

Задачник по физике

10-11 класс

ШКОЛА 1514, МОСКВА

2022-2023

Оглавление

10 класс	5
МКТ	6
Основы МКТ	6
Графики процессов	9
Газовые законы	10
Термодинамика	24
Работа и внутренняя энергия газа	24
Влажность	39
Уравнение теплового баланса	43
Электростатика	49
Закон Кулона	49
Напряженность поля. Принцип суперпозиции	55
Потенциал. Принцип суперпозиции	58
Конденсаторы	60
Цепи, содержащие конденсаторы и гальванические элементы	66
Постоянный ток	69
Закон Ома для однородного участка цепи	69
Закон Ома для полной цепи	71
Измерение тока и напряжения	72
Конденсаторы в цепях постоянного тока	74
Правила Кирхгофа	77
Работа и мощность тока. КПД	80

11 класс	86
Электродинамика	87
Магнетизм	87
Электромагнитная индукция	95
Индуктивность. ЭДС самоиндукции.	103
Механические колебания	112
Качественные вопросы	112
Типы задач	113
Задачи	114
Электромагнитные колебания	126
Качественные вопросы	126
Задачи	127
Волны. Волновая оптика	132
Задачи	132
Геометрическая оптика	139
Законы отражения	139
Плоскопараллельная пластинка	140
Законы преломления. Полное внутреннее отражение	141
Построение изображений в тонкой линзе	149
Формула тонкой линзы	150
Оптические системы. Глаз. Зрение	159
Квантовая физика и СТО	164
Качественные вопросы	164
Задачи	165
Специальная теория относительности	176
Сохранение релятивистского импульса и полной энергии	177
Справочные данные	178
Ответы	181

Введение

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, снабженные 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 обновлен 2022/09/01 в 00:30.

10 класс

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 изопроцессы с графиками.
13. Уравнение состояния идеального газа.

Основы МКТ

10.1.1 [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 $\rho = 790 \text{ кг/м}^3$).

10.1.2 [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 $\mu = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

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

10.1.4 [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?

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

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

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

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

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

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

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

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

10.1.13 [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 объема газа?

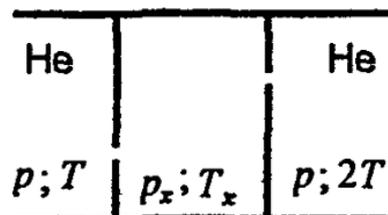
10.1.14 [Б-8.14] Закрытый сосуд заполнен водой при температуре $t = 27^\circ\text{C}$. Чему станет равно давление внутри сосуда, если взаимодействие между молекулами воды внезапно исчезнет?

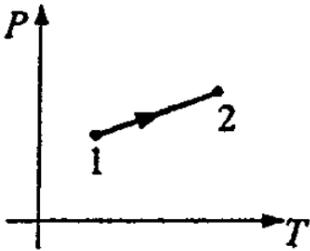
10.1.15 [Б-8.16] В сосуде объемом $V = 1 \text{ дм}^3$ содержится некоторый газ при температуре $T = 290 \text{ К}$. На сколько понизится давление газа в сосуде, если вследствие утечки газа из него выйдет $\Delta N = 10^{21}$ молекул?

10.1.16 [Б-8.15] В сосуде объемом $V = 1$ 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 объем изотермически увеличить в 5 раз? При нормальных условиях 1 см^3 газа содержит $n = 2,7 \cdot 10^{19}$ молекул.

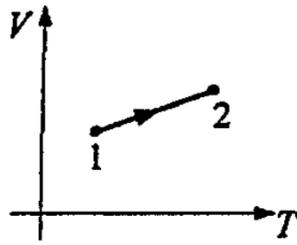
10.1.17 [Б-8.17] Для дальней космической связи используется спутник объемом $V = 100 \text{ м}^3$, наполненный воздухом при нормальных условиях. Метеорит пробивает в его корпусе отверстие площадью $S = 1 \text{ см}^2$. Через какое время давление внутри спутника изменится на $\varepsilon = 1\%$? Температуру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

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

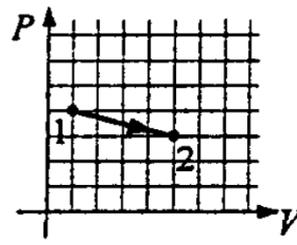




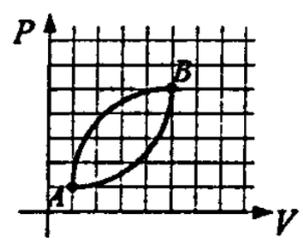
К задаче 10.1.19



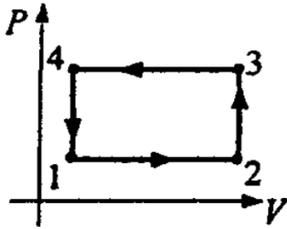
К задаче 10.1.20



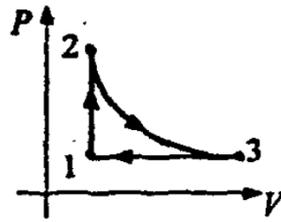
К задаче 10.1.21



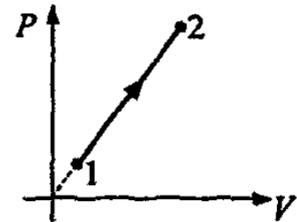
К задаче 10.1.22



К задаче 10.1.23



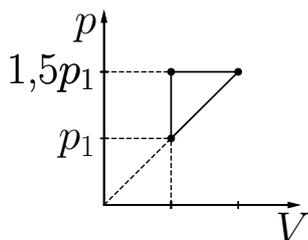
К задаче 10.1.24



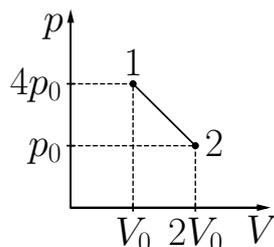
К задаче 10.1.25

Графики процессов

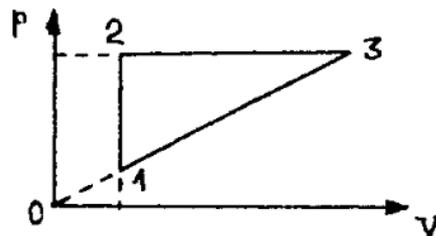
- ◇ **10.1.19** [Б-8.27] График изменения состояния идеального газа в осях T , P представляет собой прямую линию 1-2. Как изменялся объем газа в этом процессе?
- ◇ **10.1.20** [Б-8.28] График изменения состояния идеального газа в осях T , V представляет собой прямую линию 1-2. Как изменялось давление газа в этом процессе?
- ◇ **10.1.21** [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?
- ◇ **10.1.22** [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?
- ◇ **10.1.23** [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 .
- ◇ **10.1.24** [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 10.1.26



К задаче 10.1.27



К задаче 10.1.28

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

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

◇ **10.1.27** [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?

◇ **10.1.28** [М-2.1.5] На рисунке показан цикл, совершаемый над идеальным газом, причем 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.

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

Газовые законы

10.1.30 Какой объем занимает один моль газа при нормальных условиях?

10.1.31 [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.

10.1.32 [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.

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

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

10.1.35 [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 $\mu_2 = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

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

10.1.37 [Б-8.55] В сосуде объемом $V = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ 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 ее температура 300 К ?

10.1.38 [Б-8.56] Сосуд емкостью $2V$ 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 остается 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?

10.1.39 [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?

10.1.40 [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 нем сравнялась с температурой окружающей среды? Объем мяча $V = 4 \text{ л}$, объем воздухозаборной камеры насоса $v = 200 \text{ см}^3$, а атмосферное давление $p_0 = 0,1 \text{ МПа}$.

10.1.41 [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 .

10.1.42 [Б-8.22] Открытую стеклянную трубку длиной $\ell = 1$ 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.

10.1.43 [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 $\ell = 10$ см. Каково было начальное давление p газа в сосуде? Трение между стенками сосуда и поршнем отсутствует. Процесс считать изотермическим.

10.1.44 [Б-8.24] В запаянной с одного конца стеклянной трубке длиной $\ell = 0,9$ 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.

10.1.45 (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 объем запертого воздуха становится таким же, как и был в горизонтальном положении. Найдите d — высоту столбика ртути, если атмосферное давление равно 750 мм рт. ст.

10.1.46 [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?

10.1.47 [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 ?

10.1.48 [м-2.1.7] Два одинаковых сосуда, соединенные 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? Объем трубки не учитывать.

10.1.49 [м-2.1.8] В комнате объемом $V = 60$ м³ 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 $p_0 = 10^5$ Па? Молярная масса воздуха $M = 29$ г/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль · К).

10.1.50 [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 $L = 50$ см каждая. На какую величину Δt нужно повысить температуру газа в одной половине цилиндра, чтобы поршень сместился на расстояние $\ell = 20$ см при неизменной температуре газа во второй половине цилиндра?

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

10.1.52 [м-2.1.12] Сосуд, содержащий идеальный газ при температуре $t = 27^\circ\text{C}$, снабжен клапаном, открывающимся при перепаде давлений $p_k = 400$ 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 $p_0 = 100$ кПа.

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

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

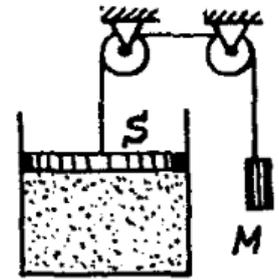
10.1.55 [м-2.1.15] В вертикально расположенном цилиндре постоянного сечения под невесомым подвижным поршнем находится воздух. На поршень помещают гирию массой $m = 10$ кг. На какую величину Δh переместится поршень, если температура воздуха в цилиндре поддерживается постоянной? Атмосферное давление $p_0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

10.1.56 [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.

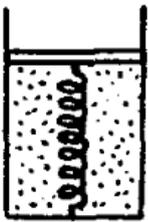
10.1.57 [м-2.1.17] Вертикально расположенный замкнутый цилиндрический сосуд высотой $H = 50$ см разделен подвижным поршнем весом $P = 110$ Н на две части, в каждой из которых содержится по $\nu = 0,0255$ моль идеального газа. При какой температуре T расстояние между поршнем и дном сосуда будет равно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

10.1.58 [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.

◇ **10.1.59** [м-2.1.19] В цилиндре под невесомым поршнем площадью $S = 100 \text{ см}^2$ находится 1 моль идеального газа при температуре $t_1 = 100^\circ\text{C}$. К поршню через два блока на невесомой нерастяжимой нити подвешен груз массой $M = 17 \text{ кг}$. На какую высоту Δh поднимется груз, если медленно охладить газ до температуры $t_2 = 0^\circ\text{C}$? Атмосферное давление $p_0 = 10^5 \text{ Па}$. Универсальная газовая постоянная $R = 8,3 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$, ускорение свободного падения принять $g = 10 \text{ м}/\text{с}^2$. Трением пренебречь.



◇ **10.1.60** [м-2.1.20] В вертикально расположенном цилиндре находится кислород массой $m = 64 \text{ г}$, отделенный от атмосферы поршнем, который соединен с дном цилиндра пружиной жесткостью $k = 8,3 \cdot 10^2 \text{ Н}/\text{м}$. При температуре $T_1 = 300 \text{ К}$ поршень располагается на расстоянии $h = 1 \text{ м}$ от дна цилиндра. До какой температуры T_2 надо нагреть кислород, чтобы поршень расположился на высоте $H = 1,5 \text{ м}$ от дна цилиндра? Универсальная газовая постоянная $R = 8,3 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$, молярная масса кислорода $M = 32 \text{ г}/\text{моль}$.



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

10.1.62 [м-2.1.22] В вертикальном закрытом цилиндре находится идеальный газ, разделенный на две части тяжелым поршнем, который может перемещаться без трения. В нижней части цилиндра масса газа вдвое больше, чем в верхней. При температуре T , одинаковой во всем цилиндре, объем V_1 нижней части цилиндра равен объему V_2 верхней части. Каким будет отношение объемов $\alpha = V_1/V_2$, если температуру газа увеличить в $n = 2$ раза?

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

10.1.64 [м-2.1.23] Вертикальная цилиндрическая трубка с запаянными концами разделена на две части тонким горизонтальным поршнем, способным перемещаться вдоль нее без трения. Верхняя часть трубки заполнена неоном, а нижняя — гелием, причем массы газов одинаковы. При некоторой температуре поршень находится точно посередине трубки. После того, как трубку нагрели, поршень переместился вверх и стал делить объем 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.

10.1.65 [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 объем 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.

10.1.66 (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%?

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

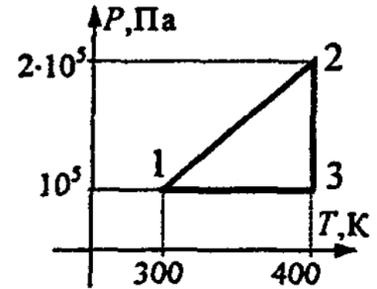
10.1.68 [Б-8.36] Нагревается или охлаждается идеальный газ в процессе расширения, если оно осуществляется по закону $pV^n = \text{const}$, причем $n > 0$?

10.1.69 [Б-8.37] Цилиндрический сосуд длиной $L = 1,5$ м, разделенный легким теплонепроницаемым поршнем, заполнен идеальным газом. В начальном состоянии объем 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.

10.1.70 [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 объем газа составил 0,9 от его первоначального значения? Трение между стенками цилиндра и поршнем отсутствует. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Н/м².

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

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



10.1.73 [Б-8.41] Баллон, содержащий азот N_2 под давлением $p = 15 \cdot 10^4 \text{ Па}$ 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?

10.1.74 [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?

10.1.75 [Б-8.43] Температура воздуха в помещении объемом 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 $\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

10.1.76 [Б-8.44] Компрессор захватывает при каждом такте нагнетания $V_{\text{к}} = 0,5 \text{ л}$ воздуха при давлении $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ и температуре $T_{\text{к}} = 276 \text{ К}$ и нагнетает его в автомобильный баллон объемом $V_6 = 0,5 \text{ м}^3$. 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 $F = 5 \text{ кН}$.

10.1.77 [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 .

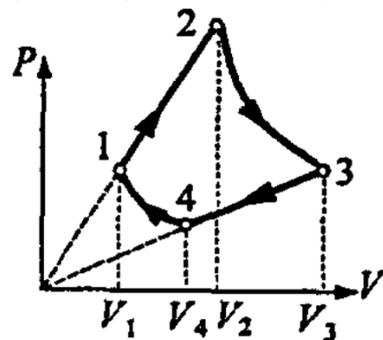
10.1.78 [Б-8.46] На сколько надо нагреть воздух внутри воздушного шара, чтобы он взлетел? Объем оболочки шара $V = 525 \text{ м}^3$, ее масса $m = 10 \text{ кг}$. Атмосферное давление $p_0 = 10^5 \text{ Па}$, температура окружающего воздуха $T = 300 \text{ К}$. Молярная масса воздуха $\mu = 29 \cdot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

10.1.79 [Б-8.47] Вертикально расположенный цилиндр, закрытый с обеих сторон, разделен тяжелым теплонепроницаемым поршнем на две части; обе части сосуда содержат одинаковое количество воздуха. При одинаковой температуре воздуха в обеих частях $T_1 = 400 \text{ К}$ 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 объемы верхней и нижней частей стали одинаковыми?

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

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

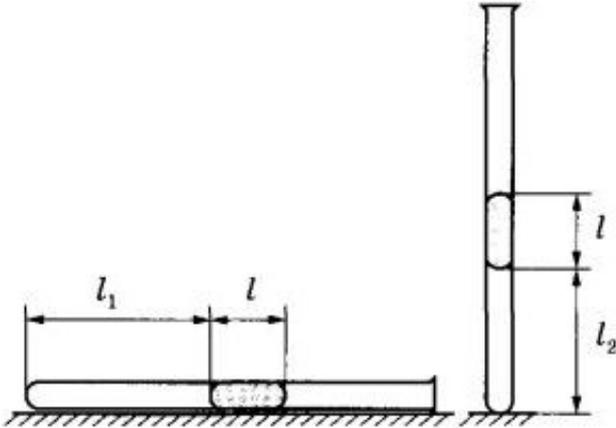
◇ **10.1.82** [Б-8.50] Один моль идеального газа участвует в некотором процессе, изображенном в координатах P, V . Продолжения отрезков прямых 1-2 и 3-4 проходят через начало координат, а кривые 1-4 и 2-3 являются изотермами. Изобразить этот процесс в координатах T, V ; найти объем V_3 , если известны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



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

10.1.84 [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.

◇ **10.1.85** [ЕГЭ] В запаянной с одного конца длинной горизонтальной стеклянной трубке постоянного сечения (см. рисунок) находится столбик воздуха длиной $l_1 = 30$ см, запертый 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.



духа длиной $l_1 = 30$ см, запертый 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.

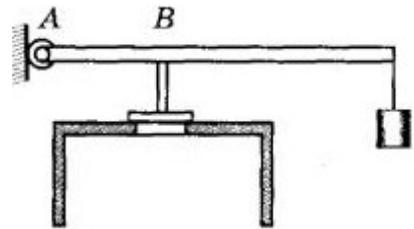
10.1.86 (7717) В цилиндре под поршнем находится некоторое количество идеального одноатомного газа, среднеквадратичная скорость молекул которого равна $u = 400$ м/с. В результате некоторого процесса объем газа увеличился на $\alpha = 80\%$, а давление уменьшилось на $\beta = 20\%$. Каким стало новое значение v среднеквадратичной скорости молекул этого газа?

10.1.87 (10269) Во сколько раз изменится подъемная 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 подъемная сила гирлянды равна 0,45 Н.

10.1.88 [ЕГЭ] 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°C , а давление 10^5 Па. Какова масса гелия в оболочке шара? Оболочка шара не оказывает сопротивления изменению объема шара, объем груза пренебрежимо мал по сравнению с объемом шара.

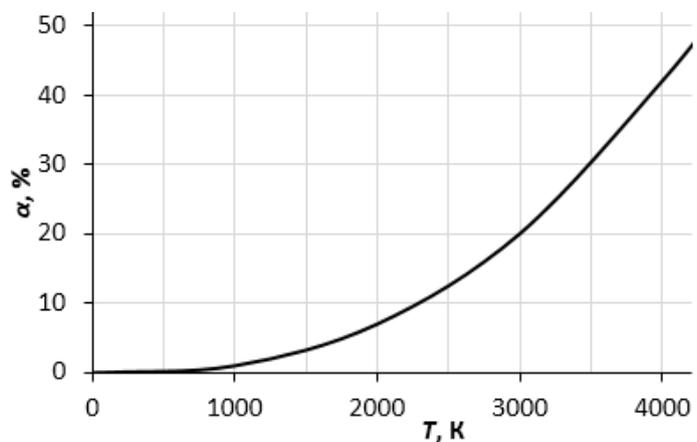
10.1.89 [ЕГЭ] Сферическую оболочку воздушного шара делают из материала, квадратный метр которого имеет массу 2 кг. Шар наполняют гелием при атмосферном давлении 10^5 Па. Определите минимальную массу оболочки, при которой шар начнет поднимать сам себя. Температура гелия и окружающего воздуха одинакова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

◇ **10.1.90** [ЕГЭ] В цилиндр объемом $0,5\text{ м}^3$ 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.

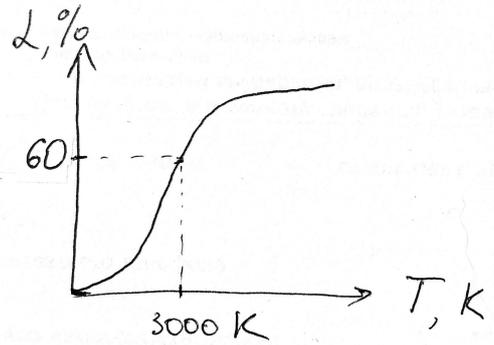


10.1.91 (2986) В горизонтально расположенной трубке постоянного сечения, запаянной с одного конца, помещен столбик ртути длиной $d = 15\text{ см}$, который отделяет воздух в трубке от атмосферы. Трубку расположили вертикально запаянным концом вниз и нагрели на 60 К . При этом объем, занимаемый воздухом, не изменился. Атмосферное давление 750 мм рт. ст. Определите температуру воздуха в лаборатории.

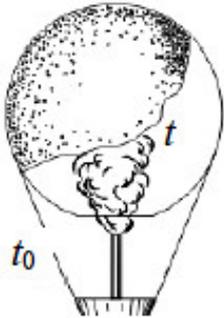
◇ **10.1.92** (9976) Объем $0,1\text{ литр}$ водорода нагревают при постоянном давлении от 300 до 3000 К . При высоких температурах молекулы водорода распадаются на отдельные атомы. На графике показана зависимость доли распавшихся молекул от температуры. Чему равен конечный объем газа?



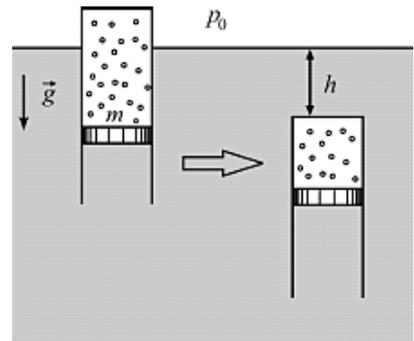
◇ **10.1.93** [ЕГЭ] Углекислый газ CO_2 находится в сосуде при температуре 300 К. При нагревании он разлагается в соответствии со следующим уравнением: $2\text{CO}_2 \leftrightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$. График зависимости количества распавшихся молекул CO_2 изображен на рисунке. Найдите парциальное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



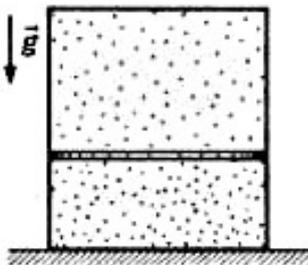
◇ **10.1.94** (2985) Воздушный шар, оболочка которого имеет массу $M = 145$ кг и объем $V = 230$ м³, наполняется при нормальном атмосферном давлении горячим воздухом, нагретым до температуры $t = 265$ °С. Определите максимальную температуру окружающего воздуха, при которой шар начнет подниматься. Оболочка шара нерастяжима и имеет в нижней части небольшое отверстие.



◇ **10.1.95** (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.

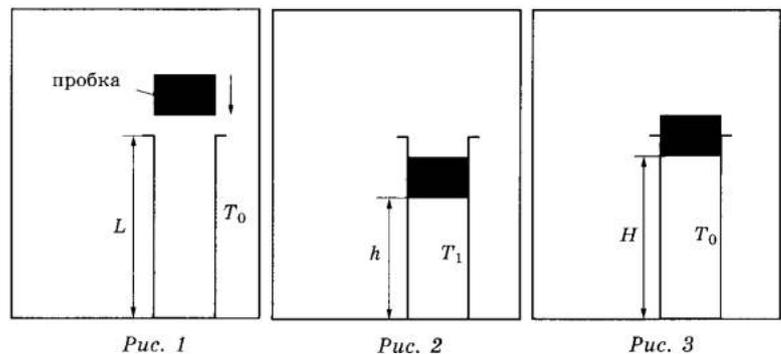


◇ **10.1.96** (2984) Вертикально расположенный замкнутый цилиндрический сосуд высотой 50 см разделен подвижным поршнем массой 11 кг на две части, в каждой из которых содержится одинаковое количество идеального газа при температуре 361 К. Сколько молей газа находится в каждой части цилиндра, если поршень находится на высоте 20 см от дна сосуда? Толщиной поршня пренебречь.



10.1.97 (3683) В высоком вертикальном цилиндрическом сосуде под тяжелым 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.

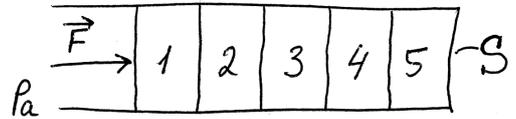
◇ **10.1.98** [ЕГЭ] В камере, заполненной азотом, при температуре $T_0 = 300$ К находится открытый цилиндрический сосуд (рис. 1). Высота сосуда $L = 50$ см. Сосуд плотно закрывают цилиндрической пробкой и охлаждают до температуры T_1 . В результате расстояние от дна сосуда до низа пробки становится $h = 40$ 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.



10.1.99 (11812) Два баллона объемами 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.

10.1.100 (7370) Гелий в количестве $\nu = 1/20$ моль находится в горизонтальном закрепленном цилиндре с поршнем, который может без трения перемещаться в цилиндре и вначале удерживается в равновесии силой $F_1 = 280$ Н. При этом среднеквадратичная скорость движения атомов гелия составляет $u_1 = 1400$ м/с. Затем гелий стали охлаждать, а поршень медленно сдвигать, постепенно уменьшая действующую на него силу. Когда эта сила равнялась $F_2 = 150$ Н, среднеквадратичная скорость движения атомов гелия стала равной $u_2 = 1200$ м/с. На какое расстояние $\Delta \ell$ при этом сдвинулся поршень?

◇ **10.1.101** (5983) Горизонтальный хорошо теплопроводящий цилиндр, разделенный 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 ее по модулю. Какого значения достигнет F , когда объем газа в самом правом, 5-м отсеке цилиндра, уменьшится в $n = 2$ раза? Процессы изменения состояния газов в отсеках цилиндра считать изотермическими.



10.1.102 (9104) В холодное зимнее время хозяева квартиры стали замерзать при температуре в комнате $T = 18^\circ\text{C}$ и, включив дополнительный обогреватель, добились повышения температуры на $\Delta T = 4^\circ\text{C}$. 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.

10.1.103 (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.?

10.1.104 (8556) Сосуд объемом 10 л содержит смесь водорода и гелия общей массой 2 г при температуре 27°C и давлении 200 кПа. Каково отношение массы водорода к массе гелия в смеси?

10.1.105 (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°C . Учитывая, что объем одного шара составляет 10 литров, найдите, сколько потребуется шаров для такого путешествия. Массой оболочки шаров и объемом мальчика пренебречь.

10.1.106* [Б-8.25] За сколько изотермических циклов работы поршневого насоса с объемом цилиндра V_1 можно откачать газ из стеклянного баллона объемом V до давления p , если вначале давление в баллоне было равно p_0 ?

Термодинамика

Определения

1. Внутренняя энергия газа.
- 2* Степень свободы i .
3. Первое начало термодинамики.
4. Молярные теплоемкости c_V , c_p , c_T , $c_{Q=0}$.
5. Второе начало термодинамики.
6. КПД тепловой машины.
7. КПД идеальной тепловой машины.
8. Относительная влажность.
9. Абсолютная влажность.
10. Динамическое равновесие.
11. Насыщенный пар.

