединили последовательно, мощность, выделяемая во внешнем сопротивлении, увеличилась в $n = 2$ раза. Чему равно внутреннее сопротивление r каждого из элементов?

4.79 [М-3.2.30] Конденсатор ёмкостью $C = 10$ мкФ разряжается через цепь из двух параллельно включённых сопротивлений $R_1 = 10$ Ом и $R_2 = 40$ Ом. Какое количество теплоты Q_1 выделится на меньшем из сопротивлений, если конденсатор был заряжен до напряжения $U = 100$ В?

◇ 4.80 [М-3.2.31] До замыкания ключа K конденсаторы $C_1 = 1$ мкФ и $C_2 = 2$ мкФ были заряжены до напряжений $U_1 = 400$ В и $U_2 = 100$ В, как показано на рисунке. Какая энергия выделится на сопротивлении R после замыкания ключа?

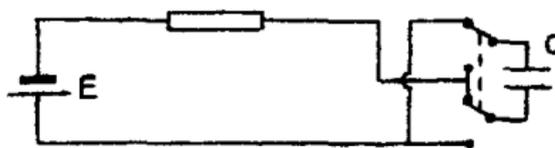


◇ 4.81 [М-3.2.32] Цепь, показанная на рисунке, находилась достаточно долго в состоянии с замкнутым ключом K . В некоторый момент времени ключ разомкнули. Какое количество теплоты Q выделится на резисторе R_2 после размыкания ключа? При расчётах положить: $\mathcal{E} = 300$ В, $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = 200$ Ом, $C = 10$ мкФ.

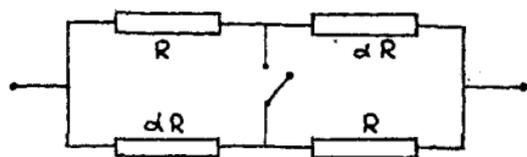


Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

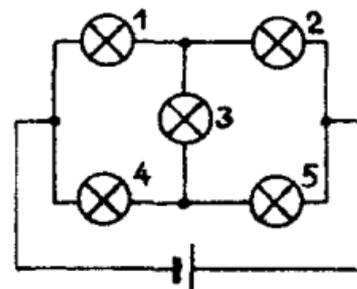
◇ 4.82 [М-3.2.33] Конденсатор ёмкостью $C = 20$ мкФ включён в цепь через коммутатор, так что его выводы можно менять местами, одновременно перебрасывая оба ключа. После того, как напряжение на конденсаторе установилось, коммутатор переключили. Какая энергия выделится при этом на резисторе? При расчётах принять $\mathcal{E} = 300$ В.



◇ 4.83 [М-3.2.34] Нагревательные элементы, сопротивления которых отличаются в α раз, соединены как показано на рисунке и подключены к источнику тока с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением. Найти α , если известно, что при замыкании ключа общая мощность, выделяющаяся в цепи, увеличивается в $k = 2$ раза. Изменением сопротивлений элементов при нагревании пренебречь.



◇ 4.84 [М-3.2.35] Пять одинаковых лампочек соединены в цепь как показано на рисунке и подключены к батарее. Во сколько раз α изменится мощность, выделяющаяся в этой цепи, если лампочка номер 1 перегорит? Внутреннее сопротивление батареи пренебрежимо мало.



4.85 [М-3.2.37] При подключении к аккумулятору с внутренним сопротивлением $r = 0,16$ Ом нагревательный элемент развивает мощность $W_1 = 200$ Вт. При подключении нагревательного элемента к двум таким аккумуля-

торам, соединённым последовательно, выделяемая в нагревателе мощность составила $W_2 = 288$ Вт. Найти ЭДС \mathcal{E} аккумулятора.

4.86 [м-3.2.38] При подключении к аккумулятору с внутренним сопротивлением $r = 2$ Ом нагревательный элемент развивает мощность $W_1 = 50$ Вт. При подключении нагревательного элемента к двум таким аккумуляторам, соединённым последовательно, выделяемая в нагревателе мощность составила $W_2 = 72$ Вт. Найти сопротивление R нагревателя.

4.87 [м-3.2.39] При подключении к аккумулятору с внутренним сопротивлением $r = 0,2$ Ом нагревательный элемент развивает мощность $W_1 = 10$ Вт. При подключении нагревательного элемента к двум таким аккумуляторам, соединённым параллельно, выделяемая в нагревателе мощность составила $W_2 = 12,1$ Вт. Найти сопротивление R нагревателя.

4.88 [м-3.2.40] При подключении к аккумулятору с внутренним сопротивлением $r = 0,2$ Ом нагревательный элемент развивает мощность $W_1 = 10$ Вт. При подключении нагревательного элемента к двум таким аккумуляторам, соединённым параллельно, выделяемая в нагревателе мощность составила $W_2 = 14,4$ Вт. Найти ЭДС \mathcal{E} аккумулятора.

4.89 [м-3.2.42] При подключении нагрузки к батарее с внутренним сопротивлением $r_1 = 0,1$ Ом во внешней цепи выделяется мощность $W_1 = 1$ Вт. В той же нагрузке, питаемой от батареи с внутренним сопротивлением $r_2 = 0,2$ Ом и прежней ЭДС, выделяется мощность $W_2 = 0,64$ Вт. Чему равно сопротивление нагрузки R ?

4.90 [м-3.2.41] Во внешней нагрузке, подключённой к батарее, выделяется мощность $W_1 = 1$ Вт. Чему равен коэффициент полезного действия η этой цепи (т.е. отношение мощности, выделяющейся в нагрузке, к полной мощности, развиваемой батареей), если при подключении той же нагрузки к двум таким батареям, соединённым последовательно, мощность в нагрузке стала равной $W_2 = 1,44$ Вт?

ОТВЕТЫ

1.1

а) $m_0 = 2,99 \cdot 10^{-26}$ кг, $a \approx 3,1 \cdot 10^{-10}$ м

б) $m_0 = 3,32 \cdot 10^{-25}$ кг, $a \approx 2,9 \cdot 10^{-10}$ м

в) $m_0 = 7,64 \cdot 10^{-26}$ кг, $a \approx 4,6 \cdot 10^{-10}$ м

1.2 $a = \sqrt[3]{\frac{\mu}{\rho N_A}} = 3,34 \cdot 10^{-9}$ м

1.3 $\eta = 4,59 \cdot 10^{-2}$ %

1.4 $\bar{u} = \sqrt{\frac{\bar{u}_1^2 + \bar{u}_2^2}{2}} = 1160$ м/с

1.5 $\frac{v_{\text{H}}}{v_{\text{He}}} = \sqrt{2}$

1.6 Давление возрастёт на 69%

1.7 $u = \sqrt{\frac{3pN_A}{\mu n}} = 425$ м/с

1.8 $E = \frac{3}{2}pv = 1,5 \cdot 10^7$ Дж

1.9 $u = \sqrt{\frac{3p_0}{\rho}}$

1.10 Увеличится в $\sqrt{2}$ раз

1.11 $\bar{u} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = 1367$ м/с

$$1.12 \quad a \approx \sqrt[3]{\frac{kT}{p_0}} = 3,35 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$1.13 \quad \Delta n = kp_0 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right) = 1,22 \cdot 10^{25} \text{ мм}^3$$

$$1.14 \quad p = \frac{\rho RT}{\mu} = 1,385 \cdot 10^8 \text{ Па}; \quad \mu = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$1.15 \quad \Delta p = \frac{\Delta N k \Delta T}{V} = 4 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$1.16 \quad p = \frac{p_0 NT}{5nVT_0} = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$1.17 \quad t = 6\varepsilon \frac{V}{S} \sqrt{\frac{\mu}{3RT}} \approx 2 \text{ мин, где } \mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$1.18 \quad p_x = \frac{1 + \sqrt{2}}{2\sqrt[4]{2}} \cdot p \approx p; \quad T_x = \sqrt{2}T$$