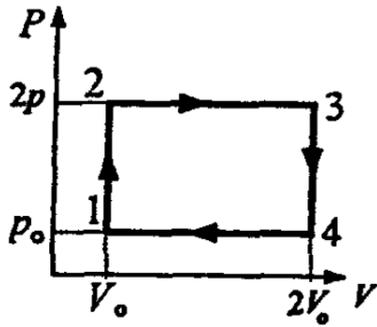
Работа и внутренняя энергия газа

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

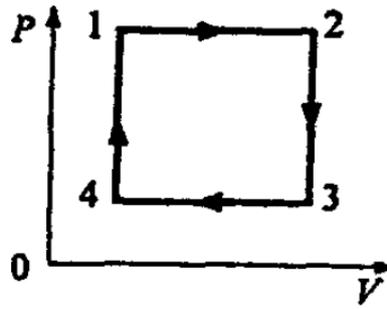
10.2.2 Сосуд с идеальным одноатомным газом закрыт поршнем массой m . Газ нагревают, при этом поршень поднимается на высоту Δh . Найти совершенную газом работу A' , изменение внутренней энергии газа ΔU и переданное газу количество теплоты Q . Атмосферным давлением пренебречь.

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

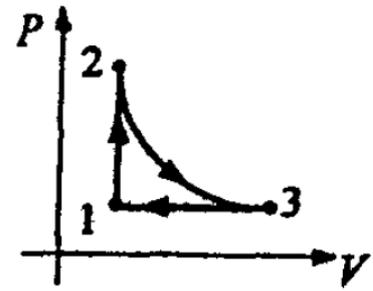
10.2.4 [Б-9.12] Идеальный газ, масса которого m и молярная масса μ , расширяется изобарно при некотором давлении. Начальная температура газа T_1 , конечная T_2 . Определить работу, совершаемую газом.



К задаче 10.2.7



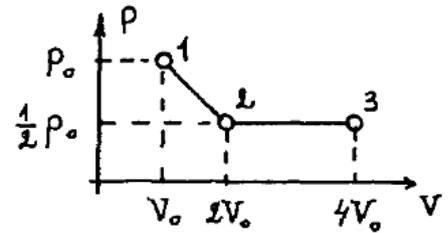
К задаче 10.2.8



К задаче 10.2.9

10.2.5 [М-2.2.2] Газ, взятый в количестве $\nu = 5$ моль, сначала нагревают при постоянном объеме 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).

◇ **10.2.6** [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 объем вдвое больше. Процесс 2-3 представляет собой изобарное расширение до объема $4V_0$.



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

◇ **10.2.8** [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 объем 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.

◇ **10.2.9** [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.

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

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

10.2.12 [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.

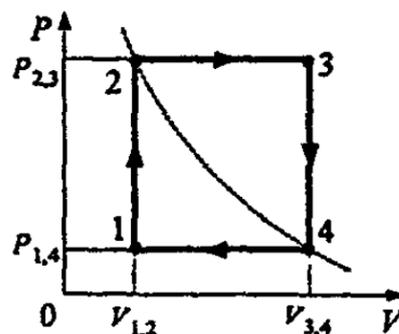
10.2.13 [Б-9.14] В цилиндре под поршнем находится некоторое количество газа, занимающего при температуре $t_1 = 27^\circ\text{C}$ и давлении $p = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ объем $V = 9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Какую работу A пришлось совершить, сжимая газ при постоянном давлении, если его температура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

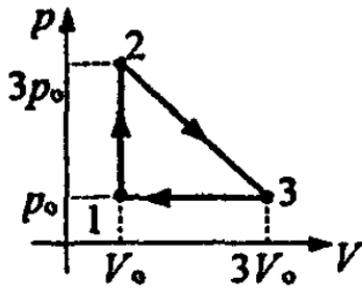
10.2.14 [Б-9.15] Моль идеального газа медленно нагревают так, что он переходит из состояния p_0, V_0 в состояние $2p_0, 2V_0$. Как при этом изменяется температура газа T в зависимости от его объема V , если зависимость давления газа от объема на графике изображается прямой линией? Определить работу A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

10.2.15 [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 объема от V_1 до V_2 . Поглощается или выделяется теплота в таком процессе?

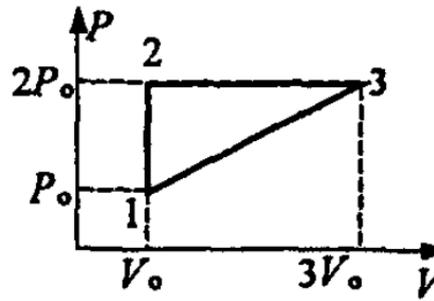
10.2.16 [Б-9.18] Масса m идеального газа, находящегося при температуре T , охлаждается изохорно так, что давление падает в n раз. Затем газ расширяется при постоянном давлении. В конечном состоянии его температура равна первоначальной. Молярная масса газа μ . Определить совершаемую газом работу.

◇ **10.2.17** [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.

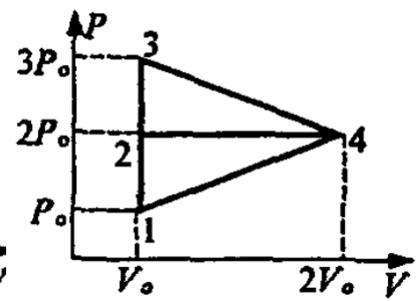




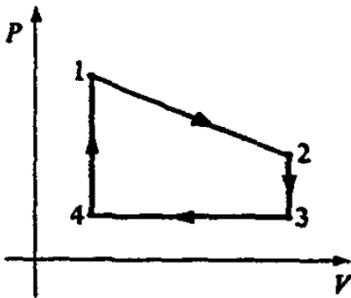
К задаче 10.2.21



К задаче 10.2.22

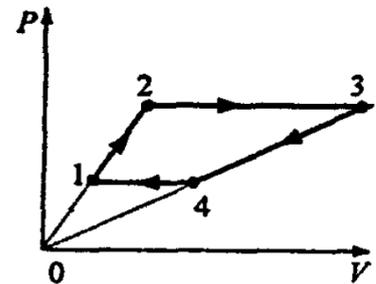


К задаче 10.2.23



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

◇ 10.2.19 [Б-9.21] Параметры идеального одноатомного газа, взятого в количестве 3 моля, изменились по изображенному 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.

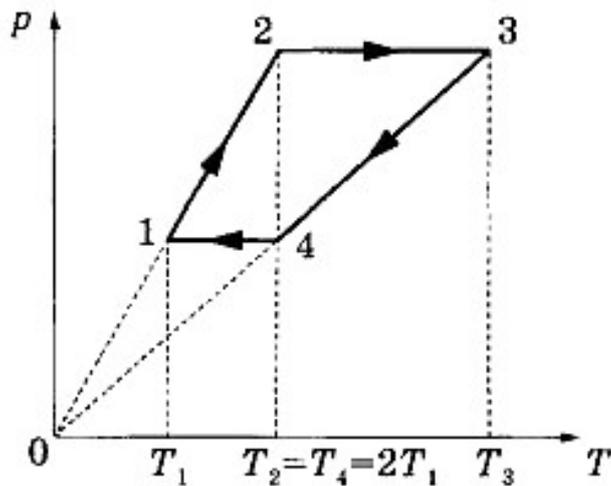


10.2.20 [Б-9.22] Тепловая машина имеет КПД $\eta = 40\%$. Каким станет КПД машины, если количество теплоты, потребляемое за цикл, увеличится на 20%, а количество теплоты, отдаваемое холодильнику, уменьшится на 10%?

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

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

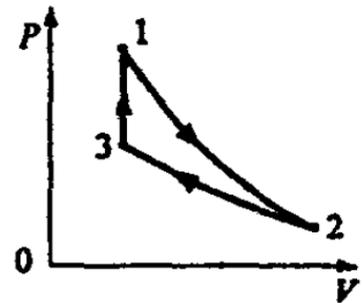
◇ 10.2.23 [Б-9.29] Определить отношение КПД циклов 1-2-4-1 и 2-3-4-2, совершаемых с идеальным одноатомным газом.



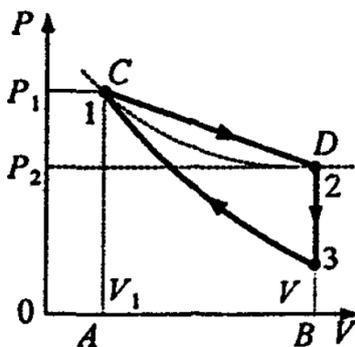
К задаче 10.2.24

◇ **10.2.24** [ЕГЭ] 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.

◇ **10.2.25** [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 .

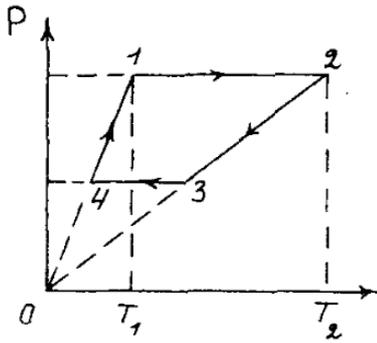


◇ **10.2.26** [Б-9.31] Над молем идеального одноатомного газа совершают замкнутый процесс, причем работа в нем $A = 2026$ Дж. Процесс состоит из участка 1-2, в котором давление является линейной функцией объема, изохоры 2-3 и процесса 3-1, в котором теплоемкость считается постоянной. Найти эту теплоемкость,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



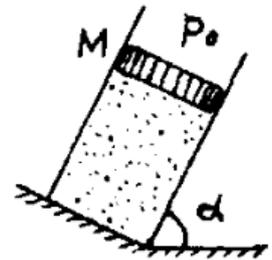
10.2.27 [Б-9.17] Моль идеального газа адиабатически сжали, уменьшив объем в 5 раз. Если газ перевести из начального в то же конечное состояние сначала по изобаре, а потом по изохоре, то потребуется подвести к газу $Q = 26$ кДж тепла. Наименьшая температура при этом равна $T_{\min} = 300$ К. Найти работу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

- ◇ **10.2.28** [м-2.2.4] С массой $m = 80$ г идеального газа, молярная масса которого $M = 28$ г/моль, совершается циклический процесс, изображенный на рисунке. (а) Какую работу A совершает такой двигатель за один цикл? (б) Чему равен КПД этого цикла? 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.

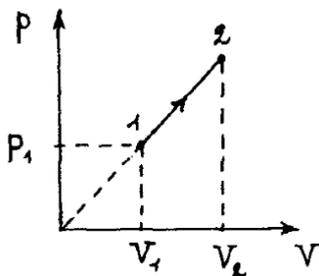
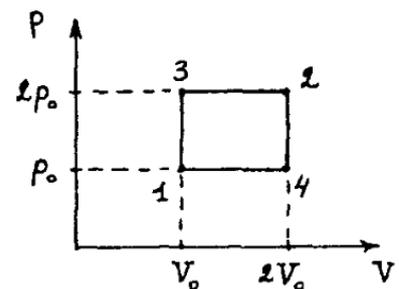


- 10.2.29** [м-2.2.5] В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем массой $m = 4$ кг, содержится один моль одноатомного газа. На какую величину Δh передвинется поршень, если газу сообщить количество тепла $Q = 9,8$ Дж? Массой газа по сравнению с массой поршня пренебречь,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

- ◇ **10.2.30** [м-2.2.6] В закрепленном 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.



- ◇ **10.2.31** [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?



- ◇ **10.2.32** [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 расчетах принять $p_1 = 500$ кПа, $V_1 = 2$ л, $V_2 = 4$ л.

10.2.33 [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?

10.2.34 [м-2.2.14] Теплоизолированный сосуд объемом $V = 500$ 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).

10.2.35 [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 объемом трубки и теплообменом с окружающей средой, найти температуру газа T , установившуюся в сосудах.

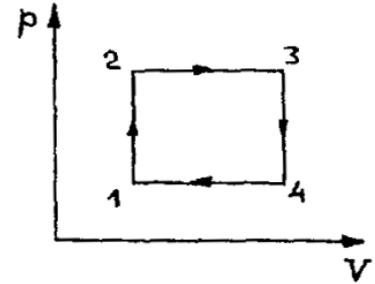
10.2.36 [м-2.2.13] Два сосуда, объемы которых V_1 и V_2 , содержали одинаковый одноатомный газ молярной массы M . В сосуде объемом V_1 масса газа равнялась m_1 при температуре T_1 , а в сосуде с объемом V_2 — соответственно m_2 при температуре T_2 . Сосуды соединяются трубкой. Пренебрегая объемом трубки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

10.2.37 [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, причем 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 объема $V_0 = 500$ см³. Цикл замыкается изохорой $V = V_0$. Какое количество тепла Q передано газу за цикл?

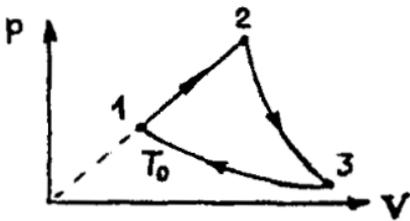
10.2.38 [м-2.2.15] В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде, площадь сечения которого $S = 23$ см², под поршнем весом $P = 10$ Н находится одноатомный газ. Расстояние между дном сосуда и поршнем $h = 30$ см. На внутренней стенке сосуда имеется стопорное кольцо, не позволяющее расстоянию между 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.

10.2.39 [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 объема $V_2 = 16$ л. Затем при постоянном объеме 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.

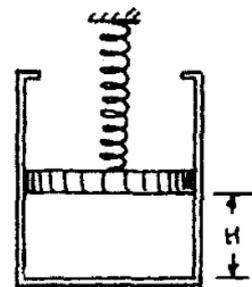
◇ **10.2.40** [м-2.2.17] С одним молем идеального газа проводят циклический процесс, состоящий из двух изохор и двух изобар. Найти работу A , совершаемую газом за цикл, если известно, что температура в состоянии 1 $T_1 = 300$ К, а в состояниях 2 и 4 температура одинакова и равна $T = 320$ К. Универсальная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



◇ **10.2.41** [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).

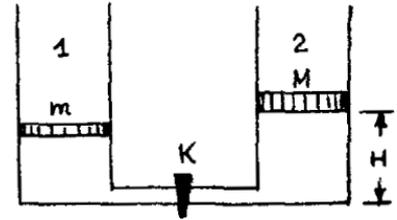


◇ **10.2.42** [м-2.2.19] В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде под поршнем весом $P = 20$ Н содержится идеальный одноатомный газ. Между поршнем и неподвижной опорой располагается пружина, жесткость которой $k = 200$ Н/м. Расстояние между поршнем и дном сосуда $H = 30$ см, при этом пружина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



10.2.43 [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).

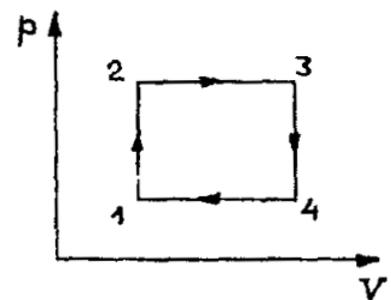
◇ **10.2.44** [м-2.2.20] В цилиндрическом сосуде 1 под поршнем массой $m = 5$ кг находится одноатомный идеальный газ. Сосуд 1 соединен трубкой, снабженной краном, с таким же сосудом 2, в котором под поршнем массой $M = 10$ кг находится такой же газ. Сосуды и трубка теплоизолированы. В начальном состоянии 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? Объемом трубки с краном пренебречь, атмосферное давление не учитывать.



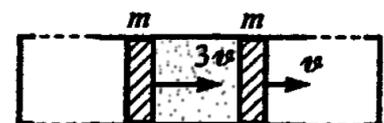
10.2.45 [м-2.2.22] В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде с площадью сечения $S = 2$ см² под поршнем массой $M = 4$ кг содержится идеальный одноатомный газ. Расстояние между поршнем и дном сосуда $h = 1$ м. Газу сообщили количество тепла $\Delta Q = 126$ Дж. Во сколько раз α изменится среднеквадратичная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

10.2.46 [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?

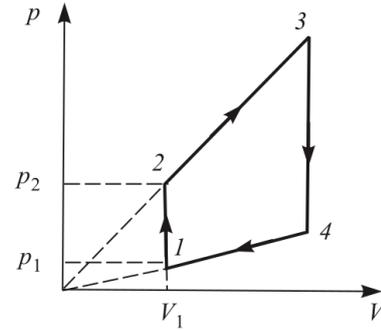
◇ **10.2.47** [м-2.2.24] С одним молем идеального газа проводят циклический процесс, состоящий из двух изохор и двух изобар. Найти коэффициент полезного действия цикла η , если известно, что в состоянии 1 температура $T_1 = 256$ К, в состоянии 3 температура $T_3 = 625$ К, а в состояниях 2 и 4 температура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



◇ **10.2.48** [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.



◇ **10.2.49** [М₂-2.2.4] Найти работу, совершенную идеальным газом за цикл (см. рисунок). Объем $V_1 = 10$ л, давление $p_1 = 10^4$ Па. Давление p_2 в $k = 4$ раза превышает p_1 . Температура в точках 2 и 4 одинакова.



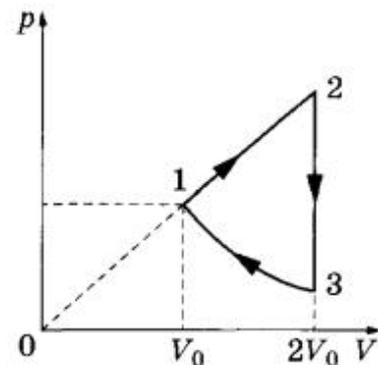
10.2.50 [М-2.2.7] Идеальный газ переводят из состояния p_1, V_1 в состояние p_2, V_2 двумя разными способами. В первый раз переход совершается сначала по изобаре, а затем по изохоре, а во второй — сначала по изохоре, а затем по изобаре. Найти разность количеств теплоты ΔQ , выделившихся при этих переходах.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

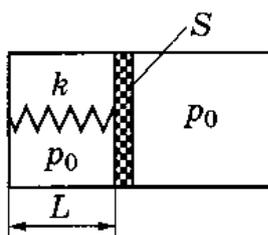
10.2.51 [Б-9.30] В сосуде с теплонепроницаемыми стенками объемом $V = 5,6$ л находится кислород при температуре $t_1 = 85^\circ\text{C}$ и давлении $p = 2,5 \cdot 10^5$ Па. Для нагрева этого газа до $t_2 = 87^\circ\text{C}$ требуется количество теплоты $Q = 21$ Дж. Какова удельная теплоемкость кислорода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

10.2.52 [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 теплоемкость при постоянном объеме c_V , средняя молярная масса M . Теплоемкостью сосуда пренебречь.

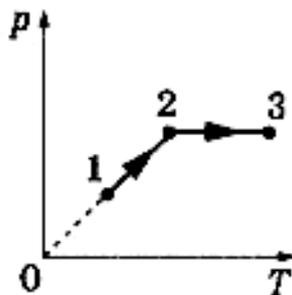
10.2.53 [Б-9.32] Один моль идеального одноатомного газа расширяется по политропическому закону $pV^3 = \text{const}$ от объема V_1 и давления p_1 до объема V_2 . Определить изменение внутренней энергии газа.

◇ **10.2.54** [ЕГЭ] 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.

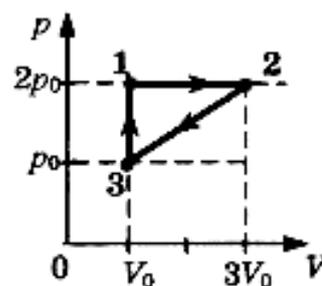




К задаче 10.2.55



К задаче 10.2.56



К задаче 10.2.57

◇ **10.2.55** [ЕГЭ] В горизонтальном цилиндре с гладкими стенками под массивным поршнем с площадью S находится одноатомный идеальный газ. Поршень соединен с основанием цилиндра пружиной с жесткостью 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 ?

◇ **10.2.56** [ЕГЭ] 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?

◇ **10.2.57** [ЕГЭ] 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?

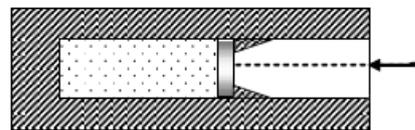
10.2.58 [ЕГЭ] Один моль аргона, находящийся в цилиндре при температуре $T_1 = 600$ К и давлении $p_1 = 4 \cdot 10^5$ Па, расширяется и одновременно охлаждается так, что его температура при расширении обратно пропорциональна объему. Конечное давление газа $p_2 = 10^5$ Па. Какое количество теплоты газ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

10.2.59 [ЕГЭ] В сосуде объемом $V = 0,02$ м³ с жесткими 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.

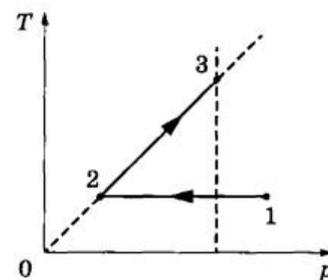
10.2.60 [ЕГЭ] В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом поршнем, находится одноатомный идеальный газ. Первоначальное давление газа $p_1 = 4 \cdot 10^5$ Па. Расстояние от дна сосуда до поршня равно L . Площадь поперечного сечения поршня $S = 25$ см². В результате медленного нагревания газ получил 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.

10.2.61 [ЕГЭ] С разреженным 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.

◇ **10.2.62** (9042) В вакууме закреплен горизонтальный цилиндр (см. рисунок). В цилиндре находится гелий, запертый 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 нем. 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.



◇ **10.2.63** (10440) Идеальный одноатомный газ совершает процесс 1–2–3 (см. рисунок). В процессе 1–2 температура газа постоянна и равна 300 К. Давление в процессе 2–3 выросло в 3 раза. Какое количество теплоты получил газ на участке 2–3? Количество вещества газа равно 1 моль.



10.2.64 (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. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия воздуха в сосуде? Воздух считать идеальным газом.

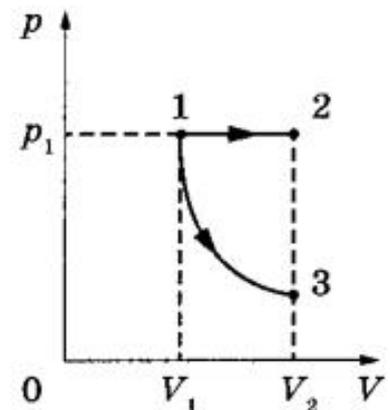
10.2.65 (10202) В гладком закрепленном теплоизолированном горизонтальном цилиндре находится 1 моль идеального одноатомного газа (гелия) при температуре $T_1 = 200$ К, отделенный от окружающей среды — вакуума — теплоизолированным поршнем массой $m = 3$ кг. Вначале поршень удерживали на месте, а затем 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.

10.2.66 (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.

10.2.67 (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 объему, 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.

10.2.68 (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 объему. 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?

◇ **10.2.69** [ЕГЭ] 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 объема 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?



10.2.70 (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 — объем газа. Какую работу A совершил газ в этом процессе?

10.2.71 (8024) Два одинаковых теплоизолированных сосуда соединены короткой трубкой с краном. Объем 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 .

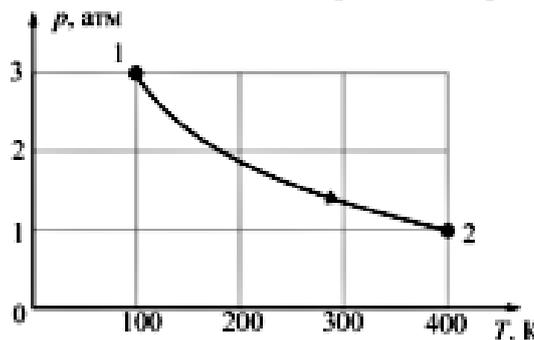
10.2.72 (4217) В теплоизолированном цилиндре, разделенном на две части тонким невесомым теплопроводящим поршнем, находится идеальный одноатомный газ. В начальный момент времени поршень закреплен, а параметры состояния газа — давление, объем и температура — в одной части цилиндра равны $p_1 = 1$ атм, $V_1 = 1$ 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? Теплоемкостями цилиндра и поршня можно пренебречь.

10.2.73 (3814) Теплоизолированный цилиндр разделен 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; объемы, занимаемые газами, одинаковы, а поршень находится в равновесии. Поршень медленно перемещается без трения. Теплоемкость поршня и цилиндра пренебрежимо мала. Чему равно отношение внутренней энергии гелия после установления теплового равновесия к его энергии в начальный момент?

10.2.74 (6069) В цилиндре под поршнем находится 1 моль гелия в объеме V_1 под некоторым давлением p , причем среднеквадратичная скорость движения атомов гелия равна $u_1 = 500$ м/с. Затем объем 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 остается постоянным (u — среднеквадратичная скорость газа, V — занимаемый им объем). Какое количество теплоты Q было подведено к гелию в этом процессе?

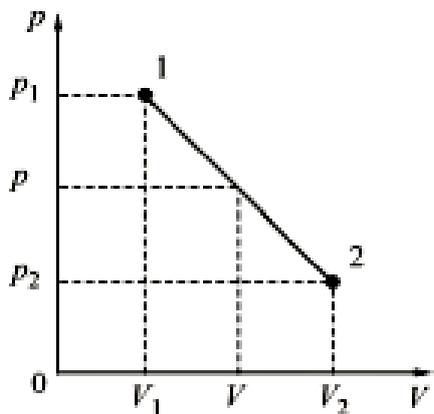
10.2.75 (6782) Теплоизолированный сосуд объемом $V = 4 \text{ м}^3$ разделен пористой перегородкой на две равные части. В начальный момент в одной части сосуда находится 1 моль гелия, а в другой 1 моль неона. Атомы гелия могут свободно проникать через перегородку, а атомы неона — нет. Начальная температура гелия равна температуре неона: $T = 400 \text{ К}$. Определите внутреннюю энергию газа в той части сосуда, где первоначально находился неон, после установления равновесия в системе.

◇ **10.2.76** (9166) С одним молем гелия, находящегося в цилиндре под поршнем, провели процесс 1–2, изображенный 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.



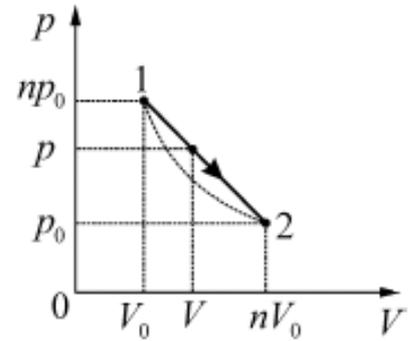
10.2.77 (6667) В гладком вертикальном цилиндре под подвижным поршнем массой $M = 25 \text{ кг}$ и площадью $S = 500 \text{ см}^2$ находится идеальный одноатомный газ при температуре $T = 300 \text{ К}$. Поршень в равновесии располагается на высоте $h = 50 \text{ см}$ над дном цилиндра. После сообщения газу некоторого количества теплоты поршень приподнялся, а газ нагрелся. Найдите удельную теплоемкость газа в данном процессе. Давление в окружающей цилиндр среде равно $p_0 = 10^4 \text{ Па}$, масса газа в цилиндре $m = 0,5 \text{ г}$.

◇ **10.2.78*** (8960) С некоторым количеством идеального газа проводят процесс 1–2, для которого график зависимости давления от объема представляет собой на pV -диаграмме прямую линию (см. рисунок). Параметры начального и конечного состояний процесса: $p_1 = 3 \text{ атм}$, $V_1 = 1 \text{ л}$, $p_2 = 1 \text{ атм}$, $V_2 = 4 \text{ л}$. Какой объем V_M соответствует максимальной температуре газа в данном процессе?



Процесс 1–2, для которого график зависимости давления от объема представляет собой на pV -диаграмме прямую линию (см. рисунок). Параметры начального и конечного состояний процесса: $p_1 = 3 \text{ атм}$, $V_1 = 1 \text{ л}$, $p_2 = 1 \text{ атм}$, $V_2 = 4 \text{ л}$. Какой объем V_M соответствует максимальной температуре газа в данном процессе?

◇ **10.2.79*** (7806) Процесс 1–2 с идеальным газом, изображенный 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 объемы) приведены на рисунке, $n = 5$.



Влажность

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

10.2.81 [м-2.3.2] В комнате при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ 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 $t = 20^\circ\text{C}$ равна $\rho_H = 1,73 \cdot 10^{-2} \text{ кг}/\text{м}^3$.

10.2.82 [м-2.3.4] Воздух в комнате объемом $V = 50 \text{ м}^3$ имеет температуру $t = 27^\circ\text{C}$ 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 $t = 27^\circ\text{C}$ равно $p_H = 3565 \text{ Па}$, универсальная газовая постоянная $R = 8,3 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$, молярная масса воды $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ г}/\text{моль}$.

10.2.83 [м-2.3.3] В комнате при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ 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 $t = 20^\circ\text{C}$ равна $\rho_H = 1,73 \cdot 10^{-2} \text{ кг}/\text{м}^3$.

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

10.2.85 [м-2.3.7] Определить массу воды m , которую теряет человек за $\tau = 1$ 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 $V = 2,5$ л воздуха. Температуру вдыхаемого и выдыхаемого воздуха принять $t = 36^\circ\text{C}$; давление насыщенного водяного пара при этой температуре $p_n = 5,9$ кПа. Молярная масса воды $M = 18$ г/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль \cdot К).

10.2.86 [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 $p_n = 10^5$ Па. Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с².

10.2.87 [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.

10.2.88 [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?

10.2.89 [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.

10.2.90 [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 $p_n = 2,3$ кПа. Пар считать идеальным газом.

10.2.91 [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.

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

10.2.93 [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.

10.2.94 [Б-10.15] Шар-зонд объемом $V = 1$ м³ заполняют воздухом с температурой $T = 373$ К и давлением $p_0 = 10^5$ 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 $\mu = 29$ г/моль. Изменением температуры от высоты пренебречь.

10.2.95 (5744) В цилиндре объемом $V = 10$ л под поршнем находится воздух с относительной влажностью $f = 60\%$ при комнатной температуре $T = 293$ К под давлением $p = 1$ 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 $p_{\text{н}} = 17,5$ мм рт. ст.

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

10.2.97 [Б-10.17] В закрытом помещении объемом $V = 60$ м³ при температуре $t = 18^\circ\text{C}$ относительная влажность воздуха $\varphi = 50\%$. Сколько воды необходимо испарить, чтобы в этом объеме водяные пары при той же температуре стали насыщенными? При 18°C давление насыщенного пара $p_{\text{н}} = 2063$ Па, $R = 8,31 \cdot 10^3$ Дж/(моль · К).

10.2.98 [Б-10.18] В закрытом сосуде объемом $V = 1$ л находятся воздух и водяной пар при температуре 100°C . 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.

10.2.99 (7910) В начальный момент времени газ имел давление $p_1 = 1,8 \cdot 10^5$ Па при $t = 100^\circ\text{C}$. Затем газ изотермически сжали в $k = 4$ раз. В результате давление газа увеличилось в 3 раза. Определите относительную влажность в начальный момент времени.

10.2.100 [ЕГЭ] 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.

10.2.101 [ДВИ] В закрытом с обоих концов и откачанном цилиндрическом сосуде объемом $V = 2$ л может свободно перемещаться невесомый тонкий поршень. В сосуд с одной стороны от поршня ввели $m_1 = 2$ г воды, а с другой стороны $m_2 = 1$ г азота. Какую часть x объема цилиндра будет занимать азот при температуре $t = 100^\circ\text{C}$ в обеих частях сосуда? Молярные массы воды и азота равны соответственно $\mu_1 = 18$ г/моль и $\mu_2 = 28$ г/моль.

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

10.2.103 (6911) Два сосуда объемами 20 л и 30 л, соединенные 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?

10.2.104 (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

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

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

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

10.2.108 [Б-9.3] В сосуд, содержащий $m_1 = 10 \text{ кг}$ воды при температуре $t_1 = 10^\circ\text{C}$, положили кусок льда, охлажденного 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 теплоемкость воды $c_1 = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, льда $c_2 = 2,1 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 0,33 \text{ МДж}/\text{кг}$.

10.2.109 [Б-9.4] В латунный калориметр массой $m_k = 128$ г, содержащий $m_b = 240$ г воды при $t_0 = 8,4^\circ\text{C}$, опущено металлическое тело массой $m_t = 192$ г, нагретое до $t_t = 100^\circ\text{C}$. Определить удельную теплоемкость испытуемого тела c , если в калориметре установилась температура $\theta = 21,6^\circ\text{C}$. Удельная теплоемкость воды $c_b = 4200$ Дж/(кг · К), латуни $c_l = 380$ Дж/(кг · К).

10.2.110 [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, введенного 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 теплоемкость воды $c_1 = 4,2$ кДж/(кг · К).

10.2.111 [Б-9.6] В термосе находится вода при температуре 0°C . Масса воды $M = 100$ г. Выкачивая из термоса воздух, воду замораживают посредством ее 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.

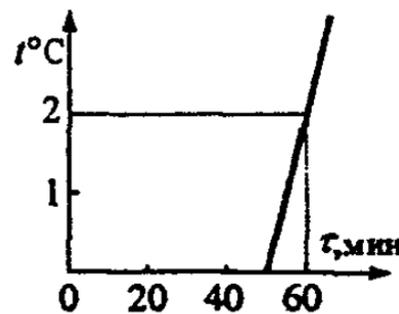
10.2.112 [Б-9.7] В калориметр, содержащий 0,4 кг воды, при температуре 20°C поместили 0,6 кг льда при температуре -10°C . Какая температура установится в калориметре? Какова будет масса воды и льда? Удельная теплоемкость воды 4,2 кДж/(кг · К), льда — 2,1 кДж/(кг · К). Удельная теплота плавления льда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

10.2.113 [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 теплоемкость 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.

10.2.114 (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 калориметром пренебречь.

10.2.115 [Б-9.10] В герметически закрытом сосуде в воде плавает кусок льда массой $M = 0,1$ кг, в который вмерзла 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.

◇ **10.2.116** [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 теплоемкость 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; теплоемкостью ведра пренебречь.



10.2.117 [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 теплоемкость воды $c = 4,2$ кДж/(кг · К), удельная теплота парообразования $r = 2,3$ МДж/кг. Температура кипения воды $t_{\text{к}} = 100^\circ\text{C}$. Теплоемкостью чайника пренебречь.

10.2.118 [М-2.3.9] В калориметре находилось $m_1 = 400$ г воды при температуре $t_1 = 5^\circ\text{C}$. К ней долили еще $m_2 = 200$ 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 теплоемкости 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.

10.2.119 [М-2.3.10] На примус поставили открытую кастрюлю с водой при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ и сняли ее через $\tau = 40$ мин. Найти объем V_1 оставшейся в кастрюле воды, если начальный объем 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) $\eta = 42\%$, теплоемкость 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 $t_{\text{к}} = 100^\circ\text{C}$. Теплоемкостью кастрюли пренебречь.

10.2.120 [м-2.3.11] Нагретый металлический порошок высыпают в жидкость массой m , находящуюся при температуре T_1 . Масса порошка равна M , его удельная теплоемкость c . Когда установилось тепловое равновесие, оказалось, что температура системы равна T_2 и масса жидкости уменьшилась на Δm . Удельная теплоемкость жидкости равна c_1 , ее удельная теплота парообразования r , температура кипения T_k . Найти температуру T_3 , которую имел нагретый порошок.

10.2.121 [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 еще через $\tau = 166$ мин олово полностью расплавилось. Найти удельную теплоемкость олова c , если его температура плавления $t_{\text{пл}} = 232^\circ\text{C}$, а удельная теплота плавления $\lambda = 58,5$ Дж/кг. Теплоемкостью тигля и потерями тепла пренебречь.

10.2.122 [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 теплоемкость воды $c = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К), плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³.

10.2.123 [ЕГЭ] 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 теплоемкостью калориметра пренебречь.

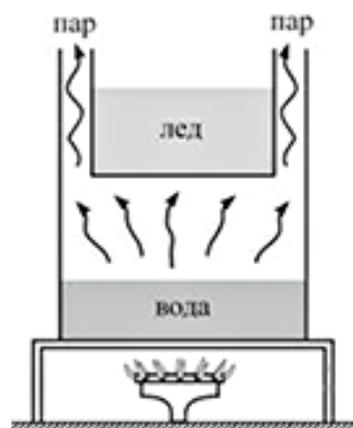
10.2.124 [м-2.3.14] В теплоизолированном сосуде в начальный момент находится одноатомный газ при температуре $T_0 = 300$ К и кусочек железа массы $m = 0,2$ кг, нагретый до температуры $T_1 = 500$ К. Начальное давление газа $p_0 = 10^5$ Па, его объем $V_0 = 1000$ см³, удельная теплоемкость железа $c =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

10.2.125 (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?

10.2.126 [м-2.3.15] Толстостенный сосуд массой $m = 1$ кг изготовлен из материала, удельная теплоемкость которого $c = 100$ Дж/(кг · К). Сосуд содержит $\nu = 2$ моля одноатомного газа, объем которого $V = 500$ см³ остается неизменным. Системе сообщают количество тепла $Q = 300$ Дж. Найти изменение давления газа Δp . Универсальную газовую постоянную принять $R = 8,3$ Дж/(моль · К).

10.2.127 [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 счет рассеяния в окружающую среду пропорциональны времени? Удельная теплоемкость воды $c = 4,19 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К).

◇ **10.2.128** (3688) На газовую плиту поставили сосуд, в котором находится 0,5 литра воды при температуре $+20^\circ\text{C}$. В верхней части сосуда имеется емкость с 1 кг льда при температуре 0°C (см. рисунок). Пары воды могут выходить из сосуда, обтекая емкость со льдом. Что и при какой температуре окажется в верхней емкости к моменту, когда вся вода в сосуде испарится? Считать, что на нагревание емкости расходуется 50% теплоты, получаемой водой в сосуде. Испарением воды при температуре ниже $+100^\circ\text{C}$, а также теплоемкостью стенок сосуда и емкости пренебречь.



10.2.129 (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 еще $M = 102$ 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 теплоемкостью калориметра можно пренебречь.

10.2.130 (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 объем 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 ? Теплоемкостями 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.

10.2.131 (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.

10.2.132 (6749) В калориметре находится лед 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 теплоемкостью калориметра пренебречь.

10.2.133 (3670) В 2012 году зима в Подмосковье 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 МДж/кг, молярная масса метана равна 16 г/моль. Можно считать, что объем потребленного газа измеряется счетчиком при нормальных условиях.

Электростатика

Определения и теория

1. Закон Кулона. Связь k и ε_0 ; их единицы измерения.
2. Напряженность 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, объемная) плотность заряда σ (λ , ρ).
7. Поток вектора напряженности. 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

10.3.1 [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.

10.3.2 [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.

10.3.3 [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 .

10.3.4 [Б-11.3] Определить силу взаимодействия F_k электрона с ядром в атоме водорода. Рассчитать скорость вращения v электрона по орбите, считая ее 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.

10.3.5 [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 сообщен заряд $2q$, шарики разошлись на угол 2α . Найти массу m шариков, если длина нити ℓ .

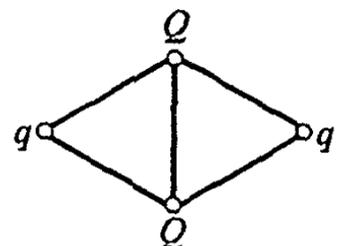
10.3.6 [М-3.1.6] К нитям длиной ℓ , точки подвеса которых находятся на одном уровне на расстоянии L друг от друга, подвешены два одинаковых маленьких шарика массами m каждый. При сообщении им одинаковых по величине разноименных зарядов шарики сблизились до расстояния L_1 . Определить величину сообщенных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

10.3.7 [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.

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

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

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



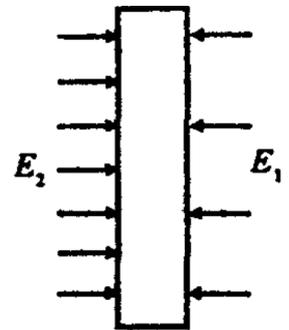
10.3.11* [Б-11.9] Тонкое проволочное кольцо радиусом R несет электрический заряд q . В центре кольца расположен одноименный с q заряд Q , причем $Q > q$. Определить силу, растягивающую кольцо.

10.3.12* [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 ее поверхности. Найти массу второго тела, если известно, что в состоянии равновесия оно находится на высоте h от нижней точки сферы.

10.3.13 [Б-11.16] На вертикальной пластине больших размеров равномерно распределен 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 $\alpha = 45^\circ$.

10.3.14 [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.

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



10.3.16 [Б-11.20] В однородном электрическом поле с вектором напряженности 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.

10.3.17 [Б-11.19] Сосуд с маслом, диэлектрическая проницаемость которого $\varepsilon = 5$, помещен в вертикальное однородное электрическое поле. В масле находится во взвешенном состоянии алюминиевый шарик диаметром $d = 3$ мм, имеющий заряд $q = 10^{-7}$ Кл. Найти напряженность 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.

10.3.18 [Б-11.30] Металлический шар радиусом r помещен в жидкий диэлектрик с плотностью ρ_1 и диэлектрической проницаемостью ε . 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 создается двумя параллельными пластинами, расстояние между которыми d , а разность потенциалов U .

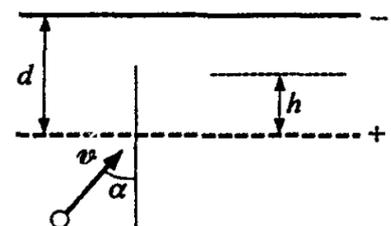
10.3.19 [Б-11.31] Проводник длиной ℓ движется с постоянным ускорением a , направленным вдоль его оси. Определите напряжение, возникающее между концами проводника; m_e — масса электрона, $|e|$ — элементарный заряд.

10.3.20 [Б-11.32] В двух противоположных вершинах квадрата в начальный момент времени покоятся два протона, а в двух других вершинах — два позитрона. После разлета 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 разлета (на бесконечности).

10.3.21 [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.

10.3.22 [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 $U_{\text{п}}$?

10.3.23 [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.



10.3.24 Две параллельные неподвижные диэлектрические пластины расположены вертикально и заряжены разноименно. Пластины находятся на расстоянии $d = 2$ см друг от друга. Напряженность поля в пространстве внутри пластин равна $E = 4 \cdot 10^5$ В/м. Между пластинами на равном расстоянии от них помещен шарик с зарядом $q = 10^{-10}$ Кл и массой $m = 20$ мг. После того как шарик отпустили, он начинает падать и ударяется об одну из пластин. Насколько уменьшится высота местонахождения шарика h к моменту его удара об одну из пластин?

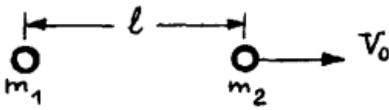
10.3.25* [Б-11.36] Четыре положительных точечных заряда Q расположены в вершинах жестко закрепленной квадратной рамки со стороной a . Частица массой m , имеющая положительный заряд q , движется вдоль оси, перпендикулярной плоскости рамки и проходящей через центр квадрата O . На расстоянии $OA \gg a$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

10.3.26 [ДВИ] Определить максимальную дальность полета и максимальную высоту подъема 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 напряженностью 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 .

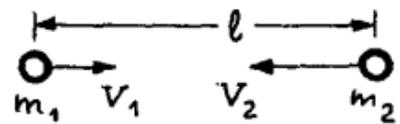
10.3.27 [М-3.1.12] По наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом, соскальзывает с высоты h небольшое тело, заряженное отрицательным зарядом $-q$. В точке пересечения вертикали, проведенной через начальное положение тела, с основанием наклонной плоскости находится заряд $+q$. Определить скорость,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

10.3.28 [Б-11.22] В пространство, где одновременно действуют горизонтальное и вертикальное однородные электрические поля с напряженностью $E_{\Gamma} = 4 \cdot 10^2$ 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 $\ell = 2,7$ мм изменяется в 2 раза. Определить скорость электрона в конце пути.

◇ **10.3.29** [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 $\ell = 2$ 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 $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9}$ Ф/м. Силу тяжести не учитывать.



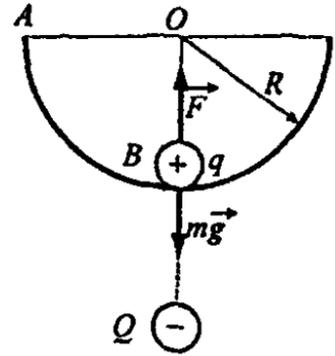
◇ **10.3.30** [М-3.1.14] Два маленьких шарика массами $m_1 = 6$ г и $m_2 = 4$ г несут заряды $q_1 = 10^{-6}$ Кл и $q_2 = 5 \cdot 10^{-6}$ Кл соответственно. В начальный момент они движутся навстречу друг другу по прямой, соединяющей их центры. При этом расстояние между шариками составляет $\ell = 2$ м и их скорости равны $V_1 = 1$ м/с и $V_2 = 2$ м/с соответственно. На какое минимальное расстояние L приблизятся шарики друг к другу? Силу тяжести не учитывать. Электрическую постоянную принять $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9}$ Ф/м.



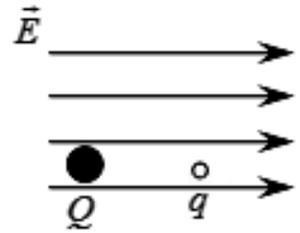
10.3.31 [Б-11.23] В однородное горизонтальное электростатическое поле с напряженностью $E = 10^3$ В/м помещена система, состоящая из двух одинаковых и противоположно заряженных шариков, соединенных тонким изолирующим стержнем длиной $\ell = 0,1$ м. Система может только вращаться в горизонтальной плоскости 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. Шарики рассматриваются как материальные точки.

10.3.32 [ЕГЭ] Полый шарик массой 5 г имеет положительный заряд 50 нКл. Шар подвешен на нитке в горизонтальном однородном электростатическом поле, направленном слева направо. Шар отводят вправо до тех пор, пока нить не становится горизонтальной, и отпускают. Найти напряженность электростатического поля, если в тот момент, когда нить находится справа от вертикали и составляет с вертикалью угол α ($\cos \alpha = 0,8$), сила натяжения нити равна 112 мН. Сопротивлением воздуха пренебречь.

◇ **10.3.33** [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 шарикю, $F = 0,1$ Н. Трением между шариком и сферической поверхностью пренебречь.



◇ **10.3.34** (7987) Два шарика с зарядами $Q = -1$ нКл и $q = 5$ нКл соответственно, находятся в однородном электрическом поле с напряженностью $E = 18$ В/м на расстоянии $r = 1$ м друг от друга. Масса большего шарика равна $M = 5$ г. Определите, какую массу должен иметь маленький шарик, чтобы они двигались с прежним между ними расстоянием и с постоянным по модулю ускорением.



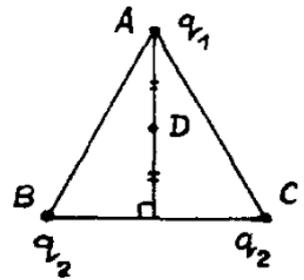
Напряженность поля. Принцип суперпозиции

10.3.35 [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 напряженность электрического поля E в точке, находящейся на расстоянии 3 см от положительного и 4 см от отрицательного заряда.

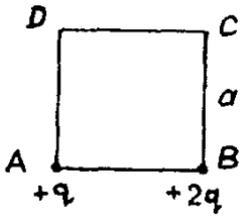
10.3.36 [М-3.1.1] В двух вершинах равностороннего треугольника помещены одинаковые заряды $q_1 = q_2 = q = 4$ мкКл. Какой точечный заряд q_3 необходимо поместить в середину стороны, соединяющей заряды q_1 и q_2 , чтобы напряженность электрического поля в третьей вершине треугольника оказалась равной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

10.3.37 [Б-11.11] В трех вершинах квадрата со стороной a находятся одинаковые положительные заряды q . Найдите напряженность электрического поля E в четвертой вершине.

◇ **10.3.38** [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 напряженность электрического поля, создаваемого этими тремя зарядами в точке D , лежащей на середине высоты, опущенной из вершины A на сторону BC , равна нулю.



◇ **10.3.39** [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 напряженностью \vec{E} . В какую точку нужно поместить третий точечный заряд $-q$, чтобы напряженность суммарного электрического поля в вершине D стала равна $-\vec{E}$?

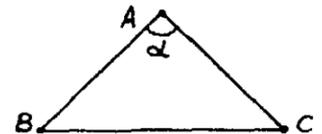


10.3.40 [б-11.12] В вершинах квадрата со стороной a находятся заряды: $q_1 = q$, $q_2 = -q$, $q_3 = -2q$, $q_4 = 2q$. Найти напряженность электрического поля E в точке, совпадающей с центром квадрата.

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

10.3.42 [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 $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

◇ **10.3.43** [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?



10.3.44 [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 напряженности в точке O направлен по отрезку OH . Чему равна величина поля E_0 , если величина каждого из зарядов $q = 10^{-9}$ Кл?

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

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

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

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

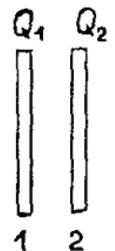
10.3.49 Найти зависимость $E(r)$ для равномерно заряженного шара зарядом Q , используя теорему Гаусса.

10.3.50 [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 напряженности электрического поля вблизи поверхности проводника как функцию расстояния r от основания перпендикуляра, опущенного из заряда на поверхность проводника.

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

10.3.52 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.

◇ **10.3.53*** [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

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

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

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

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

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

10.3.59 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.

10.3.60 Проводящий шар радиуса r_1 с зарядом q_1 находится внутри проводящей сферы радиуса r_2 , по которой равномерно распределен 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.

10.3.61 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?

10.3.62 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?

◇ **10.3.63** [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.



10.3.64 Проводящий шар радиуса r с зарядом q находится внутри проводящей сферы радиуса R , по которой равномерно распределен 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.

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

10.3.66 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.

10.3.67 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.

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

10.3.69 [м-3.1.10] Два удаленных 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 протечет при этом по проводу?

10.3.70 [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.

10.3.71 [м-3.1.11] Два удаленных 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?

10.3.72 [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 сообщен некоторый заряд.

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

10.3.74 [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

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

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

10.3.77 Вывести эквивалентную емкость для последовательного соединения конденсаторов с емкостями C_1 и C_2 .

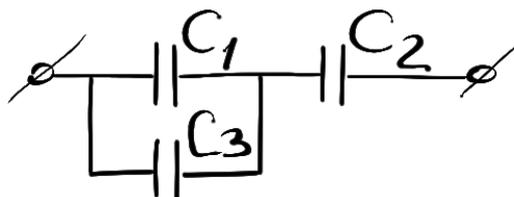
10.3.78 Вывести эквивалентную емкость для параллельного соединения конденсаторов с емкостями C_1 и C_2 .

10.3.79 Вывести формулу для энергии конденсатора емкостью C , имеющего заряд q .

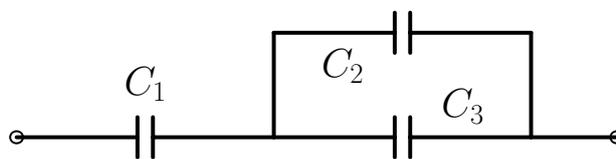
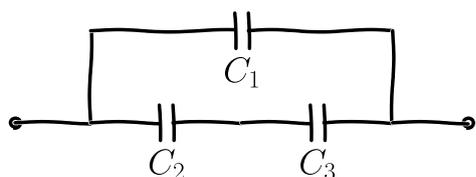
10.3.80 [Б-11.46] Два конденсатора емкостью C_1 и C_2 соединены последовательно и подключены к источнику с напряжением U . Определить напряжение на конденсаторах.

10.3.81 Два конденсатора емкостью C_1 и C_2 соединены параллельно и подключены к источнику с напряжением U . Определить заряды на конденсаторах.

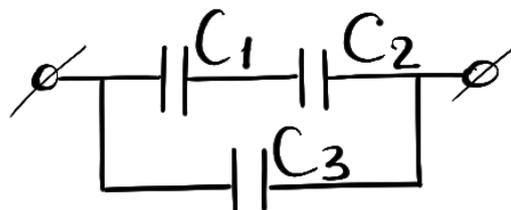
◇ **10.3.82** Найти заряд на каждом конденсаторе. Все емкости известны, напряжение между выводами схемы равно U .



◇ **10.3.84** Найти заряд на каждом конденсаторе. Все емкости известны, напряжение между выводами схемы равно U .



◇ **10.3.83** Найти напряжение на каждом конденсаторе. Все емкости известны, напряжение между выводами схемы равно U .



◇ **10.3.85** Найти напряжение на каждом конденсаторе. Все емкости известны, напряжение между выводами схемы равно U .

10.3.86 Конденсатору емкостью C_1 сообщили заряд q_1 , а конденсатору емкостью C_2 — заряд q_2 . Затем одноименные пластины конденсаторов соединили. Найти установившиеся заряды на конденсаторах.