1.19 Объём увеличивался

1.20 Давление увеличивалось

1.21 Температура увеличивалась

1.22 Минимальная температура — в точке A , максимальная — в точке B

$$1.26 \quad k = 1,5$$

$$1.27 \quad \alpha = \frac{1}{2}, \text{ кинетическая энергия уменьшится в 2 раза}$$

$$1.28 \quad T_2 = \sqrt{T_1 T_3} = 346 \text{ К}$$

$$1.30 \quad V = 22,4 \text{ л}$$

$$1.31 \quad \rho_1 = \rho_0 \frac{p_1 T_0}{p_0 T_1} = 0,51 \text{ кг/м}^3$$

$$1.32 \quad H \approx 70 \text{ м}$$

$$1.33 \quad p = \left(\frac{m_1}{M} + \nu_2 \right) \frac{RT}{V}$$

$$1.34 \quad 144 \text{ Па}$$

$$1.35 \quad \mu = \frac{\mu_1 \mu_2 \cdot 100\%}{\alpha_1 \mu_1 + \alpha_2 \mu_2}$$

$$1.36 \quad p = 10,2 \text{ МПа}$$

$$1.37 \quad p = \frac{RT}{V} \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} + \frac{N}{N_A} \right) = 9,8 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$1.38 \quad p_{\text{л}} = \frac{RT}{V} \left(\frac{m_1}{2\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right); \quad p_{\text{п}} = \frac{RTm_1}{2V\mu_1}$$

1.39 Масса азота в 7 раз больше массы водорода

$$1.40 \quad p = p_0 \frac{nv}{V} = 0,25 \text{ МПа}$$

$$1.41 \quad H = \frac{L}{2} + \frac{\rho g}{p_0} \cdot \frac{L^2}{4}$$

$$1.42 \quad h = \frac{1}{2} (l + H - \sqrt{l^2 + H^2}) = 0,25 \text{ м}$$

$$1.43 \quad p = \frac{(L^2 - 4l^2) mg}{4LLS} = 24 \text{ кПа}$$

$$1.44 \quad x = 2,9 \text{ см}$$

$$1.45 \quad p_4 = p_3 \frac{V_3}{V_4} = p_1 \frac{V_1 V_3}{V_4 V_2}$$

$$1.46 \quad p = \frac{(p_1 V_1 + p_2 V_2 + p_3 V_3) T_2}{(V_1 + V_2 + V_3) T_1}$$

$$1.47 \quad \Delta m = \frac{m(t_2 - t_1)}{2(t_1 + t_2 + 546 \text{ °C})} = 0,3 \text{ г}$$

$$1.48 \quad \Delta m = \frac{p_0 VM}{R} \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{T_1 T_2} = -2,4 \text{ кг}$$

$$1.49 \quad \Delta T = \frac{2lT}{L-l} = 400 \text{ K}$$

$$1.50 \quad m_0 = \frac{mp_0T_1}{p_0T_1 - pT_0} = 30 \text{ г}$$

$$1.51 \quad p = (p_k + p_0) \cdot \frac{t + 273^\circ\text{C}}{t_1 + 273^\circ\text{C}} = 375 \text{ кПа}$$

$$1.52 \quad t_1 = \frac{p_1(t + 273^\circ\text{C})}{p(1 - \beta)} - 273^\circ\text{C} = 90,6^\circ\text{C}$$

$$1.53 \quad \Delta V = \frac{m_1\Delta m_2V}{(m_1 + m_2)(m_1 + m_2 - \Delta m)} = 200 \text{ см}^3$$

$$1.54 \quad \Delta h = h_1 - h_0 = h_0 \left(\frac{Sp_0}{Sp_0 + mg} - 1 \right) = -8,9 \text{ см}$$

$$1.55 \quad T_2 = T_1 \left(1 + \frac{m}{M} \right) = 315 \text{ K}$$

$$1.56 \quad T = \frac{Ph(H-h)}{R\nu(H-2h)} = 310,5 \text{ K} = 37,5^\circ\text{C}$$

$$1.57 \quad \alpha = \frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{(L - H_2 + H_1) \cdot (L - H_1)H_2}{(L - H_1 + H_2) \cdot (L - H_2)H_1}$$

$$1.58 \quad \Delta h = \frac{R(t_1 - t_2)}{p_0S - Mg} \approx 1 \text{ м}$$

$$1.59 \quad T_2 = T_1 \frac{H}{h} + \frac{MkH(H-h)}{mR} = 487,5 \text{ K}$$

$$1.60 \quad h = \frac{m(T_2 - T_1)R}{M(Sp_0 + M_0g)}$$

$$1.61 \quad \alpha = \frac{1}{2} - \frac{1}{n} + \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n}\right)^2 + 2} = \sqrt{2}$$

$$1.62 \quad \Delta m = \frac{pVM_{\text{H}_2}}{R(t + 273^\circ\text{C})} - m \frac{M_{\text{H}_2}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = 77 \text{ г}$$

$$1.63 \quad \alpha = \frac{3}{2} \cdot \frac{M_{\text{Ne}} - M_{\text{He}}}{M_{\text{Ne}} - 3M_{\text{He}}} = 3$$

$$1.64 \quad n_0 = \frac{p_2}{kT_2} = 3,333 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$$

$$1.65 \quad \Delta \bar{v} = \bar{v}_2 - \bar{v}_1 = -0,1\bar{v}_1 = -45 \text{ м/с}$$

$$1.66 \quad \text{Газ нагревается: } T_2 = T_1 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{n+1}$$

1.67 $T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1}$, $n < 1$ — нагревается; $n = 1$ — температура не изменяется; $n > 1$ — температура падает.

$$1.68 \quad x = L/6 = 0,25 \text{ м}$$

$$1.69 \quad T_2 = 0,9T_1 \frac{p_0S + (m + M)g}{p_0S + mg} = 324 \text{ К}$$

$$1.70 \quad F = (n/k - 1)(p_0S + Mg) = 15 \text{ Н}$$

$$1.71 \quad V_1 = V_3 \frac{T_1}{T_3} = 12,3 \text{ дм}^3; \quad m = \frac{p_3 V_3 \mu}{RT_3} = 16 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$1.72 \quad 100 \text{ моль}$$

$$1.73 \quad T_2 = 750 \text{ К}$$

$$1.74 \quad M = 1,58 \text{ кг}$$

$$1.75 \quad n = \frac{T_{\text{к}}}{T_6} \cdot \frac{V_6}{V_{\text{к}}} \cdot \frac{F \Delta S}{p_0S(S - \Delta S)} = 302$$