10.3.87 [Б-11.47] Два плоских конденсатора емкостью 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.

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

10.3.89 [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. Напряженность однородного электрического поля между пластинами

$E = 0,9 \cdot 10^6$ В/м. Найти абсолютную величину заряда q на каждой из пластин. Электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

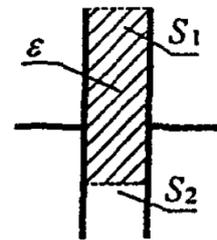
10.3.90 Расстояние между обкладками заряженного плоского конденсатора увеличили в два раза. Во сколько раз изменится напряжение, заряд, энергия, емкость конденсатора?

10.3.91 [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 одноименно заряженные обкладки?

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



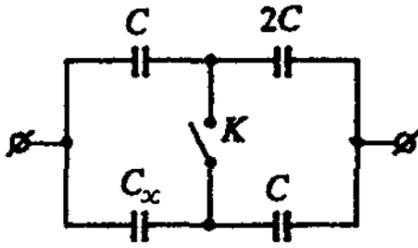
◇ **10.3.93** [Б-11.38] Часть пространства между обкладками конденсатора заполнили диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε (см. рисунок). Определить емкость конденсатора с диэлектриком. Расстояние между обкладками конденсатора d , площадь пластин заполненной части S_1 , незаполненной S_2 .



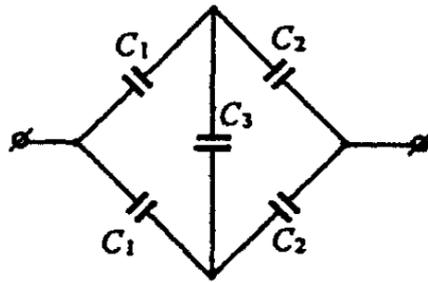
10.3.94 Конденсатор имеет заряд q . В конденсатор введена диэлектрическая пластина с диэлектрической проницаемостью ε . Какие заряды наведутся на поверхности диэлектрика?

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

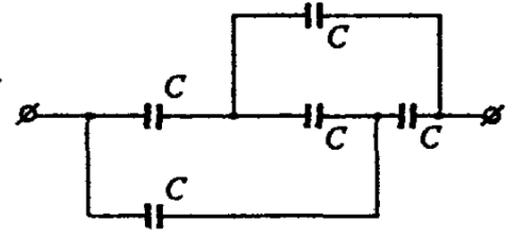
10.3.96 [Б-11.40] В пространство между обкладками воздушного конденсатора внесли параллельно пластинам пластинку из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε и толщиной a . Определить емкость конденсатора с учетом пластины, если расстояние между обкладками d , площадь пластин S .



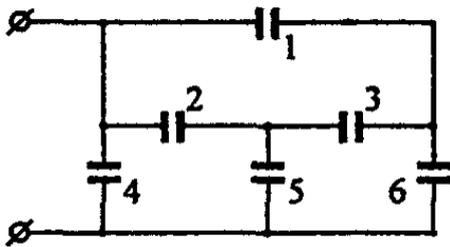
К задаче 10.3.98



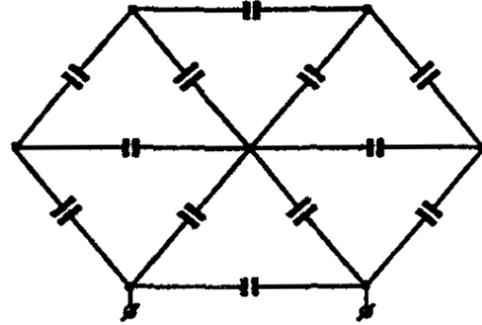
К задаче 10.3.99



К задаче 10.3.100



К задаче 10.3.101



К задаче 10.3.102

10.3.97 [м-3.1.18] Обкладки плоского воздушного конденсатора, подключенного 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?

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

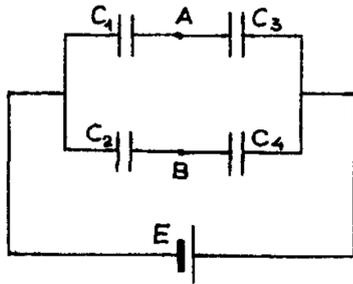
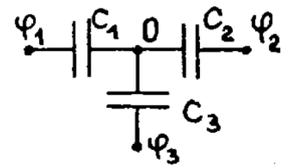
◇ **10.3.99** [Б-11.42] Определить емкость батареи конденсаторов. Значения емкостей всех конденсаторов считать известными.

◇ **10.3.100** [Б-11.43] Определить емкость батареи конденсаторов, если емкости всех конденсаторов одинаковы и равны C .

◇ **10.3.101** [Б-11.44] Определить емкость батареи конденсаторов, если емкости всех конденсаторов одинаковы и равны C .

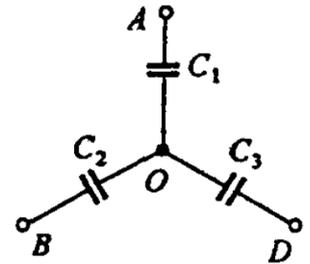
◇ **10.3.102** [Б-11.45] Определить емкость батареи конденсаторов. Емкости всех конденсаторов одинаковы и равны C .

◇ **10.3.103** [М-3.1.20] Первоначально незаряженные конденсаторы C_1 , C_2 , C_3 , соединили по схеме, изображенной на рисунке. Затем конденсаторы зарядили так, что на клеммах схемы образовались потенциалы φ_1 , φ_2 , φ_3 . Определить потенциал φ_O точки O .



◇ **10.3.104** [М-3.1.21] На рисунке изображена батарея конденсаторов, подключенная к гальваническому элементу с ЭДС \mathcal{E} . емкости 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.

◇ **10.3.105** [Б-11.48] Три незаряженных конденсатора, емкостью C_1 , C_2 и C_3 соединены звездой и подключены к точкам A , B и D . Потенциалы этих точек равны φ_1 , φ_2 , φ_3 . Определить потенциал общей точки O .

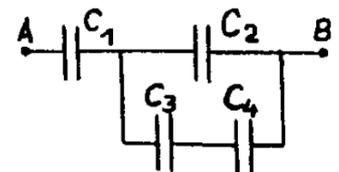


10.3.106 [Б-11.49] Плоский конденсатор заполнен диэлектриком, проницаемость которого зависит от напряжения на конденсаторе по закону $\epsilon = \alpha U$, где $\alpha = 1 \text{ В}^{-1}$. Параллельно этому конденсатору, который вначале не заряжен, подключают такой же конденсатор, но без диэлектрика,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

10.3.107 Конденсатор емкостью C_1 , заряженный до напряжения U_1 , через резистор R соединяют с незаряженным конденсатором емкостью C_2 . Найти количество теплоты, выделившееся в процессе перезарядки конденсаторов.

10.3.108 [М-3.1.26] Конденсатор емкостью $C = 15 \text{ пФ}$ 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.

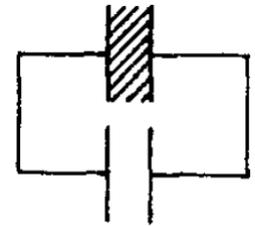
◇ **10.3.109** [М-3.1.22] В схеме, показанной на рисунке, емкости конденсаторов равны: $C_1 = 1 \text{ мкФ}$, $C_2 = 2 \text{ мкФ}$, $C_3 = 3 \text{ мкФ}$, $C_4 = 4 \text{ мкФ}$. Напряжение между точками A и B равно $U = 100 \text{ В}$. Найти напряжение U_4 на конденсаторе C_4 . Первоначально конденсаторы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



10.3.110 [М-3.1.24] Два плоских конденсатора имеют одинаковую емкость. В один из них вставили пластинку с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 6$, заполняющую весь объем между обкладками, и зарядили этот конденсатор так, что запасенная 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.

10.3.111 Внешние силы изменили энергию заряженного конденсатора изменили на ΔW . Чему равна работа внешних сил?

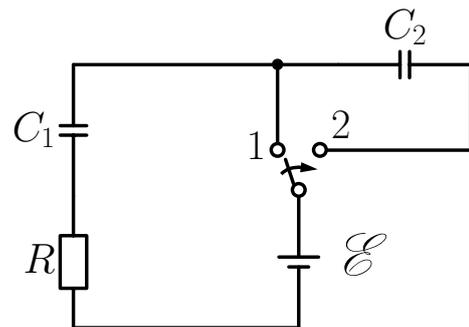
10.3.112 [М-3.1.25] Два одинаковых плоских конденсатора, один из которых заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε , соединены как показано на рисунке и заряжены до напряжения U_0 . Какую работу A нужно совершить, чтобы вытащить диэлектрическую пластинку из конденсатора? Емкость пустого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

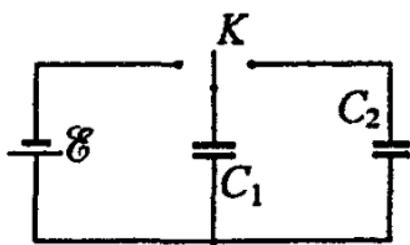


10.3.113 [М-3.1.27] К источнику с ЭДС \mathcal{E} последовательно подключены два конденсатора с емкостью C_1 и C_2 . После зарядки конденсаторов источник отключают, а параллельно конденсатору C_1 подключают через резистор незаряженный конденсатор емкостью C_3 . Какое количество теплоты Q выделится на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

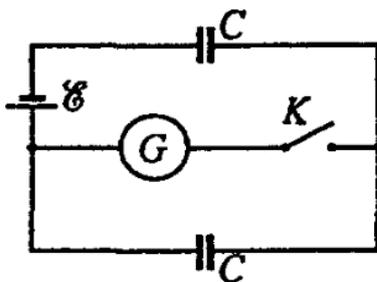
10.3.114 [Б-11.50] Одна из пластин незаряженного плоского конденсатора освещается рентгеновскими лучами, вырывающими из нее электроны со скоростью $v = 10^6$ м/с. Электроны собираются на второй пластине. Через какое время фототок между пластинами прекратится, если с каждого квадратного сантиметра площади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

◇ **10.3.115** Конденсатор емкостью C_1 длительное время подключен к аккумулятору с ЭДС \mathcal{E} через ключ (см. рисунок). Какой заряд окажется на конденсаторе C_2 после переключения ключа из положения 1 в положение 2? Какое количество теплоты выделится в цепи после переключения ключа из положения 1 в положение 2?

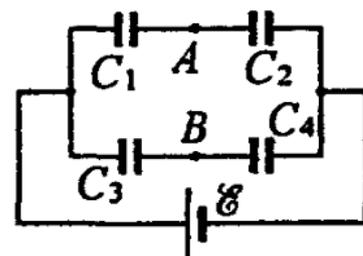




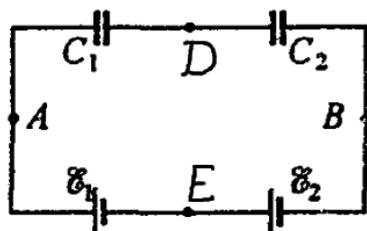
К задаче 10.3.116



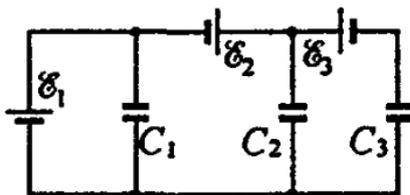
К задаче 10.3.117



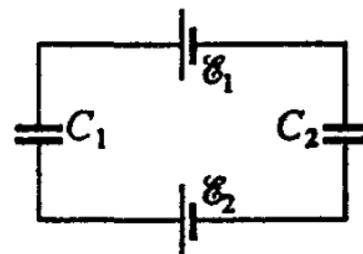
К задаче 10.3.118



К задаче 10.3.119



К задаче 10.3.120



К задаче 10.3.121

Цепи, содержащие конденсаторы и гальванические элементы

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

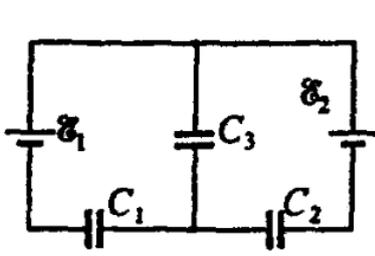
◇ **10.3.117** [Б-11.52] Определить, какой заряд q пройдет через гальванометр G при замыкании ключа K . Значение ЭДС \mathcal{E} и емкости конденсаторов C — заданы.

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

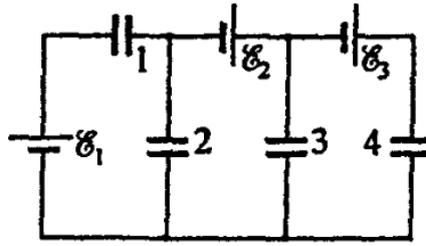
◇ **10.3.119** [Б-11.54] Определить разность потенциалов между точками A и B . Также определить разность потенциалов между точками D и E .

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

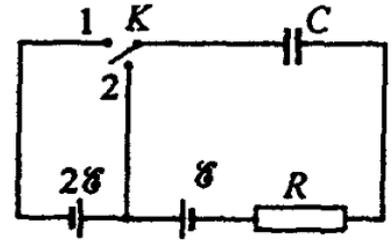
◇ **10.3.121** [Б-11.56] Определить напряжение на конденсаторах C_1 и C_2 .



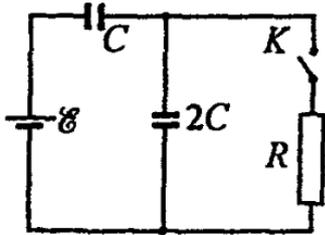
К задаче 10.3.122



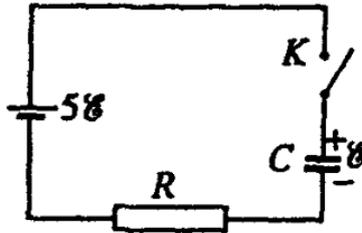
К задаче 10.3.123



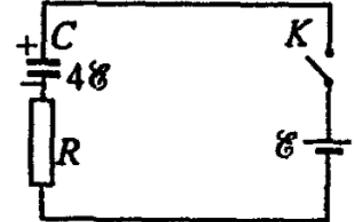
К задаче 10.3.124



К задаче 10.3.125



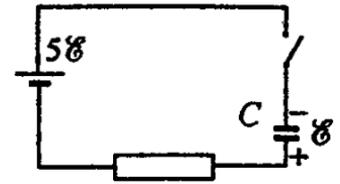
К задаче 10.3.126



К задаче 10.3.127

- ◇ **10.3.122** [Б-11.57] Определить заряды конденсаторов в схеме.
- ◇ **10.3.123** [Б-11.58] Найти заряды конденсаторов в цепи. Емкость каждого конденсатора равна C .
- ◇ **10.3.124** [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.
- ◇ **10.3.125** [Б-11.59] Какое количество тепла выделится на резисторе с сопротивлением R после замыкания ключа K ? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.
- ◇ **10.3.126** [Б-11.61] Конденсатор емкостью 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 $5\mathcal{E}$.
- ◇ **10.3.127** [Б-11.62] Конденсатор емкостью 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.

◇ **10.3.128** [Б-11.63] Конденсатор емкостью 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.



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.

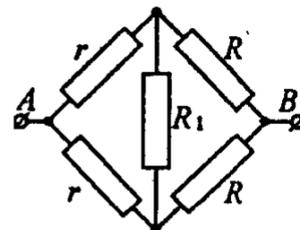
Закон Ома для однородного участка цепи

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

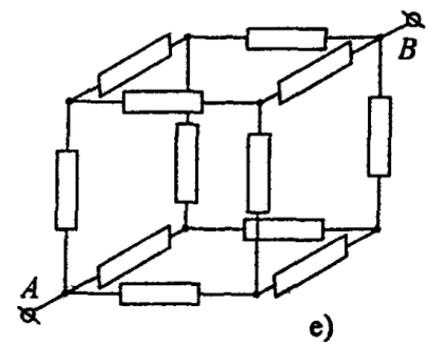
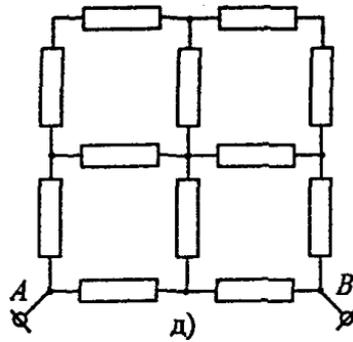
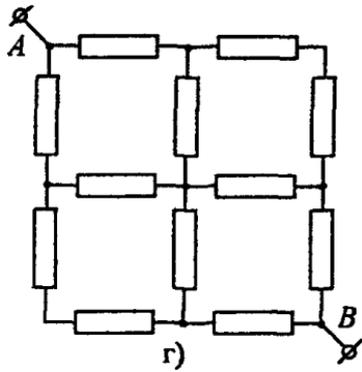
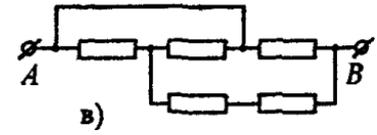
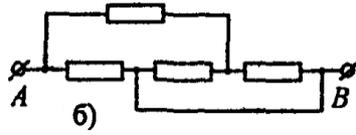
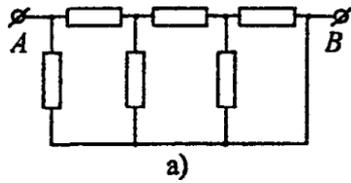
10.4.2 Вывести эквивалентное сопротивление для параллельного соединения резисторов сопротивлениями R_1 и R_2 .

10.4.3 [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?

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

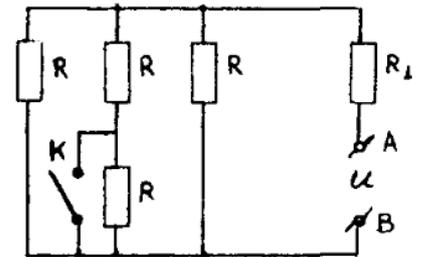


10.4.5 [Б-12.2] На сколько равных частей нужно разрезать проводник сопротивлением $R = 25$ Ом, чтобы при параллельном соединении этих частей получить сопротивление $r = 1$ Ом?



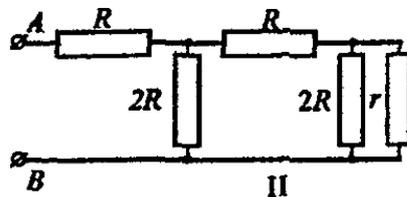
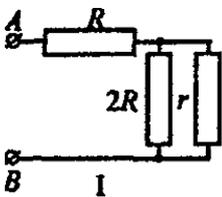
К задаче 10.4.7

◇ 10.4.6 [М-3.2.10] Цепь, изображенная 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.

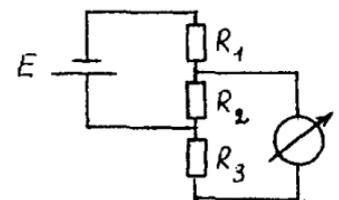


◇ 10.4.7 [Б-12.5] Вычислить общее сопротивление участка цепи между точками A и B . Сопротивление каждого резистора равно R . Сопротивлением соединительных проводов пренебречь.

◇ 10.4.8 [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} ?



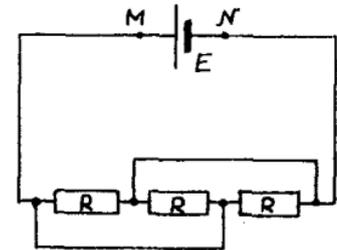
◇ 10.4.9 [М-3.2.6] Какой ток I_1 покажет амперметр в схеме, показанной на рисунке? Какой ток I_2 покажет амперметр, если источник тока и амперметр поменять местами? $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 40$ Ом, $R_3 = 60$ Ом, $\mathcal{E} = 10$ В. Внутренними сопротивлениями источника тока и амперметра пренебречь.



Закон Ома для полной цепи

10.4.10 [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.

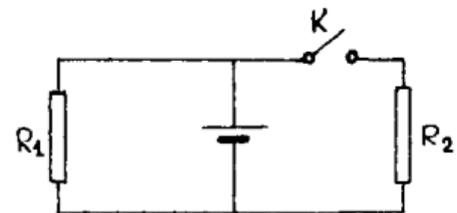
◇ **10.4.11** [м-3.2.16] Батарея с ЭДС $\mathcal{E} = 2$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,1$ Ом присоединена к цепи, изображенной на рисунке. Сопротивление каждого из резисторов $R = 1$ Ом. Найти напряжение U_{MN} на клеммах батареи. Сопротивлением всех соединительных проводов пренебречь.



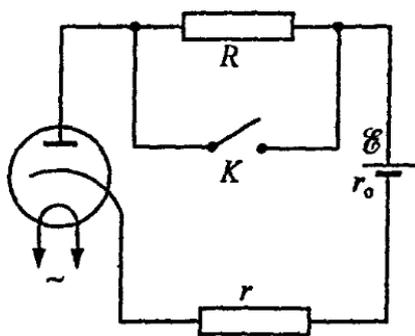
10.4.12 [Б-12.14] Гальванический элемент дает на внешнее сопротивление $R_1 = 2$ Ом ток $I_1 = 0,25$ А. Если внешнее сопротивление будет $R_2 = 7$ Ом, то элемент дает ток $I_2 = 0,1$ А. Какой ток $I_{кз}$ он дает, если его замкнуть накоротко?

10.4.13 [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, введенного последовательно в цепь лампы для ее нормального горения.

◇ **10.4.14** [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.



◇ 10.4.15 [Б-12.15] Вакуумный диод подключен 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.

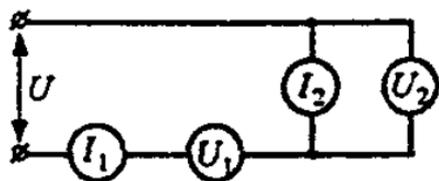
Измерение тока и напряжения

10.4.16 [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?

10.4.17 [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?

10.4.18 [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.

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

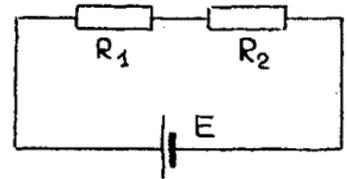


$I_1 = 100$ мкА и $I_2 = 99$ мкА, показание вольтметра $U_1 = 10$ В. Найти показание второго вольтметра.

10.4.20 [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 $R_{ш}$).

10.4.21 [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?

◇ **10.4.22** [М-3.2.18] Если вольтметр, имеющий конечное сопротивление, подключен 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, ее внутреннее сопротивление пренебрежимо мало.



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

10.4.24 [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 $\ell = 10$ 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 · м.

10.4.25 [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, соединенные между собой параллельно?

◇ **10.4.26** [М-3.2.15] При включении приборов по схеме, изображенной

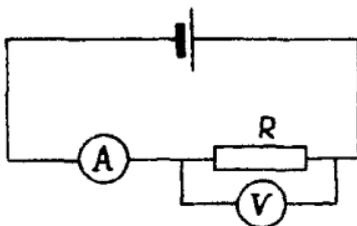


Рис. 1

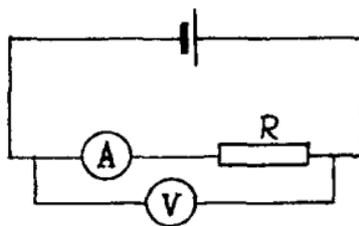


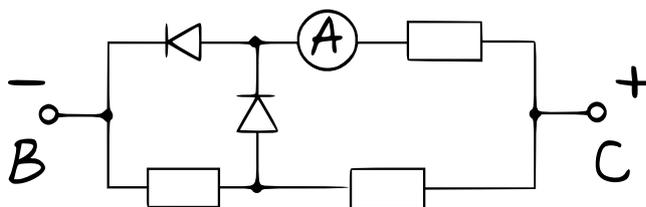
Рис. 2

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 показывает ток $I_2 = 0,94$ А, а вольтметр — напряжение $V_2 = 60$ В.

Определить сопротивление резистора R , считая напряжение на зажимах батареи неизменным.

10.4.27 [Б-12.17] К батарее через переменное сопротивление R подключен 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.

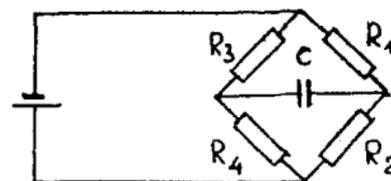
◇ **10.4.28** [ЕГЭ] Три одинаковых резистора и два одинаковых идеальных диода включены в электрическую цепь, показанную на рисунке, и подключены к аккумулятору в точках B и C . Сопротивление диодов в прямом направлении равно нулю, сила тока для диодов в обратном направлении равна нулю. Показания амперметра равны 4,5 А. Определите силу тока через амперметр после смены полярности подключения аккумулятора. Нарисуйте эквивалентные электрические схемы для двух случаев подключения аккумулятора. Опираясь на законы электродинамики, поясните свой ответ. Сопротивлением амперметра и внутренним сопротивлением аккумулятора пренебречь.



Конденсаторы в цепях постоянного тока

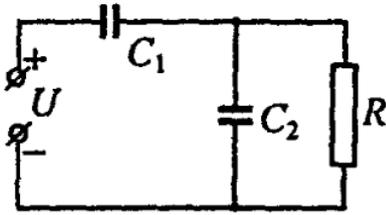
10.4.29 [М-3.2.12] Электрическая схема состоит из последовательно соединенных резистора с сопротивлением $R = 10$ Ом, конденсатора и батареи с внутренним сопротивлением $r = 5$ Ом. Параллельно конденсатору подключили резистор с сопротивлением $R_1 = 5$ Ом. Во сколько раз m изменится энергия конденсатора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

◇ **10.4.30** [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.

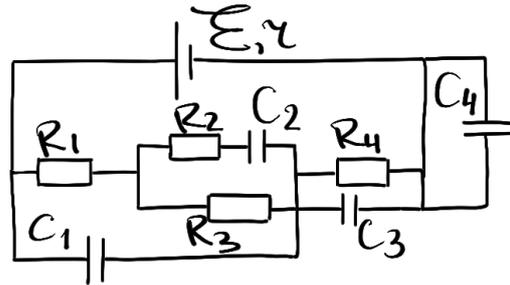


10.4.31 [Б-12.35] Плоский конденсатор с пластинами квадратной формы размерами $a \times a = 0,2 \times 0,2$ м² и расстоянием между пластинами $d = 2$ мм присоединен к полюсам источника с ЭДС $\mathcal{E} = 750$ В. В пространство между пластинами с постоянной скоростью $v = 0,08$ м/с вводят стеклянную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

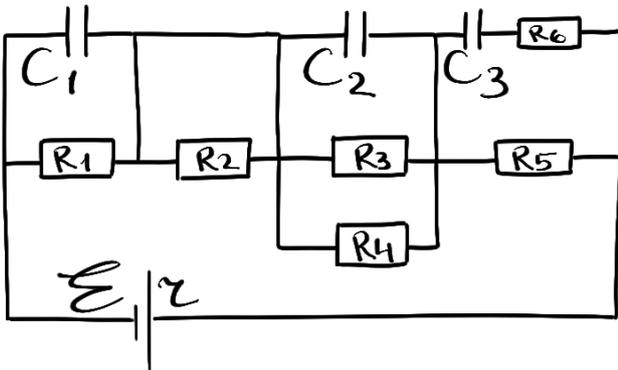
- ◇ 10.4.32 [Б-12.36] На схеме емкость конденсатора $C_2 = 10$ мкФ, сопротивление резистора $R = 2$ кОм, площадь пластин конденсатора емкостью C_1 $S = 100$ см² а расстояние между ними $d = 5$ мм. Рентгеновский излучатель, который ионизирует воздух между обкладками конденсатора C_1 , создает $w = 2 \cdot 10^{12}$ 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 .



- ◇ 10.4.33 Начертите эквивалентную схему к цепи, изображенной на рисунке. Найдите напряжения на всех конденсаторах. Все подписанные на схеме величины считать известными.



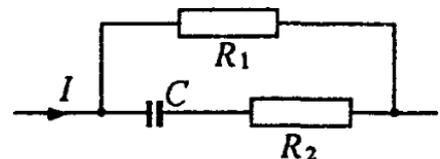
- ◇ 10.4.34 В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, ЭДС батареи элементов $\mathcal{E} = 10$ В, сопротивления всех резисторов одинаковы и равны $R = 50$ Ом. Емкости всех конденсаторов тоже одинаковы и равны $C = 1000$ пФ. Найдите заряды на обкладках конденсаторов, если известно, что при коротком замыкании батареи сила тока в батарее увеличивается в $n = 10$ раз. Сопротивлением соединительных проводов пренебречь.

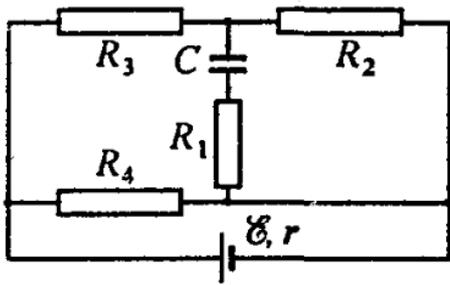


и равны $C = 1000$ пФ. Найдите заряды на обкладках конденсаторов, если известно, что при коротком замыкании батареи сила тока в батарее увеличивается в $n = 10$ раз. Сопротивлением соединительных проводов пренебречь.

- 10.4.35 [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, $\alpha = 5$ с⁻¹ при этом через источник тока течет постоянный ток. Определить его величину. Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

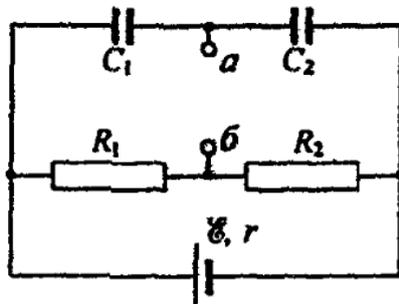
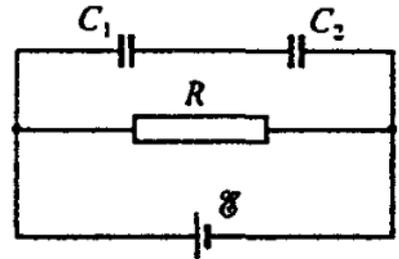
- ◇ 10.4.36 [Б-12.38] Определить заряд Q на конденсаторе $C = 2$ мкФ, включенном в цепь постоянного тока $I = 3$ А, $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = 200$ Ом. На какой пластине конденсатора образуется положительный заряд?





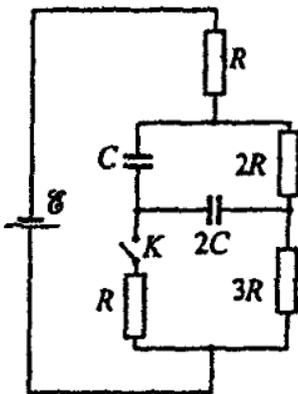
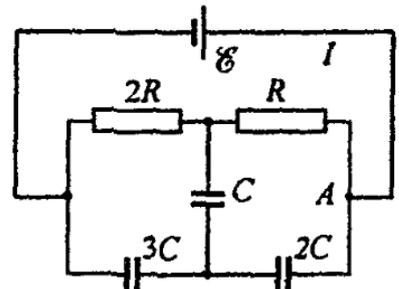
◇ 10.4.37 [Б-12.39] Определить заряд конденсатора в схеме. Сопротивления резисторов $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 20 \text{ Ом}$; ЭДС $\mathcal{E} = 500 \text{ В}$ внутреннее сопротивление источника $r = 10 \text{ Ом}$; емкость конденсатора $C = 10 \text{ мкФ}$.

◇ 10.4.38 [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 возрастет в 3 раза. ЭДС батареи равна \mathcal{E} .



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

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

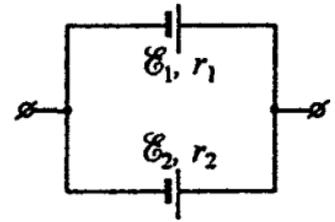


◇ 10.4.41 [Б-12.43]

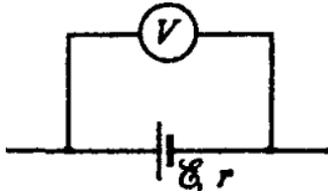
Определить заряд, протекающий через ключ K при его замыкании (смотри рисунок слева). Внутренним сопротивлением батареи пренебречь. Все подписанные на рисунке величины считать известными. Начертить две эквивалентные схемы (для случая открытого и закрытого ключа).

Правила Кирхгофа

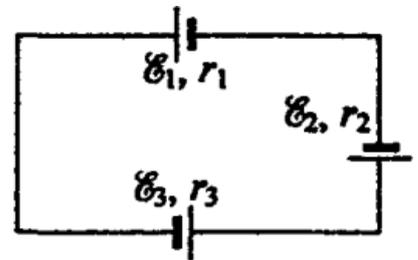
◇ 10.4.42 [Б-12.19] Определить ЭДС \mathcal{E} и внутреннее сопротивление батареи r , составленной из двух параллельно соединенных источников. ЭДС и внутренние сопротивления источников считать известными.



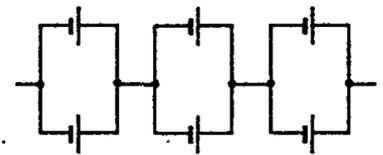
◇ 10.4.43 [Б-12.20] Вольтметр, подсоединенный к полюсам источника тока, входящего в состав неизвестной цепи, показывает $U = 6$ В. Определить величину и направление тока, протекающего через источник, если его ЭДС $\mathcal{E} = 4$ В, а внутреннее сопротивление 1 Ом.



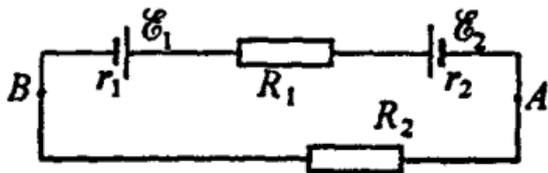
◇ 10.4.44 [Б-12.21] Три источника тока с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 3,0$ В, $\mathcal{E}_2 = 6,0$ В, $\mathcal{E}_3 = 4,5$ В и внутренним сопротивлением $r_1 = 0,8$ Ом, $r_2 = 1,2$ Ом и $r_3 = 1$ Ом соединены в цепь. Определите напряжения на полюсах каждого источника.



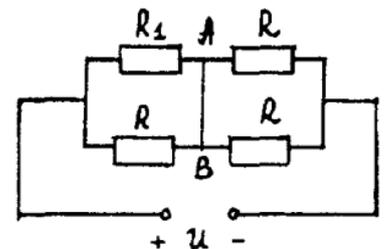
◇ 10.4.45 [Б-12.18] Определить ЭДС \mathcal{E} и внутреннее сопротивление батареи элементов, если ЭДС каждого элемента $2,2$ В, а внутреннее сопротивление $0,8$ Ом.

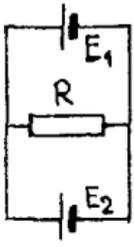


◇ 10.4.46 [Б-12.16] В схеме $\mathcal{E}_1 = 12$ В, $\mathcal{E}_2 = 6$ В, $R_1 = 4$ Ом, ток в электрической цепи $I = 1$ А, внутреннее сопротивление источников: $r_1 = 0,75$ Ом, $r_2 = 0,25$ Ом. Определить напряжение между точками A и B .



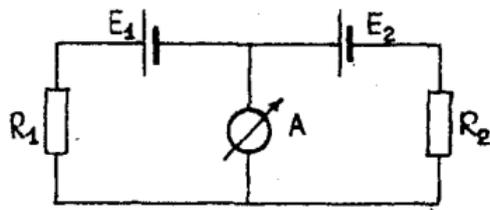
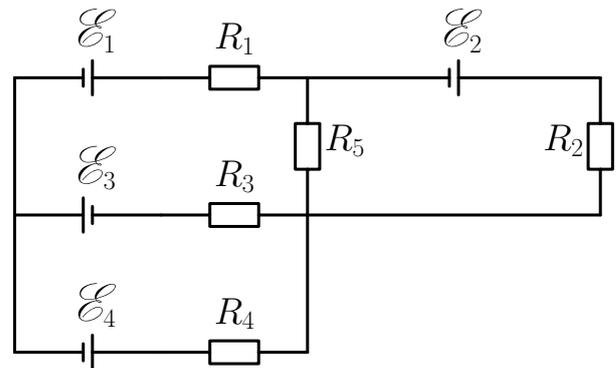
◇ 10.4.47 [М-3.2.19] В схеме, показанной на рисунке, напряжение на клеммах источника $U = 100$ В, сопротивления в цепи $R_1 = 101$ Ом, $R = 100$ Ом. Определить величину тока I , протекающего по проводнику AB . Сопротивлением подводящих проводов, проводника AB и внутренним сопротивлением источника пренебречь.



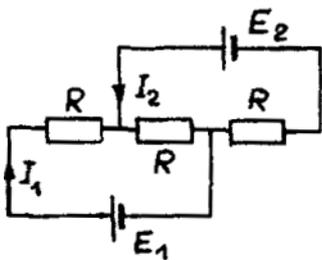


◇ 10.4.48 [М-3.2.4] Два гальванических элемента, электродвижущие силы которых $\mathcal{E}_1 = 2$ В и $\mathcal{E}_2 = 1$ В, соединены по схеме, указанной на рисунке. При каком значении сопротивления R ток через гальванический элемент с ЭДС \mathcal{E}_2 не пойдет? Внутреннее сопротивление элемента с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

◇ 10.4.49 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.

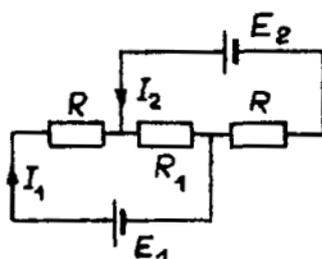
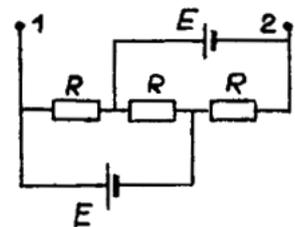


◇ 10.4.50 [М-3.2.5] В схеме, показанной на рисунке, $\mathcal{E}_1 = 10$ В, $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 40$ Ом. Чему равна ЭДС второго источника \mathcal{E}_2 , если ток через амперметр не течет? Внутренними сопротивлениями источников пренебречь.



◇ 10.4.51 [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?

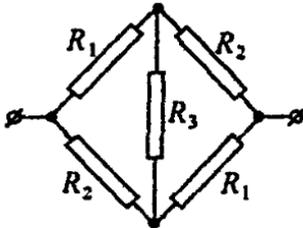
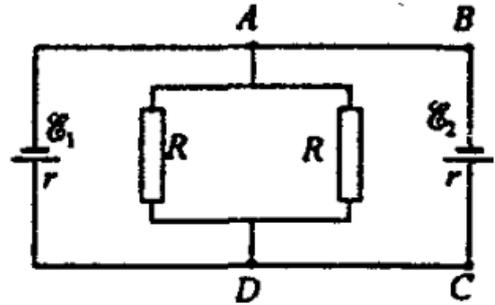
◇ 10.4.52 [М-3.2.8] Цепь образована двумя одинаковыми батареями \mathcal{E} и тремя равными сопротивлениями $R = 0,5$ Ом. При каком значении r внутреннего сопротивления каждой из батарей напряжение между точками 1 и 2 будет равно ЭДС батарей?



◇ 10.4.53 [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?

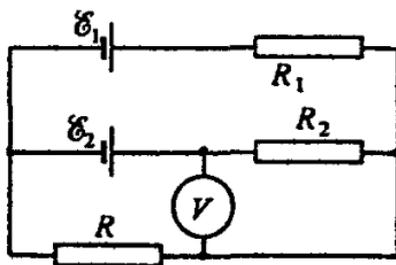
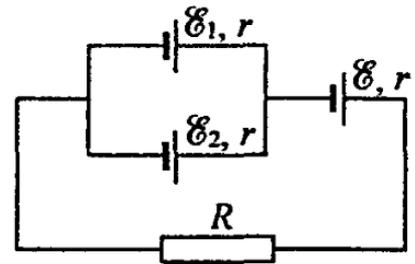
10.4.54 [м-3.2.13] Батарея из двух одинаковых гальванических элементов, соединенных последовательно, нагружена на внешний резистор $R = 2 \text{ Ом}$, через который за некоторое время протекает заряд $Q_1 = 20 \text{ Кл}$. Какой величины заряд Q_2 протечет за то же время через каждый элемент, если их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

◇ **10.4.55** [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 течет.



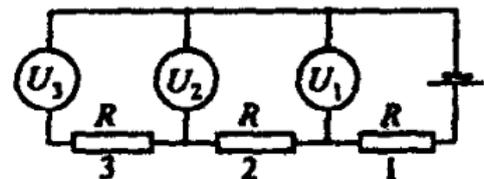
◇ **10.4.56** [Б-12.33] Используя правила Кирхгофа, определить общее сопротивление цепи. Сопротивления R_1 , R_2 и R_3 считать известными.

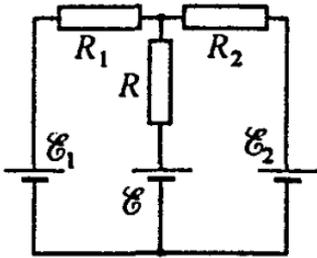
◇ **10.4.57** [Б-12.30] Определить ток I , протекающий через резистор с сопротивлением R . Внутреннее сопротивление источников одинаково и равно r . ЭДС источников считать известными (см. рисунок).



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

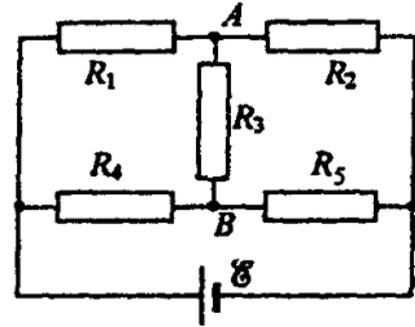
◇ **10.4.59** [Б-12.32] Электрическая цепь собрана из трех одинаковых вольтметров и трех одинаковых резисторов. Первый вольтметр показывает $U_1 = 10 \text{ В}$, а третий $U_3 = 8 \text{ В}$. Что показывает второй вольтметр?





◇ 10.4.60 [Б-12.29] При каком значении \mathcal{E} ток через сопротивление R будет равен нулю? Внутренним сопротивлением источников пренебречь. Значения подписанных величин считать известными.

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



Работа и мощность тока. КПД

10.4.62 Найти общую выделяемую мощность для последовательно соединенных резисторов сопротивлениями R_1 и R_2 , подключенных к участку с напряжением U .

10.4.63 Найти общую выделяемую мощность для параллельно соединенных резисторов R_1 и R_2 , подключенных к участку с напряжением U .

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

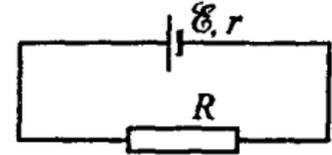
10.4.65 [м-3.2.20] При подключении к батарее поочередно двух сопротивлений нагрузки $R_1 = 4$ Ом и $R_2 = 1$ Ом выделяемая в них мощность оказалась одинаковой и равной $W = 9$ Вт. Чему равна ЭДС \mathcal{E} батареи?

10.4.66 [м-3.2.36] Напряжение на зажимах генератора постоянного тока $U_0 = 220$ В, а на зажимах нагрузки $U_1 = 210$ 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 $P = 10$ кВт.

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

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

◇ **10.4.69** [Б-12.24] Дана электрическая цепь, содержащая источник ЭДС \mathcal{E} с внутренним сопротивлением r . К источнику подключено внешнее сопротивление R . Найти полезную мощность, полную мощность цепи, мощность потерь и КПД цепи.

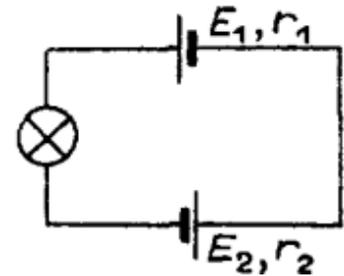


10.4.70 [Б-12.22] Определить массу меди, нужной для устройства двухпроводной линии длиной $\ell = 5$ км. Напряжение на шинах станции $U = 2,4$ кВ. Передаваемая потребителю мощность $P = 60$ кВт. Допускаемая потеря напряжения в проводах равна 8%. Плотность меди $d = 8,9 \cdot 10^3$ кг/м³, удельное сопротивление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

10.4.71 [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 течет ток $I_0 = 3$ А?

10.4.72 [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?

◇ **10.4.73** [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.

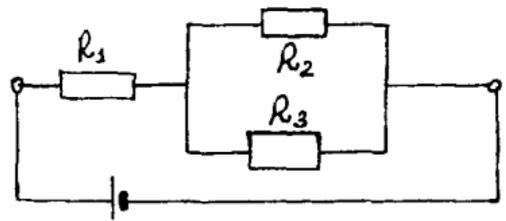


10.4.74 [М-3.2.22] Две лампы имеют мощности $W_1 = 20$ Вт и $W_2 = 40$ Вт при стандартном напряжении сети. При их последовательном включении в сеть с другим напряжением оказалось, что в двадцативаттной лампе выделяется та же мощность, что и при стандартном напряжении. Какая мощность W'_2 выделяется при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

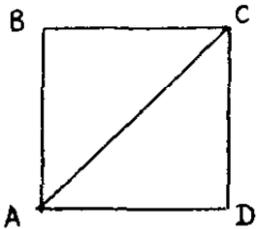
10.4.75 [м-3.2.23] Электрическая лампочка подключена к источнику тока через сопротивление, подсоединенное последовательно. Известно, что при ЭДС источника $\mathcal{E}_1 = 20$ В и подсоединенном сопротивлении $r_1 = 4$ Ом через лампочку течет такой же ток, что и при ЭДС $\mathcal{E}_2 = 14$ В и сопротивлении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

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

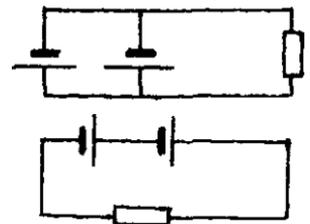
◇ **10.4.77** [м-3.2.25] В схеме, показанной на рисунке, $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 3$ Ом. Известно, что на сопротивлении R_1 выделяется мощность $P_1 = 25$ Вт. Какая мощность P_2 выделяется на сопротивлении R_2 ?



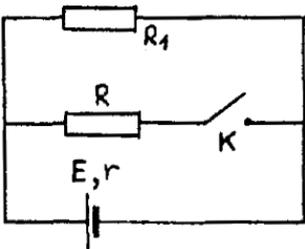
◇ **10.4.78** [м-3.2.26] Из однородной проволоки спаян квадрат $ABCD$ с диагональю AC (см. рисунок). Источник напряжения (внутренним сопротивлением которого можно пренебречь) подсоединяют к точкам AC схемы (случай 1), а затем к точкам BD (случай 2). Во сколько раз различаются мощности W_1 и W_2 , выделяемые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



◇ **10.4.79** [м-3.2.27] Батарея из двух одинаковых параллельно соединенных 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?



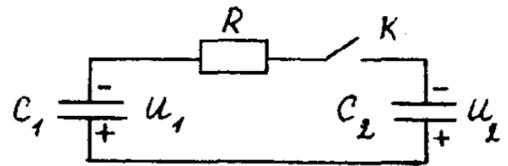
◇ **10.4.80** [м-3.2.28] В схеме, показанной на рисунке, сопротивление $R_1 = 1$ Ом. Определить внутреннее сопротивление источника тока r , если известно, что при замыкании ключа K сила тока через источник возрастает в $n = 3$ раза, а мощность, выделяющаяся во внешней цепи, увеличивается в $m = 2$ раза.



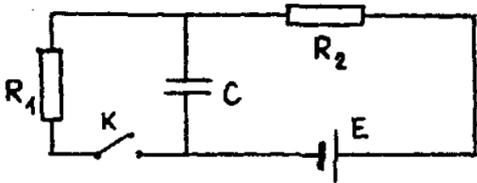
10.4.81 [м-з.2.29] Батарея из двух одинаковых параллельно соединенных элементов нагружена на внешнее сопротивление $R = 1$ Ом. После того, как элементы соединили последовательно, мощность, выделяемая во внешнем сопротивлении, увеличилась в $n = 2$ раза. Чему равно внутреннее сопротивление r каждого из элементов?

10.4.82 [м-з.2.30] Конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ разряжается через цепь из двух параллельно включенных 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?

◇ **10.4.83** [м-з.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?

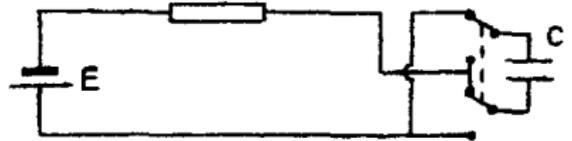


◇ **10.4.84** [м-з.2.32] Цепь, показанная на рисунке, находилась достаточно долго в состоянии с замкнутым ключом K . В некоторый момент времени ключ разомкнули. Какое количество теплоты Q выделится на резисторе R_2 после размыкания ключа? При расчетах положить: $\mathcal{E} = 300$ В, $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = 200$ Ом, $C = 10$ мкФ.

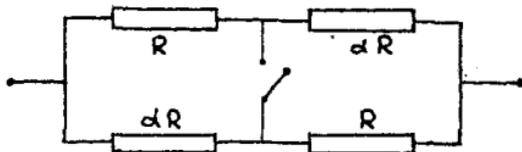


Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

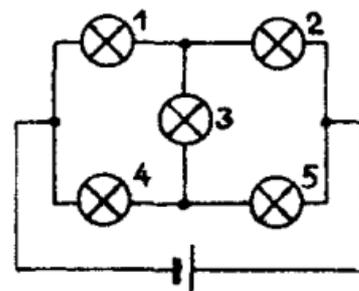
◇ **10.4.85** [м-з.2.33] Конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ включен в цепь через коммутатор, так что его выводы можно менять местами, одновременно перебрасывая оба ключа. После того, как напряжение на конденсаторе установилось, коммутатор переключили. Какая энергия выделится при этом на резисторе? При расчетах принять $\mathcal{E} = 300$ В.



◇ **10.4.86** [м-з.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.



◇ **10.4.87** [м-з.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.



10.4.88 [м-з.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 аккумуляторам, соединенным последовательно, выделяемая в нагревателе мощность составила $W_2 = 288$ Вт. Найти ЭДС \mathcal{E} аккумулятора.

10.4.89 [м-з.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, соединенным последовательно, выделяемая в нагревателе мощность составила $W_2 = 72$ Вт. Найти сопротивление R нагревателя.

10.4.90 [м-з.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, соединенным параллельно, выделяемая в нагревателе мощность составила $W_2 = 12,1$ Вт. Найти сопротивление R нагревателя.

10.4.91 [м-з.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, соединенным параллельно, выделяемая в нагревателе мощность составила $W_2 = 14,4$ Вт. Найти ЭДС \mathcal{E} аккумулятора.

10.4.92 [м-з.2.41] Во внешней нагрузке, подключенной 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, соединенным последовательно, мощность в нагрузке стала равной $W_2 = 1,44$ Вт?

10.4.93 [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 ?

11 класс

Электродинамика

Определения и теория

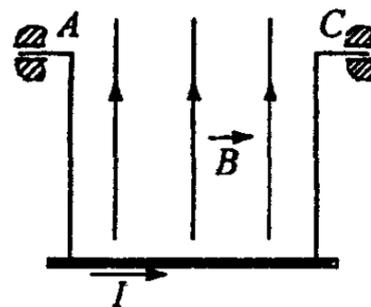
1. Сила Ампера (чертеж).
2. Сила Лоренца (чертеж).
3. Правило буравчика.
4. Правило левой руки.
5. Правило правой руки.

Магнетизм

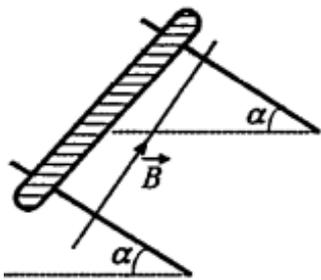
11.1.1 [Б-13.1] Непрямолинейный проводник массой $m = 0,03$ кг, по которому протекает ток $I = 5$ А, поднимается вертикально вверх в однородном горизонтальном магнитном поле с индукцией $B = 0,4$ Тл, двигаясь к линиям магнитной индукции под углом $\alpha = 30^\circ$. Через $t = 2$ с после начала движения он приобретает скорость $v = 4$ м/с. Определить длину проводника.

11.1.2 На двух тонких невесомых нитях горизонтально подвешен прямолинейный проводник массой m и длиной ℓ . По проводнику пропускают ток I . На какой угол от вертикали отклонятся нити, если проводник находится в вертикальном магнитном поле с индукцией B ?