$$1.76 \quad p = \frac{3mRT}{4\mu\pi r^3} = 99 \text{ МПа}$$

$$1.77 \quad \Delta T = \frac{mRT^2}{\mu pV - mRT} \approx 5 \text{ К}$$

$$1.78 \quad T_2 = 1,75T_1 = 700 \text{ К}$$

$$1.79 \quad \frac{p_2}{p_1} = \frac{2T_2}{T_1 + T_2} = 1,09$$

$$1.80 \quad p = 0,7 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

1.81 $V_3 = \frac{V_2 V_4}{V_1}$; в координатах T, V : 1-4 и 2-3 — прямые, параллельные оси абсцисс; 1-2 и 3-4 — параболы с вершиной в начале координат

$$1.82 \quad v = \frac{mRT}{\mu p S \tau} = 0,9 \text{ м/с}$$

$$1.83 \quad F = \frac{81m^2 RT}{p \mu S}$$

$$1.84 \quad \bar{v} = u \sqrt{(1 + \alpha)(1 - \beta)}$$

$$1.85 \quad s = \frac{3FV}{2Q}$$

$$1.87 \quad \mu_{\text{He}} = \frac{M + m}{\frac{\mu_{\text{B}}}{\mu_{\text{He}}} - 1} = 100 \text{ кг}$$

$$1.88 \quad M = 4\pi r^2 \sigma, \text{ где } r = \frac{3\sigma RT}{p_0(\mu_{\text{B}} - \mu_{\text{He}})} \approx 745 \text{ кг}$$

$$1.89 \quad \eta = \frac{2}{13} \approx 15\%$$

$$1.90 \quad l = H \left(\frac{l_1}{l_2} - 1 \right) = 15 \text{ см}$$

$$1.91 \quad l_{AB} = \frac{mg\mu VL}{sRT\alpha\tau}$$

$$1.92 \quad T_0 = \Delta T \frac{H}{d}$$

$$1.93 \quad V_2 = V_1 \cdot \frac{(1 + \alpha)T_2}{T_1}$$

$$1.94 \quad p_{\text{O}_2} = \frac{3p}{13} \approx 23 \text{ кПа}$$

$$1.95 \quad T = \frac{\mu p V T}{\mu V p + M R T} \approx 273 \text{ K} = 0^\circ \text{C}$$

$$1.96 \quad \nu = \frac{m(p_0 + \rho g h)}{\rho R T}$$

$$1.97 \quad T_1 = T_0 \frac{h}{L} \left(2 - \frac{L}{H} \right)$$

$$1.98 \quad \nu = \frac{m g}{R T \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{H - h} \right)} \approx 0,022 \text{ МОЛЬ}$$

$$1.99 \quad \Delta H = \frac{2(p_1 - p_0)}{2p_0 - p_1} H_1$$

$$1.100 \quad p = \frac{\nu R T}{V} \approx 250 \text{ кПа}$$

$$1.101 \quad F = (n - 1)p_a S + 5F_{\text{тр}} = 1010 \text{ Н}$$

$$1.102 \quad \Delta l = l_2 - l_1 = \frac{\nu \mu}{3} \left(\frac{u_2^2}{F_2} - \frac{u_1^2}{F_1} \right) \approx 17 \text{ см}$$

$$1.103 \quad \Delta m = m_1 - m_2 = \frac{\mu \rho V}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \approx 813 \text{ г}$$

$$1.104 \quad l_2 = l_1 \cdot \frac{p_0}{p_0 + p_{\text{пр}}} \approx 19 \text{ см}$$

$$1.105 \quad \frac{m_{\text{H}_2}}{m_{\text{He}}} = \frac{\frac{pV}{RT} - \frac{m}{\mu_{\text{He}}}}{\frac{m}{\mu_{\text{H}_2}} - \frac{pV}{RT}} \approx 1,5$$

$$1.106 \quad n = \frac{m R T}{p_0 V (\mu_{\text{B}} - \mu_{\text{He}})}$$

$$1.107 \quad k = \lg \frac{p}{p_0} : \lg \left(\frac{V}{V + V_1} \right)$$

$$2.2 \quad U = \frac{3}{2} p V = 2,25 \text{ кДж}$$

$$2.3 \quad A = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1)$$

$$2.4 \quad A = (n - 1)\nu RT = 8310 \text{ Дж}$$

$$2.5 \quad v = \frac{2q}{5(p_0 S + Mg)}$$

$$2.6 \quad A = \frac{7}{4} p_0 V_0 = 175 \text{ Дж}$$

$$2.7 \quad \eta = 15,4\%$$

$$2.8 \quad \eta = \frac{2(T_2 - T_3)}{8T_2 - 3T_3} \cdot 100T$$

$$2.9 \quad \eta = \frac{2T_1 + 3T_2 - 5T_3}{3(T_2 - T_1)} \cdot 100T$$

$$2.12 \quad A = pV \frac{T_2 - T_1}{T_1} = 300 \text{ Дж}$$

$$2.13 \quad T = \frac{p_0}{RV_0} V^2; \quad A = \frac{3}{2} p_0 V_0$$

$$2.14 \quad A = \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot R (V_2^2 - V_1^2), \text{ газ поглощает теплоту}$$

$$2.15 \quad A = \frac{m}{\mu} RT (1 - 1/n)$$

$$2.16 \quad A = R (T_1 + T_3 - 2\sqrt{T_1 T_3})$$

$$2.17 \quad A = \frac{R(T_3 - T_4)}{2} \left(\frac{T_1}{T_4} + \frac{T_2}{T_3} - 2 \right)$$

$$2.18 \quad A = \frac{\nu R}{2} (T_1 + T_3 - T_2 - T_4) \approx 10 \text{ кДж}; \quad T_3 = \frac{T_2 T_4}{T_1} = 2400 \text{ К}$$

$$2.19 \quad \eta' = 55\%$$

$$2.20 \quad \eta \approx 29\%$$

$$2.21 \quad \eta = 8,7\%$$

$$2.22 \quad \eta_1/\eta_2 = 13/11$$

$$2.23 \quad \eta = \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{|A|}{\nu R \Delta T} \cdot 100\%\right)$$

$$2.24 \quad c = \frac{2A}{T_1} - \frac{51}{8}R = -12,4 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$$

$$2.25 \quad A = Q + 4RT_{\min} = -35\,972 \text{ Дж}$$

$$2.26 \quad A = \frac{m}{2M}R(T_2 - T_1)$$

$$2.27 \quad \Delta h = \frac{2Q}{5mg} = 0,1 \text{ м}$$

$$2.28 \quad Q = \frac{5}{2}l(p_0S + Mg \sin \alpha) \approx 73,38 \text{ Дж}$$

$$2.29 \quad \beta = \frac{13}{11}$$

$$2.30 \quad \Delta Q = \frac{2p_1}{V_1}(V_2^2 - V_1^2) = 6 \text{ кДж}$$

$$2.31 \quad \Delta q = \frac{1}{2}[p_1(V_2 - 4V_1) + p_2(V_3 - V_1) + p_3(4V_3 - V_2)] = -20 \text{ Дж}$$

$$2.32 \quad \Delta p = \frac{m}{M} \cdot \frac{RT}{V} = 1,66 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$2.33 \quad T = \frac{m_1T_1 + m_2T_2}{m_1 + m_2} = 360 \text{ К}$$

$$2.34 \quad p = \frac{(m_1T_1 + m_2T_2)R}{(V_1 + V_2)M}$$

$$2.35 \quad Q = \frac{m}{M} \cdot \frac{R}{2}(3T_1 - 5T_2) + p_0V_0 = 11,1 \text{ кДж}$$