◇ **11.1.3** [Б-13.2] Прямолинейный однородный проводник, подвешенный на двух гибких проволочках одинаковой длины, может вращаться вокруг В горизонтальной оси AC . Проводник находится в однородном вертикальном магнитном поле. Если по проводнику течет ток $I_1 = 1$ А, проволочки отклоняются на угол $\alpha = 30^\circ$ от вертикали. При какой силе тока они будут отклоняться на угол $\alpha_2 = 60^\circ$? Массой проволочек пренебречь.

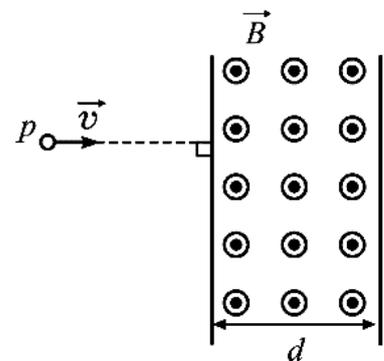


- ◇ 11.1.4 [Б-13.3] Стержень расположен перпендикулярно рельсам, расстояние между которыми $\ell = 50$ см. Рельсы составляют с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$. Какой должна быть индукция магнитного поля, перпендикулярного плоскости рельсов, чтобы стержень начал двигаться, если по нему пропустить ток силой $I = 40$ А? Коэффициент трения стержня о рельсы $\mu = 0,6$, масса стержня $m = 1$ кг.



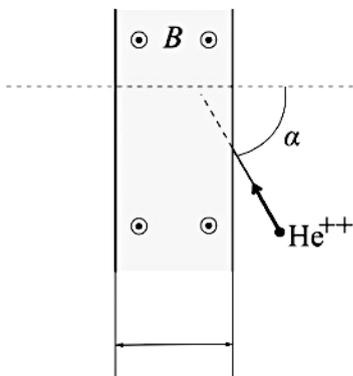
11.1.5 [Б-13.5] В однородном магнитном поле с индукцией B частице массой m и зарядом q сообщают скорость v , направленную перпендикулярно линиям магнитной индукции. Как будет двигаться эта частица в магнитном поле?

- ◇ 11.1.6 (9105) Протон, летящий со скоростью $v = 0,01c$ (1% от скорости света в вакууме), попадает в область пространства толщиной $d = 2$ см, где имеется однородное магнитное поле с индукцией $B = 1,5$ Тл, направленное перпендикулярно вектору \vec{v} (см. рисунок). На какой угол φ повернется вектор скорости протона после вылета из этой области?



11.1.7 [ЕГЭ] Электрон влетает в область однородного магнитного поля индукцией $B = 0,01$ Тл со скоростью $v = 1000$ км/с перпендикулярно линиям индукции. Какой путь он пройдет к тому моменту, когда вектор его скорости повернется на 1° ?

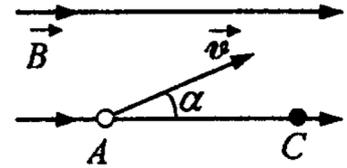
- 11.1.8 Альфа-частица, движущаяся со скоростью 100 км/с, влетает в



область однородного магнитного поля шириной 1 м с индукцией 5 мТл под углом 45° , как показано на рисунке. Направление скорости альфа-частицы перпендикулярно линиям индукции поля. Через какое время альфа-частица покинет область однородного магнитного поля? Действие силы тяжести не учитывайте. Отношение заряда альфа-частицы к ее массе примите равным $4,8 \cdot 10^7$ Кл/кг.

11.1.9 [Б-13.6] В однородное магнитное поле с индукцией B влетает со скоростью v частица массой m и зарядом q . Угол между вектором скорости \vec{v} и вектором магнитной индукции \vec{B} равен α . Как будет двигаться частица в магнитном поле?

◇ **11.1.10** [Б-13.7] Электрон влетает в однородное магнитное поле. В точке A он имеет скорость v , которая составляет с направлением поля угол α . При какой индукции магнитного поля электрон окажется в точке C ? Заряд электрона e , масса m , расстояние $AC = L$.



11.1.11 [Б-13.8] В область поперечного однородного магнитного поля с индукцией $B = 0,1$ Тл и размером $h = 0,1$ м по нормали влетает α -частица. Найти скорость частицы, если после прохождения магнитного поля она отклонится на угол $\varphi = 30^\circ$ от первоначального направления. Для α -частицы отношение заряда к массе (удельный заряд) $q/m = 0,5 \cdot 10^8$ Кл/кг.

11.1.12 [Б-13.9] Отрицательно заряженная частица влетает в область однородного магнитного поля с индукцией $B = 10^{-3}$ Тл, где движется по дуге окружности радиусом $R = 0,2$ м. Затем частица попадает в однородное электрическое поле, где пролетает вдоль направления силовой линии участок с разностью потенциалов $U = 10^3$ В, при этом скорость частицы изменяется в 3 раза. Определить конечную скорость частицы.

11.1.13 [Б-13.10] Электрон влетает в область пространства с однородным электростатическим полем с напряженностью $E = 6 \cdot 10^4$ В/м перпендикулярно линиям напряженности. Определить значение и направление индукции магнитного поля, которое надо создать в этой области для того, чтобы электрон пролетел ее, не испытывая отклонений. Энергия электрона $W = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

11.1.14 [М-3.3.1] Частица массой $m = 10^{-4}$ г, несущая заряд $q = 10^{-7}$ Кл, движется в плоскости, перпендикулярной однородному магнитному полю с индукцией $B = 1$ Тл. Найти период обращения частицы T . Силу тяжести не учитывать.

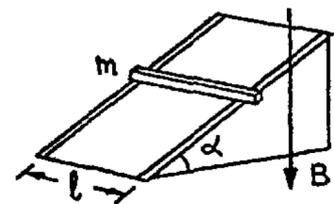
11.1.15 [М-3.3.2] Заряженная частица массой $m = 6,4 \cdot 10^{-27}$ кг влетает со скоростью $V_0 = 100$ км/с в область с постоянным и однородным магнитным полем, вектор индукции которого \vec{B} перпендикулярен \vec{V}_0 . На какой угол α отклонится частица, если область, занимаемая магнитным полем, в котором движется частица, ограничена плоскостями, перпендикулярными \vec{V}_0 , расстояние между которыми $L = 10$ см? Заряд частицы $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, индукция магнитного поля $B = 0,01$ Тл. Силу тяжести не учитывать.

11.1.16 [м-з.з.3] Горизонтальные рельсы, находящиеся в вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл, расположены на расстоянии $\ell = 0,5$ м друг от друга. На них лежит металлический стержень массой $m = 0,5$ кг, перпендикулярный рельсам. Какой величины I ток нужно пропустить по стержню, чтобы он начал двигаться? Коэффициент трения стержня о рельсы $\mu = 0,2$.

11.1.17 [м-з.з.4] Подвешенный горизонтально на двух невесомых нитях прямолинейный проводник находится в однородном магнитном поле, вектор индукции которого направлен вертикально. Если по проводнику течет ток $I_1 = 1$ А, то нити отклоняются от вертикали на угол $\alpha_1 = 30^\circ$. При какой силе тока I_2 в проводнике нити отклонятся на угол $\alpha_2 = 60^\circ$?

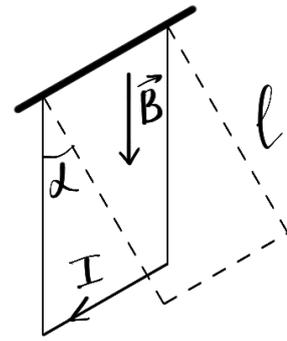
11.1.18 [м-з.з.5] Квадратная проволочная рамка может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, совпадающей с одной из ее сторон. Рамка помещена в однородное магнитное поле с индукцией \vec{B} , направленной вертикально. Когда по рамке течет ток $I = 5$ А, она отклоняется от вертикальной плоскости на угол $\alpha = 30^\circ$. Определить индукцию магнитного поля B , если площадь сечения проволоки, из которой изготовлена рамка, $S = 4$ мм², а плотность материала проволоки $\rho = 8,6 \cdot 10^3$ кг/м³. Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с².

◇ **11.1.19** [м-з.з.6] Вдоль наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$, проложены рельсы, по которым может скользить проводящий стержень массой $m = 1$ кг. Какой минимальной величины ток I нужно пропустить по стержню, чтобы он остался в покое, если вся система находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,2$ Тл, направленной вертикально? Коэффициент трения стержня о рельсы $\mu = 0,2$, расстояние между ними $\ell = 0,5$ м. Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с².

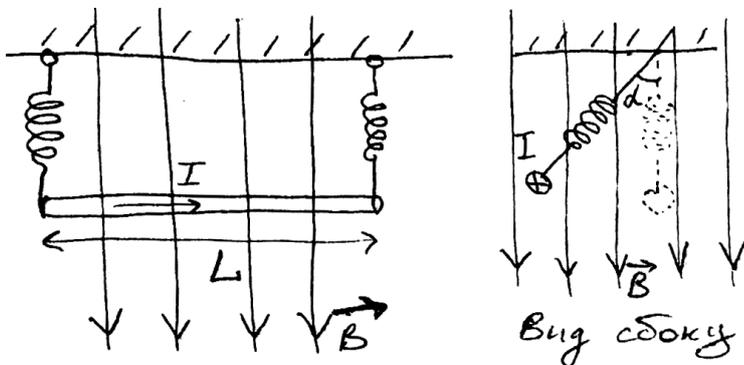


11.1.20 (11645) В вертикальном однородном магнитном поле на горизонтальной поверхности находится проводник массой 60 г и длиной 60 см. Через данный проводник пропускают ток 10 А. При этом проводник начинает скользить равномерно вдоль поверхности, причем коэффициент трения между проводником и поверхностью равен 0,3. Чему равна индукция магнитного поля? Сделайте рисунок с обозначением всех действующих на проводник сил.

◇ **11.1.21** (3816) Металлический стержень длиной $L = 0,1$ м и массой $m = 10$ г, подвешенный на двух параллельных проводящих нитях длиной $\ell = 1$ м, располагается горизонтально в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл, как показано на рисунке. Вектор магнитной индукции направлен вертикально. На какой максимальный угол отклонятся от вертикали нити подвеса, если по стержню пропустить ток силой 10 А в течение 0,1 с? Угол α отклонения нитей от вертикали за время протекания тока мал.



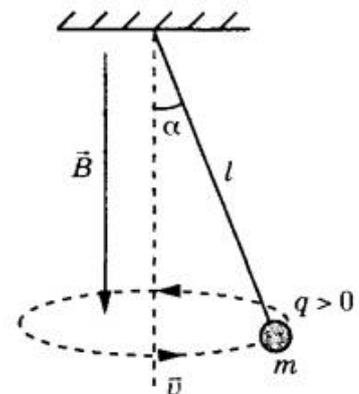
◇ **11.1.22** (2991) По прямому горизонтальному проводнику длиной 1 м с площадью поперечного сечения $1,25 \cdot 10^{-5}$ м², подвешенному с помощью двух



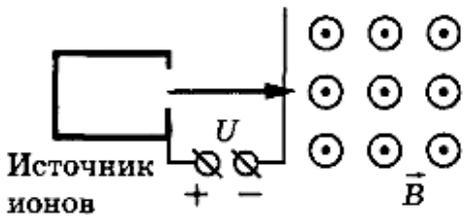
одинаковых невесомых пружин жесткостью 100 Н/м, течет ток (см. рисунок). Какой угол составляют оси пружин с вертикалью после включения вертикального магнитного поля с индукцией $B = 0,1$ Тл, если абсолютное удлинение каждой из пружин при этом составляет $7 \cdot 10^{-3}$ м? (Плотность материала проводника $8 \cdot 10^3$ кг/м³).

◇ **11.1.23** (3008) В однородном магнитном поле, индукция которого $B = 1,67 \cdot 10^{-5}$ Тл, протон движется перпендикулярно вектору магнитной индукции \vec{B} по окружности радиусом 5 м. Определите скорость протона.

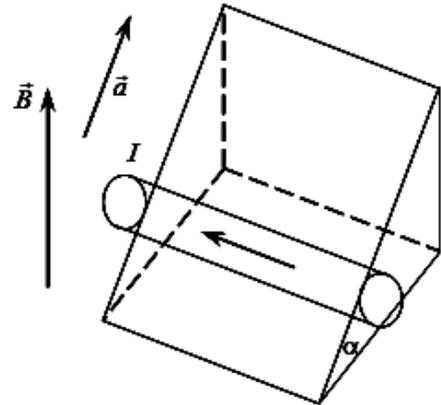
◇ **11.1.24** (3081) В однородном магнитном поле с индукцией B , направленной вертикально вниз, равномерно вращается по окружности в горизонтальной плоскости против часовой стрелки положительно заряженный шарик массой m , подвешенный на нити длиной ℓ (конический маятник) (см. рисунок). Угол отклонения нити от вертикали равен α , скорость вращения шарика равна v . Найдите заряд шарика q . Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на шарик.



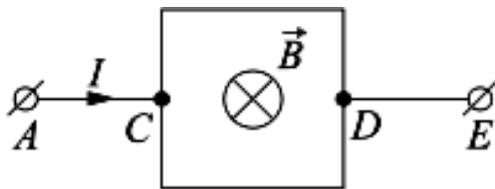
- ◇ 11.1.25 (4511) Ион ускоряется в электрическом поле с разностью потенциалов $U = 10$ кВ и попадает в однородное магнитное поле перпендикулярно к вектору его индукции \vec{B} (см. рисунок). Радиус траектории движения иона в магнитном поле $R = 0,2$ м, модуль индукции магнитного поля равен $0,5$ Тл. Определите отношение массы иона к его электрическому заряду m/q . Кинетической энергией иона при его вылете из источника пренебрегите.



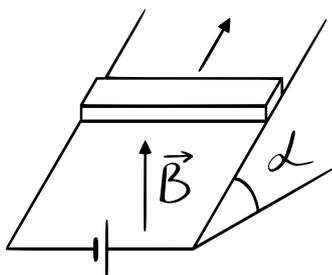
- ◇ 11.1.26 (9977) Стержень с током силой $I = 4$ А, находящийся в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,2$ Тл, движется с ускорением $a = 1,9$ м/с² вверх по наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом (см. рисунок). Найдите отношение массы стержня к его длине. Трением пренебречь.



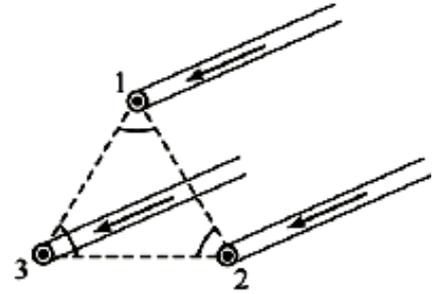
- ◇ 11.1.27 (11813) Квадратная рамка со стороной $\ell = 10$ см подключена к источнику постоянного тока серединами своих сторон так, как показано на рисунке. На участке AC течет ток $I = 2$ А. Сопротивление всех сторон рамки одинаково. В однородном магнитном поле, вектор индукции которого направлен перпендикулярно плоскости рамки, результирующая сила Ампера, действующая на рамку, $F = 80$ мН. Определите модуль вектора индукции магнитного поля B . Сделайте рисунок с указанием сил Ампера, действующих на все стороны рамки.



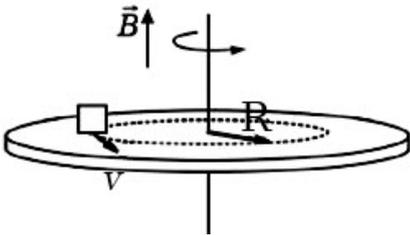
- ◇ 11.1.28 [ЕГЭ] На проводящих рельсах, проложенных по наклонной плоскости, в однородном вертикальном магнитном поле B находится горизонтальный прямой проводник прямоугольного сечения массой $m = 20$ г. Плоскость наклонена к горизонту под углом $\alpha = 30^\circ$. Расстояние между рельсами $L = 40$ см. Когда рельсы подключены к источнику тока, по проводнику протекает постоянный ток $I = 11$ А. При этом проводник движется вверх по рельсам поступательно, равномерно и прямолинейно. Коэффициент трения между проводником и рельсами $\mu = 0,2$. Найдите модуль индукции магнитного поля B .



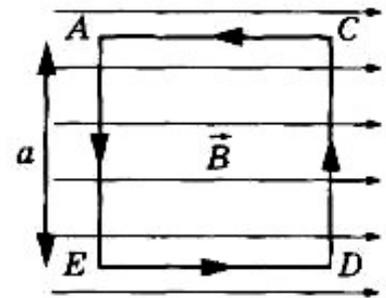
◇ **11.1.29** (9523) Три параллельных тонких длинных провода в сечении перпендикулярной им плоскостью находятся в вершинах равностороннего треугольника (см. рисунок), и по ним текут в одном направлении одинаковые токи. Во сколько раз изменится по модулю сила Ампера, действующая на единицу длины провода № 1 со стороны проводов №№ 2 и 3, если направление тока в проводе № 2 изменить на противоположное?



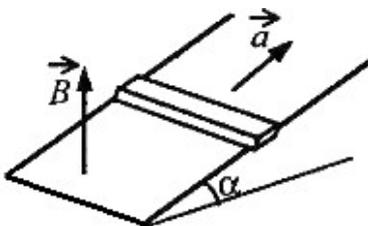
◇ **11.1.30** (3679) На шероховатом непроводящем диске, расположенном в горизонтальной плоскости, лежит точечное тело, находящееся на расстоянии $R = 0,5$ м от центра диска, и несущее заряд $q = 75$ мкКл. Диск равномерно вращается вокруг своей оси против часовой стрелки (если смотреть сверху), совершая $n = 0,5$ оборота в секунду. Коэффициент трения между телом и поверхностью диска равен $\mu = 0,6$. Какой должна быть минимальная масса m тела для того, чтобы в однородном магнитном поле с индукцией $B = 2$ Тл, направленном вертикально вверх, тело не скользило по поверхности диска?



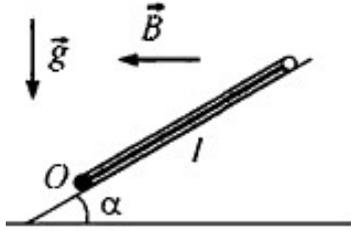
◇ **11.1.31** (5492) На непроводящей горизонтальной поверхности стола лежит жесткая рамка массой m из однородной тонкой проволоки, согнутая в виде квадрата $ACDE$ со стороной a (см. рисунок). Рамка находится в однородном горизонтальном магнитном поле, вектор индукции \vec{B} которого перпендикулярен сторонам AE и CD и равен по модулю B . По рамке против часовой стрелки протекает ток I . При каком значении массы рамки она начнет поворачиваться вокруг стороны CD ?



◇ **11.1.32** (3024) Горизонтальный проводящий стержень прямоугольного сечения поступательно движется с ускорением вверх по гладкой наклонной плоскости в вертикальном однородном магнитном поле (см. рисунок). По стержню протекает ток I . Угол наклона плоскости $\alpha = 30^\circ$. Отношение массы стержня к его длине $m/\ell = 0,1$ кг/м. Модуль индукции магнитного поля $B = 0,2$ Тл. Ускорение стержня $a = 1,9$ м/с². Чему равна сила тока в стержне?



◇ 11.1.33 (5746) Квадратная проводящая рамка со стороной $\ell = 50$ см и массой $m = 400$ г лежит на наклонной плоскости с углом наклона к горизонту,

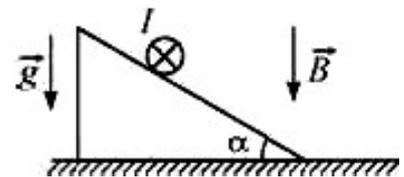


равным α . Нижняя горизонтальная сторона рамки шарнирно прикреплена к плоскости так, что рамка может без трения поворачиваться вокруг оси O , проходящей через эту сторону (см. рисунок, вид сбоку). Система находится в однородном горизонтальном магнитном

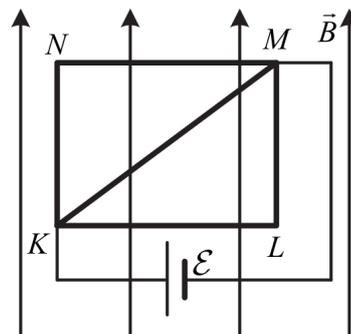
поле с индукцией $B = 1$ Тл, направленной перпендикулярно оси O . Ток какой силой I и в каком направлении надо пропускать по рамке, чтобы она начала приподниматься над плоскостью, поворачиваясь вокруг оси O ?

◇ 11.1.34 (3900) На шероховатой плоскости, наклоненной под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, находится однородный цилиндрический проводник массой $m = 100$ г и длиной $\ell = 57,7$ см (см. рисунок).

По проводнику пропускают ток в направлении «от нас», за плоскость рисунка. Вся система находится в направленном вертикально вниз однородном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл. При какой силе тока I цилиндр будет оставаться на месте, не скатываясь с плоскости и не накатываясь на нее?



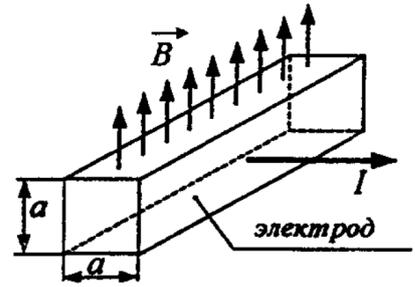
◇ 11.1.35 (20041) Из медной проволоки с удельным сопротивлением $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом \cdot м и площадью поперечного сечения $S = 0,2$ мм² изготовлен



прямоугольный контур $KLMN$ с диагональю KM (см. рисунок). Стороны прямоугольника $KL = \ell_1 = 20$ см и $LM = \ell_2 = 15$ см. Контур подключили за диагональ к источнику постоянного напряжения с ЭДС $\mathcal{E} = 1,4$ В и поместили в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,1$ Тл, параллельной сторонам KN и LM . С какой результирующей силой магнитное

поле действует на контур? Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на контур. Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

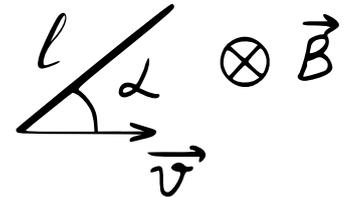
◇ **11.1.36** [Б-13.4] Магнитогидродинамический насос для перекачки жидких (расплавленных) металлов имеет участок в виде канала квадратного сечения со стороной $a = 2$ см, находящийся в однородном магнитном поле. При пропускании через боковые электроды перпендикулярно магнитному полю тока $I = 100$ А в насосе создается перепад давления $\Delta p = 0,5$ кПа. Определить индукцию магнитного поля.



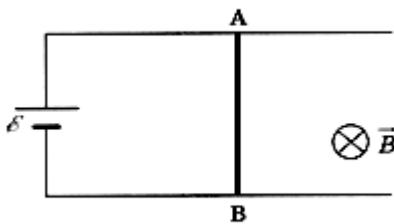
Электромагнитная индукция

11.1.37 Тонкая медная перемычка длиной ℓ движется поступательно по параллельным проводящим рельсам П-образной рамки со скоростью v . Рамка находится в однородном магнитном поле с индукцией B , причем линии магнитной индукции пересекают плоскость рамки под углом φ к нормали. Выведите формулу для ЭДС индукции, наводимой в перемычке.

◇ **11.1.38** Проводник длиной ℓ движется в магнитном поле \vec{B} с постоянной скоростью v как показано на рисунке. Угол между проводником и его скоростью составляет α . Выведите формулу для ЭДС индукции, наводимой в перемычке.



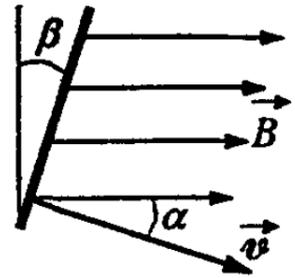
◇ **11.1.39** Проводник AB длиной $0,5$ м может скользить по горизонтальным рельсам, подключенным к источнику тока с ЭДС 2 В. Однородное магнитное поле с индукцией $0,5$ Тл направлено вертикально вниз, как показано на рисунке. С какой скоростью и в каком направлении нужно перемещать проводник AB , чтобы сила тока через него была равна нулю?



11.1.40 [Б-13.11] Длинная тонкая незаряженная пластина из немагнитного материала движется с постоянной скоростью v в однородном магнитном поле с индукцией B . Векторы \vec{B} и \vec{v} взаимно перпендикулярны и параллельны плоскости пластины. Определить поверхностную плотность заряда σ , возникающего на боковых плоскостях пластины вследствие ее движения.

11.1.41 [Б-13.12] Самолет летит горизонтально со скоростью $v = 720$ км/ч. Определить ЭДС индукции U , возникающей на концах крыльев, если вертикальная составляющая магнитного поля Земли $B_{\text{вер}} = 3 \cdot 10^{-9}$ Тл. Размах крыльев самолета $\ell = 20$ м. Определить максимальную ЭДС индукции U_{max} , которая может возникнуть при полете самолета. Горизонтальная составляющая поля Земли $B_{\text{гор}} = 1,2 \cdot 10^{-9}$ Тл.

◇ **11.1.42** [Б-13.13] В горизонтальном магнитном поле с индукцией B с постоянной скоростью v движется проводник длиной ℓ . Определить напряжение U , возникающее на концах проводника, если вектор скорости \vec{v} лежит в горизонтальной плоскости и составляет угол α с направлением вектора магнитной индукции, а проводник наклонен под углом β к вертикали.

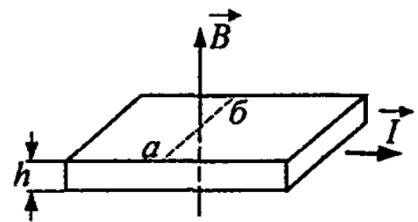


11.1.43 Однородный сплошной металлический цилиндр радиусом R из состояния покоя раскручивают вокруг оси до угловой скорости ω .

- (a) Почему заряды в цилиндре начнут перераспределяться?
- (b) Почему перераспределение заряда прекратится?
- (c) Электростатическое или вихревое электрическое поле будет создавать вращающийся цилиндр?
- (d) Будет ли вращающийся цилиндр создавать магнитное поле?
- (e) Верно ли утверждение, что в цилиндре существуют круговые токи?

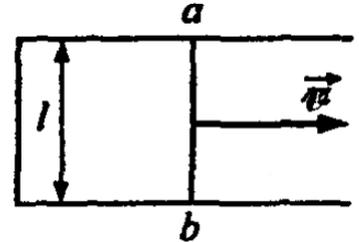
11.1.44 [Б-13.14] Незаряженный металлический цилиндр вращается в магнитном поле с угловой скоростью ω вокруг своей оси. Индукция магнитного поля направлена вдоль оси цилиндра; m_e — масса электрона, $|e|$ — элементарный заряд. Каково должно быть значение индукции магнитного поля, чтобы в цилиндре не возникало электрическое поле?