$$2.36 \quad Q = \frac{(p_0S + P)}{2} \cdot [(3\alpha + 2)H - 5h] = 210 \text{ Дж}$$

$$2.37 \quad A = p_2V_2 + \frac{3}{2}p_1V_2 - \frac{5}{2}p_2V_1 = 18,8 \text{ кДж}$$

$$2.38 \quad A = \frac{R(T - T_1)^2}{T_1} = 11,07 \text{ Дж}$$

$$2.39 \quad A = \frac{3}{2}R(m^2 - 1)T_0 = 11,2 \text{ кДж}$$

$$2.40 \quad Q = \frac{1}{2}(5P + 3kH + 4k\Delta h)\Delta h = 18 \text{ Дж}$$

$$2.41 \quad \Delta h = \frac{M}{m}H = 20 \text{ см}$$

$$2.42 \quad \beta = \sqrt{1 + \frac{2MA}{3mR(t + 273^\circ\text{C})}} = 1,3$$

$$2.43 \quad \alpha = \sqrt{1 + \frac{2\Delta Q}{5h(Mg + p_0S)}} = 1,1$$

$$2.44 \quad N = \mu q \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 10 \text{ кВт}$$

$$2.45 \quad \eta = \frac{2(\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1})^2}{5T_3 - 3T_1 - 2\sqrt{T_1T_3}} = 10,4\%$$

$$2.46 \quad A = p_1V_1 \frac{(k - 1)^2}{2} = 450 \text{ Дж}$$

$$2.47 \quad \Delta Q = (p_1 - p_2)(V_1 - V_2) = 8 \cdot 10^5 \text{ Дж}$$

$$2.48 \quad c = \frac{Qp_0V_0T_1}{\mu V p T_0(T_2 - T_1)} = 0,697 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$$

$$2.49 \quad T = T_0 \frac{Mc_V + R}{Mc_V}$$

$$2.50 \quad T = T_0 + m \frac{v^2}{c}$$

$$2.51 \quad \Delta U = \frac{3}{2}p_1V_1 \left(\frac{V_1^2}{V_2^2} - 1 \right)$$

$$2.52 \quad Q_{\text{хол}} = -3A'_{12} - |A_{31}|, \quad |Q_{\text{хол}}| = 3A'_{12} + |A_{31}| = 3370 \text{ Дж}$$

$$2.53 \quad \Delta T = \frac{Q_2 - Q_1}{\nu R} \approx 1 \text{ K}$$

$$2.54 \quad L = \frac{Q - \frac{5}{2}F_{\text{тр}}x}{\frac{3}{2}(F_{\text{тр}} - p_1S)} = 0,3 \text{ м}$$

$$2.55 \quad Q = \frac{5}{2}p_0Sb + \frac{3}{2}kbL + 2kb^2$$

$$2.56 \quad Q = \frac{\nu R}{2}(5T_3 - 7T_1)$$

$$2.57 \quad Q_{\text{H}} = \frac{23A_{\text{H}}}{2}$$

$$2.58 \quad d = \frac{p_0\Delta T}{\rho g T_0}$$

$$2.59 \quad Q = \frac{3}{2}\nu RT_1 \left(\sqrt{\frac{p_2}{p_1}} - 1 \right) + A' = -1246,5 \text{ Дж}$$

$$2.60 \quad \nu = \frac{m^2v^2}{3(m+M)R\Delta T} \approx 0,1 \text{ МОЛЬ}$$

$$2.61 \quad \langle u \rangle = \sqrt{\frac{3RT_1 + mV^2}{\mu}} \approx 1190 \text{ м/с}$$

$$2.62 \quad A = \frac{\nu R}{2}(5T_1 - 3T_2) \approx 13,4 \text{ кДж}$$

$$2.63 \quad Q = \frac{3}{2}\nu R\Delta T \approx 7500 \text{ Дж}$$

$$2.64 \quad U \propto \nu T \propto \frac{pV}{T} \cdot T \propto pV, \quad U_2 = \frac{U_1}{4}$$

$$2.65 \quad A = \frac{1}{3}M(n^2 - 1)u_1^2 = 40 \text{ Дж}$$

$$2.66 \quad T_1 = \frac{Q}{2\nu R(\alpha^2 - 1)} \approx 400 \text{ K}$$

$$2.67 \quad T_2 = \frac{2pV}{\nu_2 R} - \frac{\nu_1}{\nu_2}T_1 \approx 300 \text{ K}$$

$$2.68 \quad A = p\Delta V = \frac{mu_1^2}{3V_1}(V_2 - V_1) = \frac{m}{3}(u_2^2 - u_1^2) = -14\,580 \text{ Дж}$$

$$2.69 \quad U = \frac{9}{4}\nu RT \approx 7840 \text{ Дж}$$

$$2.70 \quad T_2 = \frac{2pV}{\nu_2 R} - \frac{\nu_1 T_1}{\nu_2} \approx 300 \text{ К}$$

$$2.71 \quad p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

$$2.72 \quad \frac{U'_1}{U_1} = \frac{2T_2}{T_1 + T_2} = 1,5$$

$$2.73 \quad Q = \frac{5}{6}\nu\mu u_1^2 (n^2 - 1) = 2,5 \text{ кДж}$$

$$2.74 \quad 5$$

$$2.75 \quad \nu = \frac{1}{6} \cdot \frac{p}{kT} \cdot \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}; \quad \frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{1}{6}$$

$$2.76 \quad c = \frac{1}{m} \cdot \frac{Q}{\Delta T} = \frac{1}{m} \cdot \frac{5}{2}\nu R = \frac{5(p_0 S + Mg)h}{2mT} \approx 5,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

$$2.77 \quad V_M = \frac{p_1 V_2 - p_2 V_1}{2(p_1 - p_2)} = 2,75 \text{ л}$$

$$2.78 \quad T_M = T_0 \frac{(n+1)^2}{4n} = 1,8$$

$$2.79 \quad m = \frac{fM p_H V}{RT} = 0,48 \text{ кг}$$

$$2.80 \quad \Delta m = \frac{f_2 - f_1}{100\%} \rho_H V = 346 \text{ г}$$

$$2.81 \quad f_2 = f_1 + \frac{m}{\rho_H V} \cdot 100\% = 43\%$$

$$2.82 \quad \tau = \frac{p_H (f_2 - f_1) M_{\text{H}_2\text{O}} V}{100\% \cdot \alpha R (t + 273^\circ\text{C})} = 15,5 \text{ мин}$$

$$2.83 \quad n = \frac{4}{3} = 1,33 \text{ раза (влажность увеличится)}$$

$$2.84 \quad m = \frac{p_{\text{H}} n V \tau M (f_2 - f_1)}{RT \cdot 100\%} = 37,3 \text{ г}$$

$$2.85 \quad x = \begin{cases} \frac{V}{S} \cdot \frac{mg}{p_{\text{H}} S - mg} & \text{при } m < \frac{p_{\text{H}} S}{2g}, \\ \frac{V}{S} & \text{при } m \geq \frac{p_{\text{H}} S}{2g}. \end{cases} \quad \text{При данных задачи } x = 5,3 \text{ мм}$$

$$2.86 \quad m = \varphi \frac{\mu p_0 V}{RT} \approx 0,921 \text{ кг}$$

$$2.87 \quad p = 1,88 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$2.88 \quad \varphi_2 \approx 29,3\%$$

$$2.89 \quad \varphi = \frac{V_1 p_{\text{H}} T_2}{p_0 V_2 T_1} = 0,44$$

$$2.90 \quad \Delta\varphi = \varphi \left(\frac{3p_{\text{H}} T_2}{p_0 T_1} - 1 \right) \approx -57\%$$

$$2.91 \quad \rho_{\text{H}} = 0,58 \text{ кг/м}^3; \quad \rho_{\text{B}} : \rho_{\text{H}} \approx 1,6$$

$$2.92 \quad \varphi = \frac{\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