◇ **11.1.45** [Б-13.15] По металлической ленте, толщина которой равна h , течет ток I . Лента помещена в однородное магнитное поле, индукция которого равна B и направлена перпендикулярно поверхности ленты. Определить разность потенциалов между точками a и b ленты, если концентрация свободных электронов в металле равна n , $|e|$ — элементарный заряд.



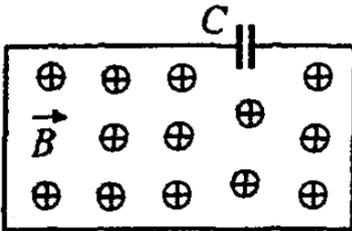
11.1.46 [Б-13.16] В вертикальном магнитном поле с индукцией B вращается с постоянной угловой скоростью ω прямолинейный тонкий проводник длиной ℓ вокруг одного из концов. Плоскость вращения проводника горизонтальна. Определить напряжение на концах проводника.

◇ **11.1.47** [Б-13.17] Прямоугольная проволочная рамка со стороной ℓ находится в магнитном поле с индукцией B , перпендикулярном к плоскости рамки (см. рисунок). По рамке параллельно одной из ее сторон без нарушения контакта скользит с постоянной скоростью v перемычка ab , сопротивление которой равно R . Определить ток через перемычку. Сопротивлением остальной части рамки пренебречь.

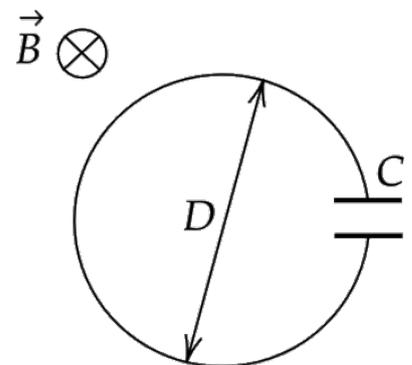


11.1.48 (2989) Горизонтальный проводник длиной 1 м движется равноускоренно в вертикальном однородном магнитном поле, индукция которого равна 0,5 Тл. Скорость проводника горизонтальна и перпендикулярна проводнику. При начальной скорости проводника, равной нулю, проводник переместился на 1 м. ЭДС индукции на концах проводника в конце перемещения равна 2 В. Каково ускорение проводника?

◇ **11.1.49** [Б-13.18] Рамка из проволоки, в которую вмонтирован конденсатор, пронизывается перпендикулярно ее плоскости однородным магнитным полем. Скорость изменения индукции этого поля $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 0,02$ Тл/с. Определить энергию заряженного конденсатора, если его емкость $C = 4$ мкФ, площадь рамки $S = 50$ см².



◇ **11.1.50** (19866) Кольцо диаметром $D = 11$ см из тонкой медной проволоки и конденсатор с электрической емкостью $C = 2,5$ мкФ соединены параллельно. Кольцо помещается в равномерно изменяющееся однородное магнитное поле, вектор магнитной индукции которого направлен вдоль оси кольца. На конденсаторе появляется заряд, равный 47,5 нКл. Найдите скорость изменения индукции магнитного поля через кольцо.



11.1.51 [Б-13.19] Замкнутый проводник сопротивлением $R = 30$ Ом находится во внешнем магнитном поле, причем поток магнитной индукции, пронизывающий образованный проводником контур, равномерно возрастает с $\Phi_1 = 2 \cdot 10^{-4}$ Вб до $\Phi_2 = 5 \cdot 10^{-4}$ Вб. Определить заряд, который пройдет при этом через сечение проводника.

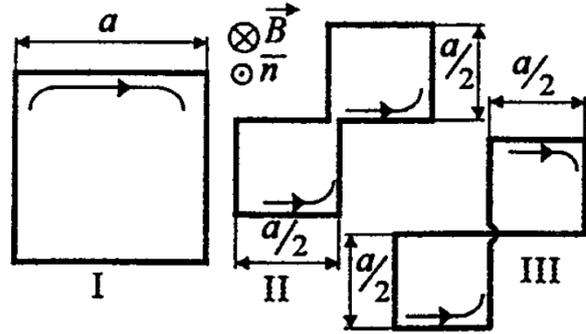
11.1.52 [Б-13.20] Плоский замкнутый металлический контур площадью $S_0 = 10$ см² деформируется в однородном магнитном поле, индукция которого $B = 10^{-2}$ Тл. Площадь контура за время $\tau = 2$ с равномерно уменьшается до $S_k = 2$ см² (плоскость контура при этом остается перпендикулярной магнитному полю). Определить силу тока, протекающего по контуру в течение времени τ , если сопротивление контура $R = 1$ Ом.

11.1.53 [Б-13.21] В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,05$ Тл находится проволочный контур площадью $S = 20$ см², плоскость которого перпендикулярна магнитному полю. Контур присоединен к баллистическому гальванометру. При повороте контура в положение, когда его плоскость параллельна магнитному полю, через гальванометр проходит заряд $q = 2 \cdot 10^{-4}$ Кл. Найти сопротивление всей цепи.

11.1.54 [Б-13.22] В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл расположен плоский проволочный виток, плоскость которого перпендикулярна линиям индукции. Виток замкнут на гальванометр. Площадь витка $S = 10^3$ см², его сопротивление $R = 2$ Ом. Через гальванометр при повороте витка проходит полный заряд $q = 7,5 \cdot 10^{-3}$ Кл. На какой угол повернули виток?

11.1.55 [Б-13.23] Катушка, имеющая $N = 100$ витков, расположена в однородном магнитном поле с индукцией $B = 10^{-2}$ Тл. Плоскости ее витков перпендикулярны линиям магнитной индукции. Площадь одного витка $S = 10$ см². Катушка присоединена к баллистическому гальванометру так, что сопротивление всей цепи $R = 10$ Ом. При повороте катушки на угол α через гальванометр проходит заряд $Q = 5 \cdot 10^{-5}$ Кл. Определить угол α .

◇ **11.1.56** [Б-13.24] Квадратная рамка со стороной a помещается в однородное магнитное поле, перпендикулярное ее плоскости. При этом по рамке протекает заряд Q . Какой заряд протечет по рамке, если ей при неизменном поле придать форму двух равных квадратов? (Рассмотреть варианты II и III).



◇ **11.1.57** (10441) На рисунке приведен график зависимости модуля индукции B магнитного поля от времени t . В это поле перпендикулярно линиям магнитной индукции помещен проводящий прямоугольный контур сопротивлением $R = 50$ мОм. Найдите площадь контура, если за все время в контуре выделилось $1,5$ мДж теплоты.

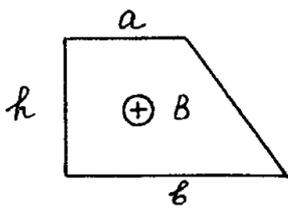


11.1.58 [Б-13.25] По двум медным шинам, установленным под углом α к горизонту, скользит под действием силы тяжести проводящая перемычка массой m и длиной ℓ . Скольжение происходит в однородном магнитном поле с индукцией B . Поле перпендикулярно плоскости перемещения перемычки. Вверху шины соединены резистором с сопротивлением R . Коэффициент трения скольжения между поверхностями шин и перемычки равен μ ($\mu < \operatorname{tg} \alpha$). Пренебрегая сопротивлением шин и перемычки, найти ее установившуюся скорость. Перемычка находится в горизонтальной плоскости и перпендикулярна шинам.

11.1.59 [Б-13.26] По горизонтальным параллельным рельсам, расстояние между которыми равно d , может скользить без трения перемычка, масса которой m . Рельсы соединены резистором с сопротивлением R и помещены в вертикальное однородное магнитное поле, индукция которого B . Перемычке сообщают скорость v_0 . Найти путь S , пройденный перемычкой до остановки.

11.1.60 [Б-13.27] Проводящее кольцо массой m , диаметром d и сопротивлением R падает в поле силы тяжести с большой высоты так, что плоскость кольца остается все время горизонтальной. Найти установившуюся скорость кольца, если его падение происходит в магнитном поле, вертикальная составляющая индукции которого изменяется с высотой z по закону $B_z = B_0(1 + \alpha z)$, где B_0 и α — известные константы.

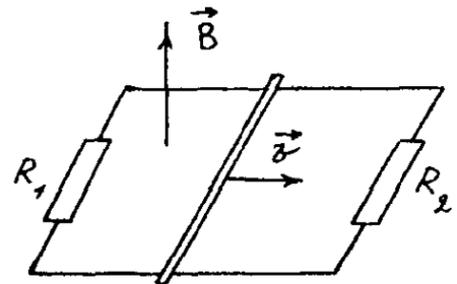
- ◇ **11.1.61** [м-3.4.1] Замкнутый проводник в виде прямоугольной трапеции находится в магнитном поле с индукцией $B = 6 \cdot 10^{-2}$ Тл, направленной перпендикулярно плоскости трапеции от нас. Сопротивление единицы длины проводника $\rho = 0,023$ Ом/м. Найти величину и направление тока I , текущего в проводнике при равномерном уменьшении поля до нуля в течение $t = 3$ с. Размеры отрезков проводника $a = 0,2$ м, $b = 0,5$ м, $h = 0,4$ м.



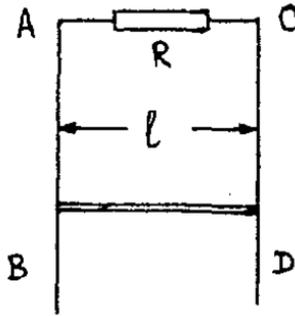
11.1.62 [м-3.4.2] Кольцо радиуса $r = 1$ м, сделанное из тонкой проволоки, находится в однородном магнитном поле, индукция которого увеличивается пропорционально времени t по закону $B = kt$. Определить мощность P , выделяющуюся в кольце, если известно, что сопротивление кольца равно $R = 1$ Ом, вектор индукции B составляет угол $\alpha = 60^\circ$ с нормалью к плоскости кольца, $k = 1$ Тл/с.

11.1.63 [м-3.4.3] Катушка из n одинаковых витков с площадью S присоединена к баллистическому гальванометру. Вначале катушка находилась между полюсами магнита в однородном магнитном поле с индукцией B , параллельной оси катушки. Затем катушку переместили в пространство, где магнитное поле отсутствует. Какое количество электричества Q протекло через гальванометр? Сопротивление всей цепи R .

- ◇ **11.1.64** [м-3.4.6] По двум параллельным проводам со скоростью $V = 20$ см/с, направленной вдоль проводов, движется проводящий стержень. Между концами проводов включены резисторы $R_1 = 2$ Ом и $R_2 = 4$ Ом. Расстояние между проводами $d = 10$ см. Провода помещены в однородное магнитное поле, индукция которого $B = 10$ Тл перпендикулярна плоскости, проходящей через провода. Найти силу тока I , текущего по стержню. Сопротивлением проводов, стержня и контактов между ними пренебречь.

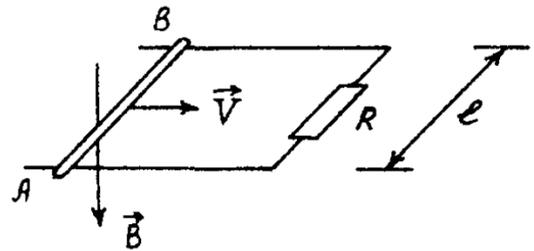


◇ 11.1.65 [М-3.4.7] По двум вертикальным проводящим рейкам AB и CD (см. рисунок), находящимся на расстоянии ℓ и соединенным сопротивлением R ,



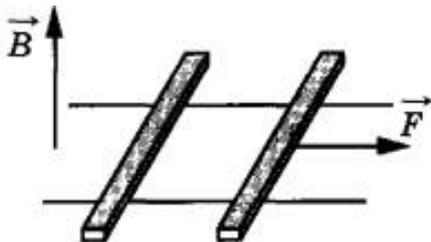
под действием силы тяжести начинает скользить проводник, длина которого ℓ и масса m . Система находится в однородном магнитном поле, индукция которого B перпендикулярна плоскости рисунка. Какова установившаяся скорость V движения проводника, если сопротивлением самого проводника и реек, а также трением можно пренебречь? Ускорение свободного падения g .

◇ 11.1.66 [М-3.4.8] Параллельные проводящие шины, расположенные в горизонтальной плоскости, замкнуты на резистор сопротивлением R и помещены в постоянное однородное магнитное поле, вектор индукции которого направлен по вертикали вниз. По шинам без трения может перемещаться проводник AB , сохраняя постоянно контакт с шинами. Найти



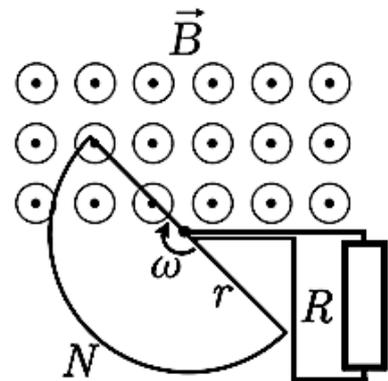
величину и направление силы \vec{F} , которую нужно приложить к проводнику, чтобы он двигался вдоль шин поступательно с постоянной скоростью \vec{V} . Сопротивлением шин и проводника пренебречь. При расчетах положить: $R = 100$ Ом, $B = 2$ Тл, $V = 0,1$ м/с, $\ell = 20$ см.

◇ 11.1.67 (9330) По горизонтально расположенным шероховатым рельсам с пренебрежимо малым сопротивлением могут скользить два одинаковых стержня массой m и сопротивлением R каждый. Расстояние между рельсами ℓ , а коэффициент трения между стержнями и рельсами μ . Рельсы со стержнями

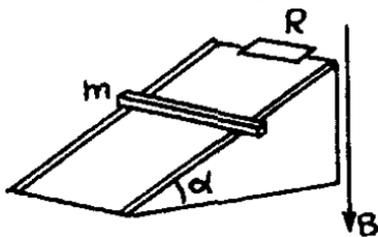


находятся в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией B (см. рисунок). Под действием горизонтальной силы, действующей на первый стержень вдоль рельс, оба стержня движутся поступательно равномерно с разными скоростями. Какова скорость движения первого стержня относительно второго? Самоиндукцией контура пренебречь.

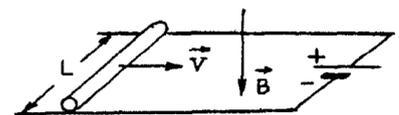
◇ **11.1.68** (7130) В зазоре между полюсами электромагнита вращается с угловой скоростью $\omega = 100$ рад/с проволочная рамка в форме полуокружности радиусом $r = 5$ см, содержащая $N = 20$ витков провода. Ось вращения рамки проходит вдоль оси O рамки и находится вблизи края области с постоянным однородным магнитным полем с индукцией $B = 1$ Тл (см. рисунок), линии которого перпендикулярны плоскости рамки. Концы обмотки рамки замкнуты через скользящие контакты на резистор с сопротивлением $R = 25$ Ом. Пренебрегая сопротивлением рамки, найдите тепловую мощность, выделяющуюся в резисторе.



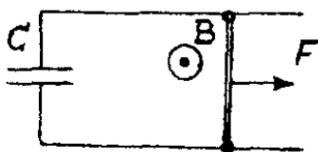
◇ **11.1.69** [м-3.4.9] По параллельным рельсам, наклоненным под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, соскальзывает без трения проводящий брусок массой $m = 100$ г. В верхней части рельсы замкнуты резистором с сопротивлением $R = 20$ Ом. Вся система находится в однородном магнитном поле, направленном вертикально. Чему равна сила тока I , текущего по бруску, если известно, что он движется с постоянной скоростью $V = 1$ м/с? Сопротивлением бруска и рельсов пренебречь.



◇ **11.1.70** [м-3.4.10] В магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл, направленной вертикально вниз, по горизонтальным рельсам равномерно движется проводящий стержень длины $L = 0,4$ м со скоростью $V = 5$ м/с. Концы рельсов присоединены к батарее с ЭДС $\mathcal{E} = 10,1$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,1$ Ом. Какое количество теплоты Q выделится в стержне за время $t = 10$ с, если его сопротивление $R = 10$ Ом? Сопротивлением рельсов и соединительных проводов пренебречь.



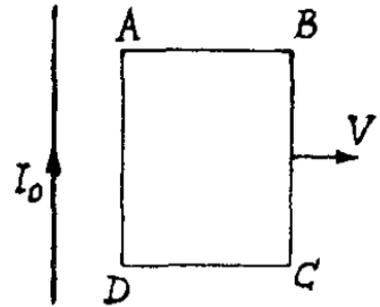
◇ **11.1.71*** [м-3.4.12] По двум металлическим параллельным рейкам, расположенным в горизонтальной плоскости к замкнутым на конденсатор C , может без трения двигаться проводник массой m и длиной ℓ . Вся система находится в однородном магнитном поле с индукцией B , направленной вверх. К середине проводника перпендикулярно ему и параллельно рейкам приложена сила F . Определить ускорение подвижного проводника. Сопротивлением реек и подводных проводов пренебречь. В начальный момент скорость проводника равна нулю.



◇ **11.1.72** [м-3.4.13] По двум параллельным рельсам, расположенным в горизонтальной плоскости, движется проводящий стержень длиной L со скоростью V . Концы рельсов замкнуты на конденсатор C . Вся система находится в однородном магнитном поле с индукцией B , направленной вертикально. Чему равно заряд Q конденсатора, если известно, что стержень движется с постоянной скоростью V ? Сопротивлением рельсов и соединительных проводов пренебречь.

11.1.72 [м-3.4.13] Металлический диск радиусом $r = 10$ см, расположенный перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля с индукцией $B = 1$ Тл, вращается вокруг оси, проходящей через его центр, с угловой скоростью $\omega = 628$ рад/с. Два скользящих контакта, один на оси диска, другой — на краю, соединяют диск с резистором сопротивлением $R = 5$ Ом. Какая мощность W выделяется на резисторе? Сопротивлением диска и соединительных проводов пренебречь.

◇ **11.1.73*** [м-3.4.11] Прямоугольный контур $ABCD$ перемещается поступательно с постоянной скоростью V в магнитном поле тока I_0 , текущего по длинному прямому проводу OO' . Стороны AD и BC параллельны проводу. Определить величину и направление тока, индуцированного в контуре в тот момент, когда сторона AD находится на расстоянии x_0 от провода. $AD = BC = a$, $AB = DC = b$. Сопротивление контура R .



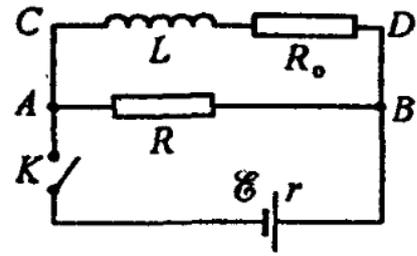
Индуктивность. ЭДС самоиндукции.

11.1.74 [м-3.4.4] При равномерном изменении силы тока через проволочную катушку в ней возникает ЭДС самоиндукции $\mathcal{E} = 10$ В. Катушка содержит $N = 1000$ витков. Какой заряд q протечет за время $\Delta t = 0,05$ с через замкнутый проволочный виток, надетый на катушку так, что его плоскость перпендикулярна оси катушки? Сопротивление витка $R = 0,2$ Ом.

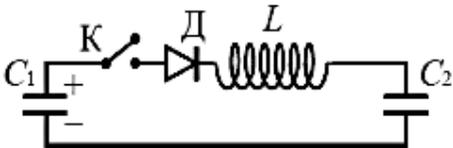
11.1.75 [м-3.4.5] Катушку с индуктивностью $L = 0,3$ Гн подключают к источнику с ЭДС $\mathcal{E} = 1,5$ В. Через какой промежуток времени Δt сила тока в цепи будет равна $I = 5$ А? Омическим сопротивлением катушки и внутренним сопротивлением источника пренебречь.

11.1.76 [Б-13.28] Через соленоид, индуктивность которого $L = 0,4$ мГн и площадь поперечного сечения $S = 10$ см², проходит ток силой $I = 0,5$ А. Какова индукция магнитного поля внутри соленоида, если он содержит $N = 100$ витков?

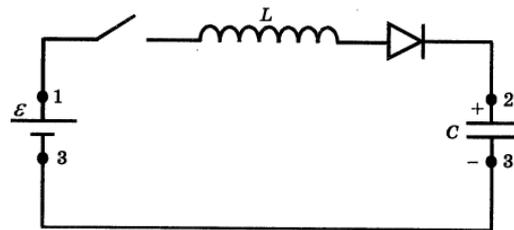
◇ 11.1.77 [Б-13.29] В цепи, где $L = 2$ мкГн, $R_0 = 1$ Ом, $\mathcal{E} = 3$ В ключ К замыкают. После того как ток в катушке достигает установившегося значения, ключ размыкают. Найти количество теплоты Q , выделившейся в цепи после размыкания ключа. Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



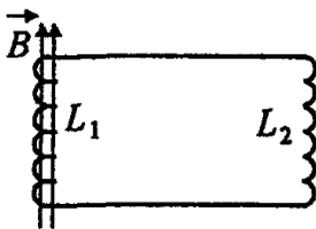
◇ 11.1.78 [ЕГЭ] К конденсатору C_1 через диод и катушку индуктивности L подключен конденсатор емкостью $C_2 = 2$ мкФ. До замыкания ключа K конденсатор C_1 был заряжен до напряжения $U = 50$ В, а конденсатор C_2 не заряжен. После замыкания ключа система перешла в новое состояние равновесия, в котором напряжение на конденсаторе C_2 оказалось равным $U_2 = 20$ В. Какова емкость конденсатора C_1 ? Активное сопротивление цепи пренебрежимо мало.



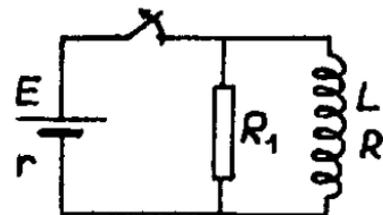
◇ 11.1.79 В схеме на рисунке заряд конденсатора равен q_0 . Найти максимальный заряд на конденсаторе после замыкания ключа. \mathcal{E} , C и L известны, внутреннее сопротивление источника равно нулю, диод идеальный.



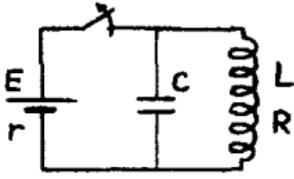
◇ 11.1.80 [Б-13.31] Катушка из n витков, площадь каждого из которых равна S , расположена в однородном поле. Вектор индукции поля B перпендикулярен виткам катушки. Вне поля расположена вторая катушка. Обе катушки соединены проводниками. Индуктивности катушек равны L_1 и L_2 . Омическим сопротивлением катушек и проводников пренебречь. Определите величину тока, возникающего в катушках после выключения поля.



◇ 11.1.81 [М-3.4.14] Катушка индуктивностью $L = 0,4$ Гн с сопротивлением обмотки $R = 2$ Ом подключена параллельно с резистором сопротивлением $R_1 = 8$ Ом к источнику с ЭДС $\mathcal{E} = 6$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,2$ Ом. Какое количество тепла Q выделится в сопротивлении R_1 после отключения источника?

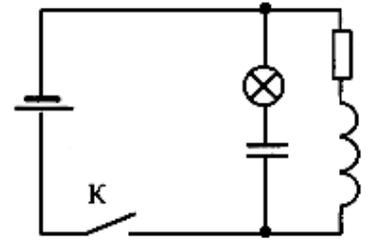


- ◇ 11.1.82 [М-3.5.3] Катушка индуктивностью $L = 2$ мГн с сопротивлением обмотки $R = 10$ Ом и конденсатор емкостью $C = 10^{-5}$ Ф подключены параллельно к источнику с ЭДС $\mathcal{E} = 100$ В и внутренним сопротивлением $r = 10$ Ом. Какое количество тепла Q выделится в контуре после отключения источника?

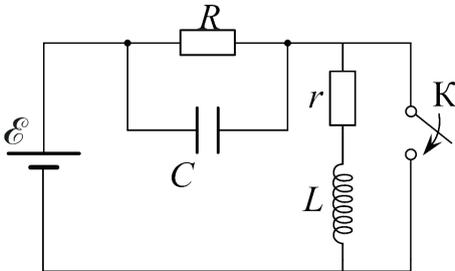


- 11.1.83 [Б-13.32] Конденсатор емкостью C , заряженный до напряжения U , разряжается на катушку с индуктивностью L и сопротивлением R . Какое количество теплоты Q выделится в катушке к тому моменту, когда сила тока в ней достигнет наибольшего значения I ?

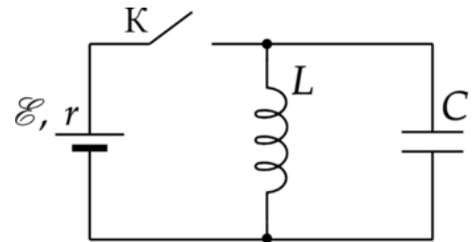
- ◇ 11.1.84 (3038) В электрической цепи, показанной на рисунке, ЭДС источника тока равна 12 В, емкость конденсатора 2 мФ, индуктивность катушки 5 мГн, сопротивление лампы 5 Ом и сопротивление резистора 3 Ом. В начальный момент времени ключ K замкнут. Какая энергия выделится в лампе после размыкания ключа? Внутренним сопротивлением источника тока и проводов пренебречь.

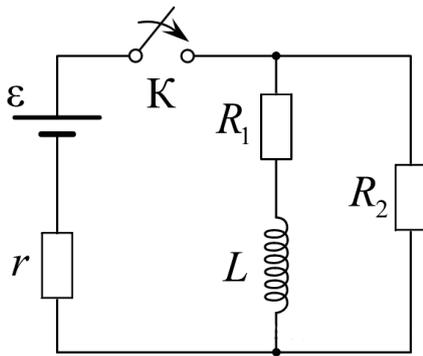


- ◇ 11.1.85 (6872) В цепи, схема которой изображена на рисунке, ключ K в некоторый момент замыкают. На сколько после этого изменится заряд q конденсатора C емкостью 10 мкФ? ЭДС источника с малым внутренним сопротивлением равна $\mathcal{E} = 5$ В, сопротивление резистора $R = 4$ Ом, сопротивление катушки индуктивности $r = 1$ Ом, сопротивлением проводов можно пренебречь.