2.93 $\Delta F_{\text{под}} \approx 1,07 \text{ Н}$, при одинаковом давлении и температуре влажный воздух весит меньше, чем сухой

$$2.94 \quad \varphi' = \varphi + \frac{mRT}{p_{\text{H}} \mu V} = 63\%$$

$$2.95 \quad \Delta m = \left(1 - \frac{\varphi}{100\%} \right) p_{\text{H}} \frac{\mu V}{RT}$$

$$2.96 \quad \Delta m = \frac{M p_0 \left(\frac{\varphi}{100\%} - \frac{1}{n} \right) V}{RT} \approx 0,03 \text{ г}$$

$$2.97 \quad m = \frac{\mu(2f - 1)p_{\text{H}} V}{2RT} \approx 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ кг}$$

$$2.98 \quad \varphi = \frac{p_1 - \frac{p_2 - p_0}{k}}{p_0} = 0,7$$

2.100 Учтеть, что p_H не зависит от V

$$2.101 \quad \varphi = \frac{\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2}{V_1 + V_2} = 36\%$$

$$2.102 \quad \varphi = 90\%, \quad \rho \approx 25,6 \text{ г/м}^3$$

$$2.103 \quad \theta = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2 + c_3 m_3 t_3}{c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3} = -19^\circ\text{C};$$

$$Q = (C_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3)(t - \theta) = 1300 \text{ кДж}$$

2.104 0°C

$$2.105 \quad m_{\text{CH}} = \frac{c(m(t - \theta) - m_K \theta)}{\lambda} \approx 173 \text{ г}; \quad m_B = m_K - m_{\text{CH}} = 77 \text{ г}$$

$$2.106 \quad m_2 = \frac{m_1(c_1 t_1 - c_2 \theta + \lambda)}{c_2(\theta - t_2)} = 39,4 \text{ кг}$$

$$2.107 \quad c_T = \frac{(c_B m_B + c_L m_K)(\theta - t_0)}{m_T(t_T - \theta)} \approx 930 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$$

$$2.108 \quad m_3 = \frac{m_2 \lambda + c(m_1 + m_2)(\theta - t_1)}{r + c(t_2 - \theta)} = 0,35 \text{ кг}$$

$$2.109 \quad m = \frac{Mr}{\lambda + r} = 88 \text{ г}$$

2.110 0°C ; 0,46 кг воды и 0,54 кг льда

2.111 $\theta = 0^\circ\text{C}$; в калориметре будет 0,4 г льда, 4,6 г воды, 30 г твёрдого свинца

$$2.112 \quad Q = 19,5 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

$$2.113 \quad m_L = 1,23 \text{ кг}$$

$$2.114 \quad t_L \approx -5^\circ\text{C}$$

$$2.115 \quad \tau_2 = \tau_1 \frac{r}{c(t_k - t)} = 60,8 \text{ МИН}$$

$$2.116 \quad m \approx 502 \text{ Г}$$

$$2.117 \quad V_1 = V - \frac{m\tau h\eta}{\rho_B r \cdot 100\%} + \frac{c}{r} \cdot (t_k - t)V = 2,52 \text{ Л}$$

$$2.118 \quad T_3 = T_2 + \frac{1}{Mc} [r\Delta m + c_1\Delta m(T_k - T_2) + c_1m(T_2 - T_1)]$$

$$2.119 \quad c = \frac{\lambda\tau_0}{\tau(t_2 - t_1) - \tau_0(t_{\text{III}} - t_2)} \approx 0,23 \text{ КДЖ}/(\text{КГ} \cdot \text{К})$$

$$2.120 \quad V = \frac{v_0^2}{2\rho c(t_k - t_0)} \cdot \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} \approx 143 \text{ СМ}^3$$

$$2.121 \quad m_B \approx 15 \text{ Г}$$

$$2.122 \quad m_B = m - \frac{c(M(t_1 - t) - mt)}{\lambda} \approx 10 \text{ Г}$$

$$2.123 \quad p = p_0 \cdot \frac{2mcT_1 + 3p_0V_0}{2mcT_0 + 3p_0V_0} \approx 1,67 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$2.124 \quad \Delta p = \frac{2Q\nu R}{V(3\nu R + 2mc)} = 8 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$2.125 \quad m = \frac{Wt_1t_2}{c\Delta T(t_1 + t_2)} \approx 4,8 \text{ КГ}$$

$$2.126 \quad 1 \text{ КГ ВОДЫ ПРИ } t \approx +78^\circ\text{С}$$

$$2.127 \quad t_3 = t_2 + \frac{Q - Q_1}{c_B(m + M)}$$

$$2.128 \quad V \approx 662 \text{ СМ}^3$$

$$2.129 \quad t = 0^\circ\text{С}$$

$$2.130 \quad m_1 \approx 1,37 \text{ КГ}$$

$$2.131 \quad \approx 4963 \text{ РУБ.}$$

$$3.1 \quad r = 2q\sqrt{\frac{1}{12\pi\varepsilon_0 mg}} = 0,353 \text{ м}$$

$$3.2 \quad l = \frac{q}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0 mg}} \approx 0,6 \text{ м}$$

$$3.3 \quad T_{12} = \frac{q_1(4q_2 + q_3)}{16\pi\varepsilon_0 l^2}; \quad T_{23} = \frac{q_3(4q_2 + q_1)}{16\pi\varepsilon_0 l^2}$$

$$3.4 \quad F_k = \frac{ke^2}{r^2} = 9,2 \cdot 10^{-8} \text{ Н}; \quad v = e\sqrt{\frac{k}{m_e r}} = 2,25 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

$$3.5 \quad m = \frac{kq^2 \cos \alpha}{4gl^2 \sin^3 \alpha}$$

$$3.6 \quad q = 2L_1 \sqrt{\frac{\pi\varepsilon_0 mg(L - L_1)}{\sqrt{4l^2 - (L - L_1)^2}}}$$

$$3.7 \quad \rho = \frac{\varepsilon\rho_k}{\varepsilon - 1} = 1600 \text{ кг/м}^3$$

$$3.8 \quad \text{Сила } F = \frac{kQqd}{r^3} \text{ параллельна оси диполя}$$

$$3.9 \quad |Q| = \frac{|q|}{2} \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2} \right) \approx 0,957|q|$$

$$3.10 \quad N = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 l^2} \left(Q^2 - \frac{q^2}{3\sqrt{3}} \right)$$

$$3.11 \quad T = \frac{|qQ|}{8\pi^2\varepsilon_0 R^2}$$

$$3.12 \quad m = \frac{q^2}{32\pi\varepsilon_0 g R^2} \left(\frac{2R}{h} \right)^{3/2}$$

$$3.13 \quad q = \frac{2\varepsilon_0 mg \operatorname{tg} \alpha}{\sigma} = 1,18 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$$

$$3.14 \quad F = \frac{3q^2}{2\varepsilon_0 S}$$

$$3.15 \quad q = -7 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$$

$$3.16 \quad N = \frac{mg + qE}{\cos \alpha}, \quad W_K = \frac{(mg + qE)l \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha}{2}$$

$$3.17 \quad E_0 = \frac{\pi d^3 \varepsilon g}{6q} (\rho_{\text{ал}} - \rho_{\text{м}})$$

$$3.18 \quad q = \frac{4\pi r^3 g (\rho_1 - \rho_2) d}{3U}$$

$$3.19 \quad U = \frac{m_e a l}{|e|}$$

$$3.20 \quad v_2 : v_1 = 0,01$$

$$3.21 \quad U = 150 \text{ В}$$

$$3.22 \quad h = \frac{U_{\text{н}} l}{4dU} (l + 2L)$$

$$3.23 \quad h = \frac{dv^2 \cos^2 \alpha}{2Ue/m} = 5 \text{ мм}$$

$$3.24 \quad v = \sqrt{v_0^2 - \frac{2qQ}{\pi \varepsilon_0 m \sqrt{z^2 + a^2/2}}}, \quad v_{\min} = \sqrt{\frac{2\sqrt{2}qQ}{\pi \varepsilon_0 m a}}$$

$$3.25 \quad l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g + \frac{q}{m} E \cos \beta} \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha E q \sin \beta}{mg + E q \cos \beta} \right); \quad h = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2 \left(g + \frac{q}{m} E \cos \beta \right)}$$

$$3.26 \quad v = \sqrt{2gh - \frac{q^2}{2\pi \varepsilon_0 M h} (1 - \operatorname{tg} \alpha)}$$

$$3.27 \quad v = \sqrt{\frac{2|e|El}{3m}} = 4 \cdot 10^5 \text{ м/с}$$

$$3.28 \quad L = \frac{l}{1 - \frac{2\pi \varepsilon_0 l m_1 m_2 V_0^2}{(m_1 + m_2) q_1 |q_2|}} \approx 3,85 \text{ м}$$

$$3.29 \quad L = \frac{l}{1 + \frac{2\pi \varepsilon_0 l m_1 m_2 (V_1 + V_2)^2}{(m_1 + m_2) q_1 |q_2|}} \approx 1,32 \text{ м}$$

$$3.30 \quad \varphi = \arccos \left(1 - \frac{m\omega^2 l}{4qE} \right) = 60^\circ$$

$$3.31 \quad W_B = W_A + \frac{3}{2}mgR - \frac{FR}{2} = -4,0 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$$

$$3.32 \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\frac{q_1^2}{r_1^4} + \frac{q_2^2}{r_2^4}}$$

$$3.33 \quad q_3 = -\frac{3\sqrt{3}}{4}q = -5,2 \text{ мкКл}$$

$$3.34 \quad E = k \left(\sqrt{2} + \frac{1}{2} \right) \frac{q}{a^2}$$

$$3.35 \quad \alpha = \frac{q_1}{q_2} = \frac{7}{6} \sqrt{\frac{7}{3}} \approx 1,8$$

$$3.36 \quad b = \frac{a}{2\sqrt{\cos \frac{\pi}{8}}} \approx 0,5 \text{ м}$$

$$3.37 \quad E = k \frac{6q\sqrt{2}}{a^2}$$

$$3.38 \quad E = \frac{9kq}{a^2}$$

$$3.39 \quad q_3 = a \sqrt{4\pi\epsilon_0 \frac{F_{13}F_{23}}{F_{12}}} \approx 2,57 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$$

$$3.40 \quad k = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 1$$

$$3.41 \quad E_0 = \frac{q\sqrt{2}}{4\pi\epsilon_0 R^2} \approx 14,1 \text{ кВ}$$

$$3.42 \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Qh}{(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

$$3.47 \quad F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (2h)^2}; \quad E = \frac{qh}{2\pi\epsilon_0 (r^2 + h^2)^{3/2}}$$

$$3.48 \quad \text{При } r < R_1: E = 0; \quad \text{при } R_1 \leq r < R_2: E = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 r^2};$$

$$\text{при } r \geq R_2: E = \frac{Q_1 + Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$3.49 \quad \varphi_1 = \varphi_O = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r_1} + \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R} + \frac{q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_2},$$

$$\varphi_R = \frac{q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_2} + \frac{q_1 + Q}{4\pi\varepsilon_0 R},$$

$$\varphi_2 = \frac{q_1 + Q + q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_2}$$

$$3.50 \quad Q_1'' = -Q_2' = \frac{Q_1 - Q_2}{2} = -10^{-6} \text{ Кл}, \quad Q_1' = Q_1'' = \frac{Q_1 + Q_2}{2} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$3.51 \quad \varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

$$3.52 \quad \varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r} + \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}$$

$$3.53 \quad Q = -q \frac{R}{r}$$

$$3.60 \quad q_A = -q_B = -\frac{Qr}{2R}$$

$$3.66 \quad q = \frac{q_1 r_1 - q_2 r_2}{r_1 + r_2} \approx 1,67 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$3.67 \quad F' = F \cdot \frac{4r_1 r_2}{(r_1 + r_2)^2}$$

$$3.68 \quad \text{При } 0 < r \leq R_1: \varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{Q_1}{R_1} + \frac{Q_2}{R_2} \right);$$

$$\text{при } R_1 < r \leq R_2: \varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{Q_1}{r} + \frac{Q_2}{R_2} \right); \quad \text{при } r > R_2: \varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1 + Q_2}{r}$$

$$3.69 \quad q/Q = r/R; \quad \sigma_r/\sigma_R = R/r$$

$$3.70 \quad \varphi_O = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}; \quad \varphi_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{\sqrt{R^2 + h^2}}$$

$$3.71 \quad \Phi = \varphi \sqrt[3]{n^2}$$

$$3.72 \quad C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$$

$$3.73 \quad C = \frac{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

$$3.74 \quad C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$3.75 \quad C = C_1 + C_2$$

$$3.76 \quad W = \frac{q^2}{2C}$$

$$3.77 \quad U_1 = \frac{C_2 U}{C_1 + C_2}, \quad U_2 = \frac{C_1 U}{C_1 + C_2}$$

$$3.81 \quad q'_1 = q'_2 = C_1 \frac{q_1 + q_2}{C_1 + C_2}$$

$$3.82 \quad q'_1 = q'_2 = C_1 \frac{q_1 - q_2}{C_1 + C_2}$$

$$3.84 \quad U = \frac{U_1 S_1 + U_2 S_2}{S_1 + S_2}$$

$$3.85 \quad q = \varepsilon_0 \pi r^2 E = 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$3.86 \quad \alpha = \frac{1 + \varepsilon}{2\varepsilon} = \frac{2}{3}$$

$$3.87 \quad C = \frac{\varepsilon_0}{d} (\varepsilon S_1 + S_2)$$

$$3.88 \quad C = \frac{\varepsilon_0 S}{d - a}$$

$$3.89 \quad C = \frac{\varepsilon_0 S}{d - a + a/\varepsilon}$$

$$3.90 \quad C_x = C/2$$

$$3.91 \quad C = \frac{2C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$3.92 \quad C_0 = C$$

$$3.93 \quad C_0 = 2C$$

$$3.94 \quad C_0 = \frac{20}{11}C$$

$$3.95 \quad F = F_0 \frac{n^2}{(n-1)^2}$$

$$3.96 \quad \varphi_1 = \frac{C_1\varphi_1 + C_2\varphi_2 + C_3\varphi_3}{C_1 + C_2 + C_3}$$

$$3.97 \quad U = \mathcal{E} \frac{C_2C_3 - C_1C_4}{(C_1 + C_3)(C_2 + C_4)} = 0$$

$$3.99 \quad U = 12 \text{ В}$$

$$3.101 \quad \Delta W = \frac{CU^2}{2} \cdot \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} = -2,5 \cdot 10^{-8} \text{ Дж. Энергия уменьшается.}$$

$$3.102 \quad U = \frac{C_1C_3U}{C_3C_4 + (C_1 + C_2)(C_3 + C_4)} \approx 9,09 \text{ В}$$

$$3.103 \quad W = \frac{\varepsilon}{2}W_0 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$3.104 \quad A = \frac{1}{4}CU_0^2 (\varepsilon^2 - 1)$$

$$3.105 \quad Q = \frac{C_1C_2^2C_3\mathcal{E}^2}{2(C_1 + C_2)^2(C_1 + C_3)}$$

$$3.106 \quad \tau = \frac{\varepsilon_0mv^2}{2e^2nd} = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ с}$$

$$3.107 \quad q_2 = \mathcal{E} \frac{C_1C_2}{C_1 + C_2}$$

$$3.108 \quad q = C\mathcal{E}$$

$$3.109 \quad \varphi_A - \varphi_B = \mathcal{E} \left(\frac{C_4}{C_3 + C_4} - \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)$$

$$3.110 \quad \varphi_A - \varphi_B = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2, \quad \varphi_D - \varphi_E = \frac{\mathcal{E}_1C_1 - \mathcal{E}_2C_2}{C_1 + C_2}$$

$$3.111 \quad q_1 = C_1\mathcal{E}_1, \quad q_2 = C_2(\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2), \quad q_3 = C_3(\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3)$$

$$3.112 \quad U_1 = C_2 \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{C_1 + C_2}, \quad U_2 = C_1 \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{C_1 + C_2}$$

$$3.113 \quad q_1 = \frac{C_1(C_2 \mathcal{E}_1 + C_3 \mathcal{E}_1 - C_2 \mathcal{E}_2)}{C_1 + C_2 + C_3}$$

$$3.114 \quad q_1 = \frac{C}{4}(3\mathcal{E}_1 + 2\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3), \quad q_2 = \frac{C}{4}(\mathcal{E}_1 - 2\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3),$$

$$q_3 = \frac{C}{4}(\mathcal{E}_1 + 2\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3), \quad q_4 = \frac{C}{4}(\mathcal{E}_1 + 2\mathcal{E}_2 + 3\mathcal{E}_3)$$

$$3.115 \quad Q = 2C\mathcal{E}^2$$

$$3.116 \quad Q = \frac{C\mathcal{E}^2}{6}$$

$$3.117 \quad Q = 8C\mathcal{E}^2$$

$$3.118 \quad Q = \frac{9C\mathcal{E}^2}{2}$$

$$3.119 \quad Q = 18C\mathcal{E}^2$$

4.3 Соединительные провода должны делить длину кольца в отношении 1 : 9

$$4.4 \quad R_{AB} = \frac{r + R}{2}$$

4.5 На 5 частей

$$4.6 \quad \Delta I = \frac{UR}{(3R_1 + R)(5R_1 + 2R)} = 0,5 \text{ A}$$

$$4.7 \quad \text{а) } \frac{8}{13}R \quad \text{б) } \frac{3}{5}R \quad \text{в) } \frac{5}{7}R \quad \text{г) } \frac{3}{2}R \quad \text{д) } \frac{5}{4}R \quad \text{е) } \frac{5}{6}R$$

$$4.8 \quad r = 2R; \quad R_{AB} = 2R$$

$$4.9 \quad I_1 = I_2 = \frac{\mathcal{E}R_2}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3} = \frac{1}{11} \text{ A}$$

$$4.10 \quad r = \frac{R}{16} \cdot \frac{(4 - 3m)}{m - 1} = 0,5 \text{ Ом}$$

$$4.11 \quad U_{MN} = \frac{\mathcal{E}R}{3r + R} \approx 1,54 \text{ В}$$

$$4.12 \quad I_{K3} = \frac{I_1 I_2 (R_2 - R_1)}{I_2 R_2 - I_1 R_1} = 0,625 \text{ А}$$

$$4.13 \quad R_1 = \frac{\mathcal{E} - U}{U} R - r = 2,8 \text{ Ом}$$

$$4.14 \quad r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - I_1} = 4 \text{ Ом}$$

$$4.15 \quad I_x = 0,1 \text{ А}$$

$$4.16 \quad R_{\text{III}} = \frac{R_A}{n - 1}$$

$$4.17 \quad R_{\text{д}} = (n - 1)R_V$$

$$4.18 \quad U = \frac{\mathcal{E}}{\left(\frac{r}{r_v} + \frac{r}{R_1} + 1\right)} = 20 \text{ В}$$

$$4.19 \quad U_2 = 0,1 \text{ В}$$

$$4.20 \quad R_{\text{д}} = \frac{U_0}{ni_0} - r \approx 2 \cdot 10^5 \text{ Ом}; \quad R_{\text{III}} = \frac{r}{\frac{I_0}{ni_0} - 1} \approx 0,0626 \text{ Ом}$$

$$4.21 \quad R = 261 \text{ Ом}$$

$$4.22 \quad V_1 = \frac{\mathcal{E}}{1 + U_2/U_1} = 7,2 \text{ В}; \quad V_2 = \mathcal{E} - V_1 = 4,8 \text{ В}$$

$$4.23 \quad \delta = \frac{r}{r + R} \cdot 100\% \approx 0,25\%$$

$$4.24 \quad S = 1,75 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$$

$$4.25 \quad k = \frac{mn - 1}{m + n - 2}$$

$$4.26 \quad R = \frac{V_2}{I_2} - \frac{V_2 - V_1}{I_1} \approx 63,4 \text{ Ом}$$

4.27 Увеличатся в 4 раза

$$4.28 \quad m = \frac{W}{W_0} = \left(\frac{R_1}{r + R + R_1} \right)^2 = \frac{1}{16}$$

$$4.29 \quad \alpha = \frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} = 1,2$$

$$4.30 \quad I = \frac{\varepsilon_0(\varepsilon - 1) a}{d} \mathcal{E} v \approx 3,2 \cdot 10^{-7} \text{ А}$$

$$4.31 \quad q = 2wdSeRC_2 = 6,4 \cdot 10^{-13} \text{ Кл}$$

$$4.32 \quad I = \frac{\varepsilon_0 S \alpha \mathcal{E}}{d_0} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ А}$$

$$4.33 \quad Q = CIR_1 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$$

$$4.34 \quad q = \frac{C \mathcal{E} R}{2R + 3r} = 1,43 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}$$

$$4.35 \quad U_1 = \frac{2}{3} \mathcal{E} \frac{C_2}{C_1 + C_2}; \quad U_2 = \frac{2}{3} \mathcal{E} \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

$$4.36 \quad \varphi_a - \varphi_b = \frac{\mathcal{E}(C_1 R_1 - C_2 R_2)}{(R_1 + R_2 + r)(C_1 + C_2)}$$

$$4.37 \quad q_1 = \frac{2C \mathcal{E}}{9}; \quad q_2 = \frac{10C \mathcal{E}}{9}; \quad q_3 = \frac{4C \mathcal{E}}{3}$$

$$4.38 \quad q = \frac{11C \mathcal{E}}{6}$$

$$4.39 \quad r = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}; \quad \mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}_1 r_2 + \mathcal{E}_2 r_1}{r_1 + r_2}$$

$$4.40 \quad I = \frac{U - \mathcal{E}}{r} = 2 \text{ А}$$

$$4.41 \quad U_1 = 2,6 \text{ В}, \quad U_2 = 6,6 \text{ В}, \quad U_3 = 4,0 \text{ В}$$

$$4.42 \quad \mathcal{E} = 6,6 \text{ В}; r = 1,2 \text{ Ом}$$

$$4.43 \quad U_{AB} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 - I(r_1 + r_2 + R_1) = 1 \text{ В}$$

$$4.44 \quad I = \frac{R_1 - R}{R + 3R_1} \cdot \frac{U}{R} = 2,5 \text{ мА}$$

$$4.45 \quad R = \frac{\mathcal{E}_2 r_1}{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}$$

$$4.46 \quad I_1 \approx 0,23 \text{ А}, \quad I_2 \approx 0,44 \text{ А}, \quad I_3 \approx 0,65 \text{ А}, \quad I_4 \approx 0,42 \text{ А}, \quad \mathcal{E}_4 \approx 100 \text{ В}$$

$$4.47 \quad \mathcal{E}_2 = \frac{\mathcal{E}_1 R_2}{R_1} = 20 \text{ В}$$

$$4.48 \quad R = \frac{\mathcal{E}_1 r_2 - \mathcal{E}_2 r_1}{3(\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1)}$$

$$4.49 \quad r = R = 0,5 \text{ Ом}$$

$$4.50 \quad r_1 = \left(\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} - 1 \right) R_1 - R = 0,5 \text{ Ом}$$

$$4.51 \quad Q_2 = Q_1 \frac{r + R/2}{r + 2R} \approx 5,4 \text{ Кл}$$

$$4.52 \quad R = \frac{2\mathcal{E}_2 r}{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2} = 1 \text{ Ом}$$

$$4.53 \quad R = \frac{(R_1 + R_2)R_3 + 2R_1 R_2}{R_1 + R_2 + 2R_3}$$

$$4.54 \quad I = \frac{1}{2R + 3r} (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + 2\mathcal{E})$$

$$4.55 \quad U = I_2 R_2 = \frac{\mathcal{E}_2(R_1 + R) - \mathcal{E}_1 R}{R_1 R_2 + R(R_1 + R_2)} R_2$$

$$4.56 \quad U_2 = 8,6 \text{ В}$$

$$4.57 \quad \mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}_1 R_2 + \mathcal{E}_2 R_1}{R_1 + R_2}$$

4.58 1 A

4.62 $\mathcal{E} = \sqrt{W} (\sqrt{R_1} + \sqrt{R_2}) = 9 \text{ В}$

4.63 $P_{\text{н}} = \frac{(U_0 - U_1)U_1}{U_0^2} \cdot P \approx 434 \text{ Вт}$

4.64 $R = 2r = 2 \text{ Ом}$

4.65 $P = \mathcal{E}^2 \frac{R}{(R+r)^2}, \quad \eta = \frac{R}{R+r}$

4.66 $P_2 = I_2^2 \left(\frac{rI_1^2 + P_1}{I_1 I_2} - r \right) = 11 \text{ Вт}$

4.67 $M \approx 2,1 \cdot 10^3 \text{ кг}$

4.68 $N = \mathcal{E}I - \mathcal{E}I^2/I_0 = 8 \text{ Вт}$

4.69 $\eta = \left(1 - \frac{I}{I_0} \right) \cdot 100\% = 40\%$

4.70 $W = \left(\frac{\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2}{r_1 + r_2 + U^2/W} \right)^2 \cdot \frac{U^2}{W} = 4 \text{ Вт}$

4.71 $W_2' = \frac{W_1^2}{W_2} = 10 \text{ Вт}$

4.72 $W = \frac{(\mathcal{E}_2 r_1 - \mathcal{E}_1 r_2)(\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2)}{(r_1 - r_2)^2} = 24 \text{ Вт}$

4.73 $r = \left(\frac{100\%}{\eta} - 1 \right) \cdot R = \frac{1}{3} \text{ Ом}$

4.74 $P_2 = P_1 \frac{R_2 R_3^2}{R_1 (R_2 + R_3)^2} = 18 \text{ Вт}$

4.75 $\frac{W_2}{W_1} = 2 - \sqrt{2} \approx 0,586$

4.76 $\beta = \frac{R + r/2}{R + 2r} = 0,5$

$$4.77 \quad r = \frac{n-m}{n(n-1)} \cdot R_1 = \frac{1}{6} \text{ Ом}$$

$$4.78 \quad r = R \cdot \frac{2 - \sqrt{n}}{2\sqrt{n} - 1} \approx 0,316 \text{ Ом}$$

$$4.79 \quad Q_1 = \frac{CU^2}{2(1 + R_1/R_2)} \approx 4 \cdot 10^{-2} \text{ Дж}$$

$$4.80 \quad W = \frac{C_1 C_2 (U_1 - U_2)^2}{2(C_1 + C_2)} = 0,03 \text{ Дж}$$

$$4.81 \quad Q = \frac{C \mathcal{E}^2 R_2^2}{2(R_1 + R_2)^2} = 0,2 \text{ Дж}$$

$$4.82 \quad Q = 2C \mathcal{E}^2 = 3,6 \text{ Дж}$$

$$4.83 \quad \alpha = 2k - 1 \pm 2\sqrt{k^2 - k} = 3 \pm 2\sqrt{2}; \quad \alpha_1 \approx 0,17; \quad \alpha_2 \approx 5,83$$

$$4.84 \quad \alpha = \frac{P_2}{P_1} = 0,6$$

$$4.85 \quad \mathcal{E} = \sqrt{\frac{W_2 r}{2(2 - \sqrt{W_2/W_1})(\sqrt{W_2/W_1} - 1)}} = 12 \text{ В}$$

$$4.86 \quad R = 2r \cdot \frac{\sqrt{W_2/W_1} - 1}{2 - \sqrt{W_2/W_1}} = 1 \text{ Ом}$$

$$4.87 \quad R = r \cdot \frac{2 - \sqrt{W_2/W_1}}{2(\sqrt{W_2/W_1} - 1)} = 0,9 \text{ Ом}$$

$$4.88 \quad \mathcal{E} = \sqrt{\frac{W_2 r}{2(2 - \sqrt{W_2/W_1})(\sqrt{W_2/W_1} - 1)}} = 3 \text{ В}$$

$$4.89 \quad R = \frac{r_2 \sqrt{W_2} - r_1 \sqrt{W_1}}{\sqrt{W_1} - \sqrt{W_2}} = 0,3 \text{ Ом}$$

$$4.90 \quad \eta = 2 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{W_1}{W_2}}\right) \approx 33\%$$