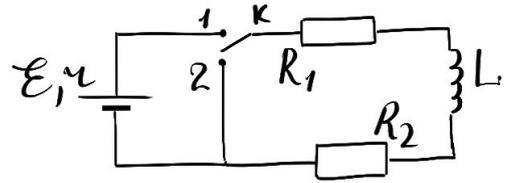
- ◇ 11.1.86 (7986) В цепи, показанной на рисунке, ключ K долгое время замкнут. ЭДС источника $\mathcal{E} = 3$ В. Внутреннее сопротивление источника равно $r = 2$ Ом. Индуктивность катушки равна $L = 50$ мГн. Ключ размыкают. Определите напряжение на конденсаторе, емкость которого равна $C = 50$ мкФ, в тот момент времени, когда сила тока в катушке будет равна $I = 1$ А.



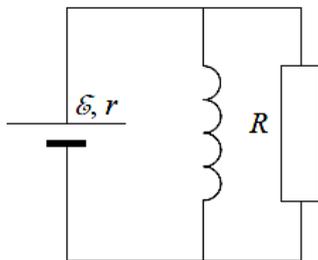


◇ **11.1.87** (9167) В схеме, изображенной на рисунке, ключ K вначале замыкают на достаточно долгое время, пока ток в цепи не установится, а затем размыкают. Какое количество теплоты выделится после этого в резисторе R_1 ? Параметры цепи: $\mathcal{E} = 5$ В, $r = 10$ Ом, $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, $L = 30$ мГн.

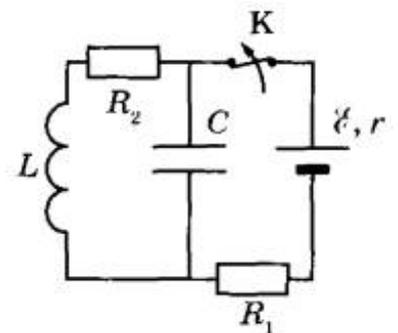
◇ **11.1.88** (10240) В схеме, изображенной на рисунке, ЭДС источника $\mathcal{E} = 12$ В, его внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом, сопротивление резистора $R_1 = 10$ Ом, сопротивление катушки индуктивности L равно $R_2 = 1$ Ом. Вначале ключ K замыкают в положение 1, а через длительное время переключают в положение 2. После этого в замкнутой части цепи справа от ключа выделяется количество теплоты $Q = 2$ Дж. Какой поток Φ вектора магнитной индукции существовал в катушке индуктивности перед переключением ключа в положение 2?



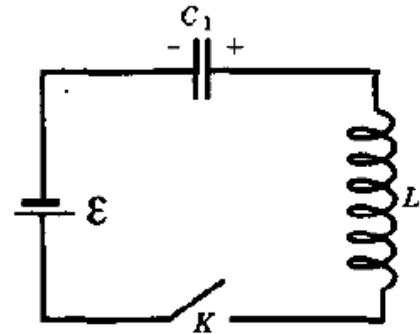
◇ **11.1.89** (4219) В цепи, схема которой изображена на рисунке, вначале замыкают ключ K на время, за которое ток в катушке индуктивности достигает максимально возможного значения, а затем размыкают его. Какое количество теплоты выделится после этого в резисторе R ? Параметры цепи: $\mathcal{E} = 10$ В, $r = 2$ Ом, $R = 10$ Ом, $L = 20$ мГн. Сопротивление катушки индуктивности очень мало.



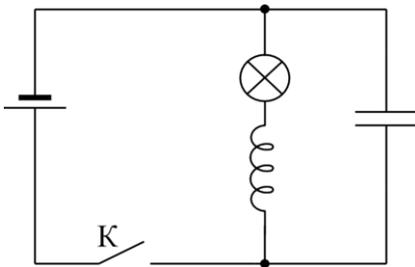
◇ **11.1.90** На рисунке показана схема электрической цепи, состоящей из источника тока с ЭДС $\mathcal{E} = 18$ В и внутренним сопротивлением $r = 2$ Ом, двух резисторов с сопротивлениями $R_1 = 10$ Ом и $R_2 = 6$ Ом, конденсатора электроёмкостью $C = 6$ мкФ и катушки с индуктивностью $L = 12$ мкГн. В начальном состоянии ключ K длительное время замкнут. Какое количество теплоты выделится на резисторе R_2 после размыкания ключа K ? Сопротивлением катушки пренебречь.



◇ **11.1.91** В изображенной на рисунке схеме ЭДС батареи $\mathcal{E} = 10$ В, емкость конденсатора $C_1 = 2$ мкФ, индуктивность катушки L неизвестна. При разомкнутом ключе K конденсатор заряжен до напряжения $U_0 = 0,5\mathcal{E}$. Пренебрегая омическим сопротивлением цепи, определите максимальный заряд на конденсаторе после замыкания ключа.



◇ **11.1.92** В цепь включили источник тока, лампу, конденсатор и катушку, как показано на рисунке. ЭДС источника 35 В, его внутреннее сопротивление 2 Ом, сопротивление лампы 6 Ом, индуктивность катушки 150 мкГн, емкость конденсатора 250 мкФ. Какое количество теплоты выделится в лампе при размыкании ключа? Ключ до размыкания долгое время замкнут. Сопротивлением катушки и проводов пренебречь.

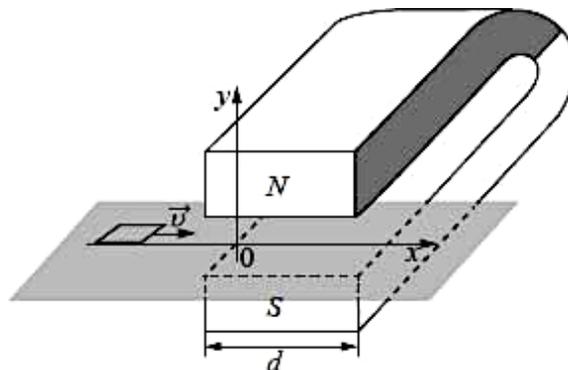


11.1.93 (19716) Рамка площадью $S = 0,5$ см², содержащая $N = 100$ витков провода, очень быстро пролетает между полюсами электромагнита, создающего индукцию магнитного поля $B = 2$ Тл. Линии индукции магнитного поля направлены перпендикулярно плоскости рамки. Концы провода присоединены к электрической цепи, в которой последовательно соединены идеальный диод, пропускающий ток только в одном направлении, резистор сопротивлением $R = 2$ кОм и конденсатор емкостью $C = 5$ мкФ. Какую энергию в результате запасет конденсатор?

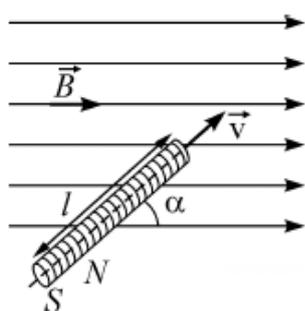
11.1.94 (5527) В постоянном магнитном поле заряженная частица движется по окружности. Когда индукцию магнитного поля стали увеличивать, обнаружилось, что скорость частицы изменяется так, что поток вектора магнитной индукции через площадь, ограниченную орбитой, остается постоянным. Найдите кинетическую энергию частицы E в поле с индукцией B , если в поле с индукцией B_0 ее кинетическая энергия равна E_0 .

11.1.95 (3030) Плоская рамка из провода сопротивлением 5 Ом находится в однородном магнитном поле. Проекция магнитной индукции поля на ось Ox , перпендикулярную плоскости рамки, меняется от $B_{1x} = 3$ Тл до $B_{2x} = -1$ Тл. За время изменения поля по рамке протекает заряд 1,6 Кл. Определите площадь рамки.

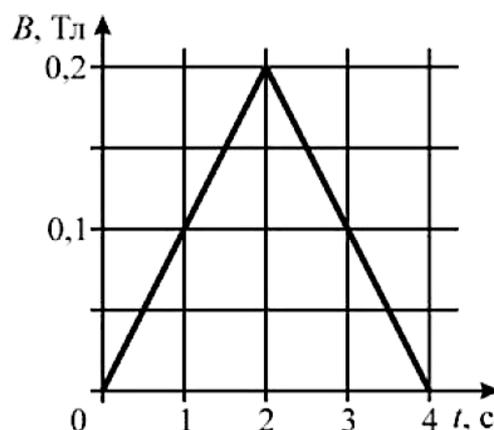
◇ **11.1.96** (6220) Квадратную рамку из медной проволоки со стороной $b = 5$ см перемещают вдоль оси Ox по гладкой горизонтальной поверхности с постоянной скоростью $v = 1$ м/с. Начальное положение рамки изображено на рисунке. За время движения рамка успевает полностью пройти между полюсами магнита. Индукционные токи, возникающие в рамке, оказывают тормозящее действие, поэтому для поддержания постоянной скорости движения к ней прикладывают внешнюю силу F , направленную вдоль оси Ox . Чему равно сопротивление проволоки рамки, если суммарная работа внешней силы за время движения $A = 2,5 \cdot 10^{-3}$ Дж Дж? Ширина полюсов магнита $d = 20$ см, магнитное поле имеет резкую границу, однородно между полюсами, а его индукция $B = 1$ Тл.



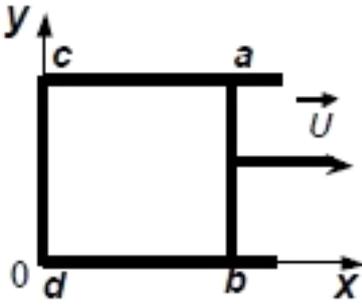
◇ **11.1.97** (6669) Цилиндрическая катушка длиной $\ell = 10$ см, состоящая из $N = 1000$ витков тонкого провода, равномерно намотанного на каркас, имеет сопротивление $R = 50$ Ом и площадь каждого витка $S = 1$ см². Концы обмотки соединены накоротко. Катушка движется вдоль своей оси со скоростью $v = 0,5$ м/с и попадает в область с однородным магнитным полем с индукцией $B = 2$ Тл, линии которой направлены под углом $\alpha = 60^\circ$ к оси катушки (см. рисунок). Какой заряд ΔQ протечет через обмотку катушки спустя время $T = 0,1$ с после попадания переднего торца катушки в область с магнитным полем?



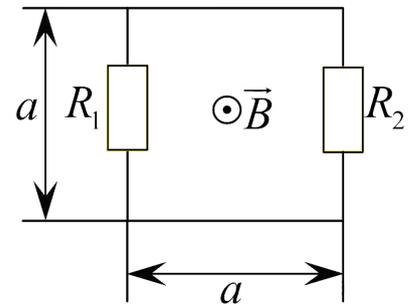
◇ **11.1.98** (3697) Намотанная на каркас проволочная катушка сопротивлением $R = 2$ Ом, выводы которой соединены друг с другом, помещена в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости витков катушки. Модуль вектора магнитной индукции поля изменяется с течением времени так, как показано на графике. К моменту времени $\tau = 1$ с через катушку протек электрический заряд $q = 5$ мКл. Сколько витков содержит катушка, если все витки одинаковые и имеют площадь $S = 100$ см²?



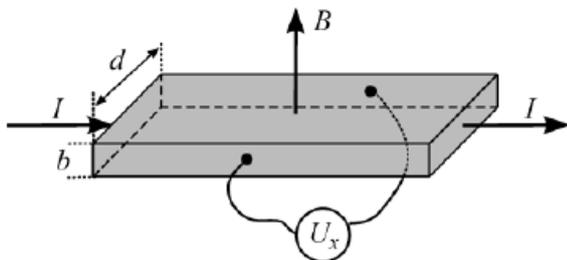
- ◇ 11.1.99 (4151) По П-образному проводнику $acdb$ постоянного сечения скользит со скоростью v медная перемычка ab длиной ℓ из того же материала и такого же сечения. Проводники, образующие контур, помещены в постоянное однородное магнитное поле, вектор индукции которого направлен перпендикулярно плоскости проводников (см. рисунок). Какова индукция магнитного поля B , если в тот момент, когда $ab = ac$, разность потенциалов между точками a и b равна U ? Сопротивление между проводниками в точках контакта пренебрежимо мало, а сопротивление проводов велико.



- ◇ 11.1.100 (4370) В плоской электрической цепи квадратной формы со стороной $a = 1$ м, схема которой изображена на рисунке, сопротивления резисторов равны $R_1 = 0,5$ Ом и $R_2 = 9,5$ Ом. Цепь в некоторый момент помещают в однородное магнитное поле с вектором индукции, перпендикулярным плоскости цепи, модуль которого возрастает с течением времени t по закону $B = kt$, где $k = 0,1$ Тл/с. Какая тепловая мощность будет выделяться в резисторе R_1 ? Сопротивлением проводников и индуктивностью цепи можно пренебречь.

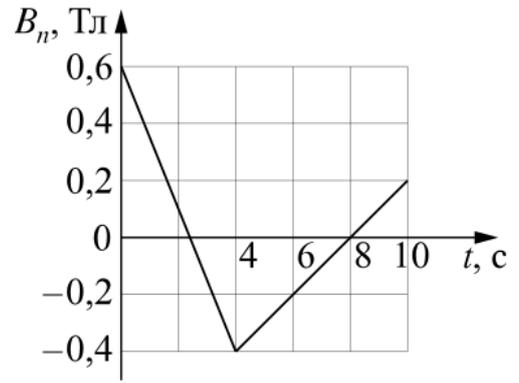


- ◇ 11.1.101 (9759) В современных научных и технических устройствах часто используются линейные датчики индукции магнитного поля, работа которых основана на эффекте Холла. Этот эффект состоит в возникновении поперечной разности потенциалов в проводнике или полупроводнике с электрическим током, находящемся в магнитном поле, перпендикулярном току. Пусть вдоль однородного длинного образца полупроводника прямоугольной формы с поперечным сечением размерами $b = 0,3$ мм и $d = 8$ мм и концентрацией носителей заряда e положительного знака («дырок»), равной $n = 5 \cdot 10^{18}$ см $^{-3}$, течет постоянный ток $I = 200$ мА, а сам образец находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1,5$ Тл, направленной перпендикулярно плоскости образца, вдоль его ребра b (см. рисунок). Чему равна при этом холловская разность потенциалов U_x между гранями образца, параллельными вектору магнитной индукции и току?



- Чему равна при этом холловская разность потенциалов U_x между гранями образца, параллельными вектору магнитной индукции и току?

◇ **11.1.102** (11955) Квадратная проволочная рамка со стороной $\ell = 10$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B} . На рисунке изображена зависимость проекции вектора \vec{B} на перпендикуляр к плоскости рамки от времени. Какое количество теплоты выделится в рамке за время $t = 10$ с, если сопротивление рамки $R = 0,2$ Ом?



◇ **11.1.103** [ЕГЭ] катушка, обладающая индуктивностью L , соединена с источником питания с ЭДС \mathcal{E} и двумя одинаковыми резисторами R . Электрическая схема соединения показана на рис. 1. В начальный момент ключ в цепи разомкнут. В момент времени $t = 0$ ключ замыкают, что приводит к изменению силы тока, регистрируемого амперметром, как показано на рис. 2. Основываясь на известных физических законах, объясните, почему при замыкании ключа сила тока плавно увеличивается до некоторого нового значения I_1 . Определите значение силы тока I_1 . Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

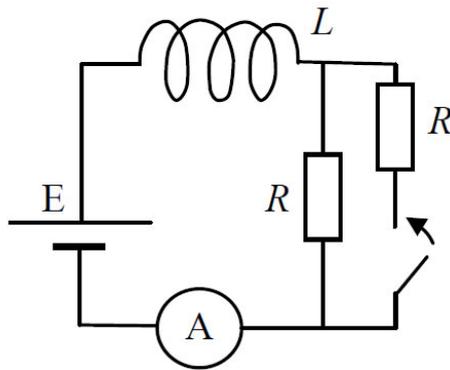


Рис. 1

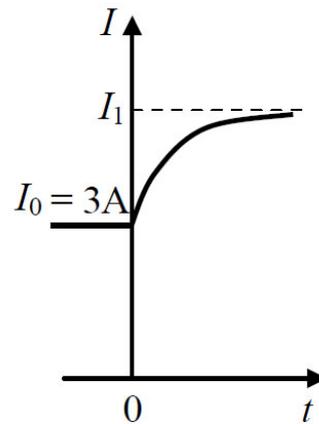
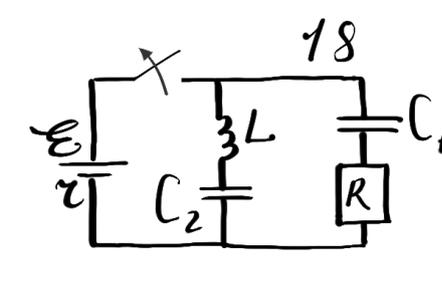
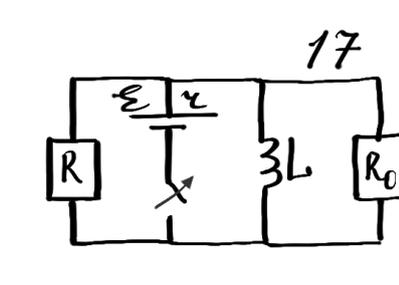
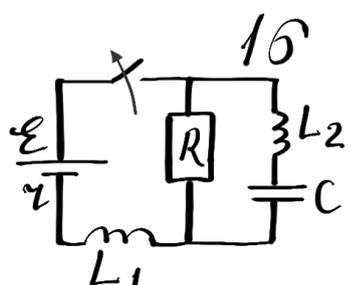
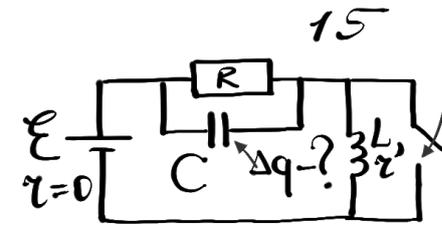
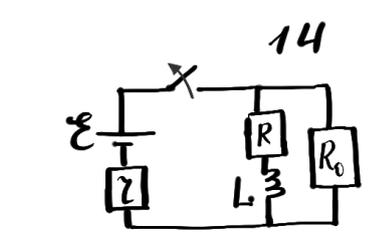
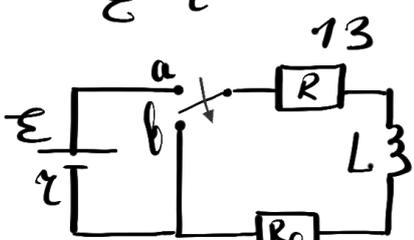
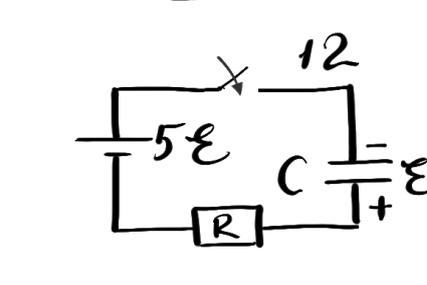
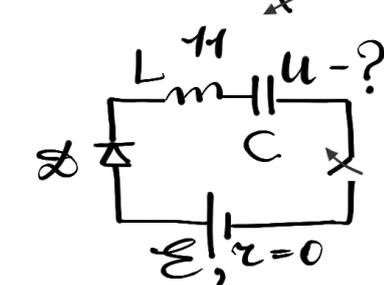
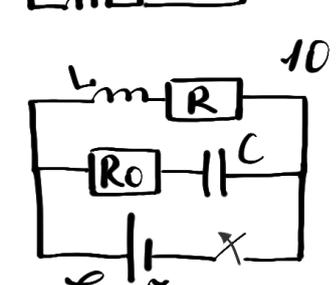
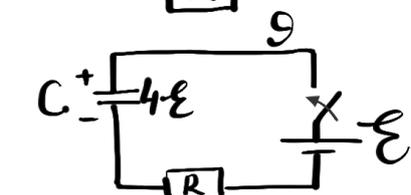
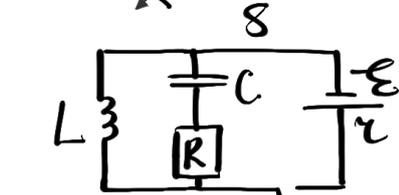
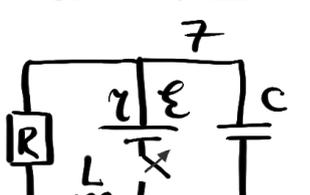
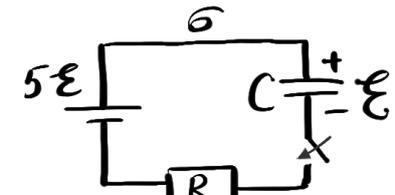
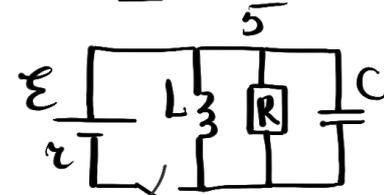
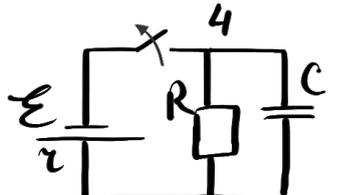
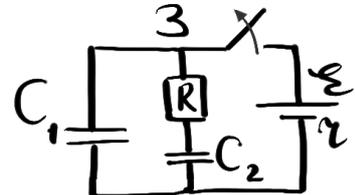
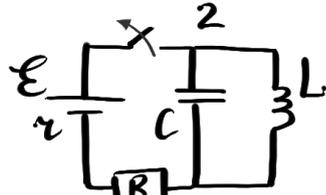
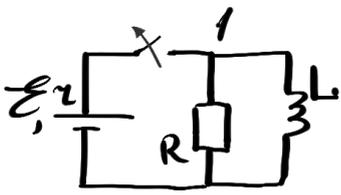


Рис. 2

◇ 11.1.104 Найдите выделившееся тепло (или что-нибудь другое) при указанной манипуляции с ключом. Будьте осторожны, задача содержит очень много тепла человеческой души.



Механические колебания

Определения и теория

1. Устойчивое равновесие (динамическое определение).
2. Устойчивое равновесие (энергетическое определение).
3. Осциллятор.
4. Колебания.
5. Амплитуда колебаний.
6. Циклическая (круговая) частота.
7. Частота.
8. Период.
9. Начальная фаза.
10. Фаза.
11. Свободные колебания.
12. Незатухающие колебания.
13. Гармонический процесс.
14. Уравнение гармонических колебаний (УГК).
15. Решение уравнения гармонических колебаний.
16. Графики $x(t)$, $v_x(t)$, $a_x(t)$.
17. Графики $W_k(t)$, $W_{\Pi}(t)$.

Качественные вопросы

11.2.1 Нарисуйте примерный вид зависимости $x(t)$ для горизонтального пружинного маятника, если трением между грузом и поверхностью нельзя пренебречь. Как называются такие колебания?

11.2.2 Из-за чего полная механическая энергия осциллятора может убывать со временем?

11.2.3 Почему колебания горизонтального пружинного маятника с трением затухают, а вертикального пружинного маятника не затухают? Ведь и там, и там действует внешняя сила (в одном случае — трение, в другом — сила тяжести).

11.2.4 Могут ли колебания быть затухающими не из-за сил трения или сопротивления воздуха? Приведите пример.

11.2.5 Сила тяжести является внешней силой для системы «груз-пружина» в вертикальном пружинном осцилляторе. Почему эта сила не тормозит колебания?

11.2.6 Вертикальный пружинный маятник представляет собой массивный магнит, закрепленный на невесомой пружине. В положении равновесия маятника находится массивное металлическое кольцо, расположенное горизонтально так, что маятник при колебаниях проходит через центр кольца перпендикулярно его плоскости.

(а) Сделайте чертеж. Укажите силы, действующие на маятник.

Опишите поведение маятника для следующих случаев:

(б) Кольцо сделано из меди (медь считать немагнитным материалом).

(с) Кольцо сделано из железа (железо — магнитный материал).

Аргументируйте ответ.

Типы задач

- I. Составить УГК из 2 закона Ньютона, найти ω_0 и T .
- II. Составить УГК из ЗСЭ, найти ω_0 и T .
- III. Переделать готовую формулу ($T = 2\pi\sqrt{m/k}$, $T = 2\pi\sqrt{\ell/g}$) под задачу.
- IV. Анализ решения УГК $x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$.
- V. Механика + готовые формулы для периода.
- VI. Гармоническое движение («колебания без колебаний»).

Задачи

11.2.7 Груз массой m осторожно прикрепляют к недеформированной пружине жесткостью k , подвешенной к потолку, и отпускают. Найти максимальную деформацию пружины x_{\max} и максимальную скорость v_{\max} .

11.2.8 Выведите формулу для периода колебаний горизонтального пружинного маятника массой m , закрепленного на пружине жесткостью k , из второго закона Ньютона.

11.2.9 Выведите формулу для периода колебаний горизонтального пружинного маятника массой m , закрепленного на пружине жесткостью k , из закона сохранения энергии.

11.2.10 Выведите формулу для периода колебаний вертикального пружинного маятника массой m , закрепленного на пружине жесткостью k , из динамических соображений.

11.2.11 Выведите формулу для периода колебаний вертикального пружинного маятника массой m , закрепленного на пружине жесткостью k , из закона сохранения энергии.

11.2.12 Выведите формулу для периода колебаний математического маятника длиной ℓ из второго закона Ньютона. Можно ли сказать, что такой маятник совершает гармонические колебания?

11.2.13 Выведите формулу для периода колебаний математического маятника длиной ℓ из закона сохранения энергии. Можно ли сказать, что такой маятник совершает гармонические колебания?

11.2.14 Вертикальный пружинный маятник совершает гармонические колебания. За $t = 0$ примите момент наибольшего сжатия пружины. Известна амплитуда колебаний A и период T .

- Нарисуйте графики $x(t)$, $v_x(t)$, $a_x(t)$.
- Найдите проекцию мгновенной скорости маятника в момент $t = T/8$.
- Когда координата маятника станет равна $A/4$?
- Чему будет равна скорость маятника в момент, когда $x = A/4$?

Сделайте чертеж, отметьте ось, на ней ноль и крайние положения. Укажите на чертеже моменты (b) и (c).

11.2.15 Найдите мгновенную скорость горизонтального пружинного маятника в момент прохождения положения равновесия. Известна масса груза, жесткость пружины и амплитуда колебаний.

11.2.16 Математический маятник совершает малые колебания в вертикальной плоскости, координата меняется по закону $x(t) = A \cos(\omega_0 t)$. Масса маятника $m = 200$ г, амплитуда $A = 2$ см. Длина нити $\ell = 1$ м.

- (a) В какой момент времени кинетическая энергия системы максимальна?
- (b) Найдите максимальное значение кинетической энергии маятника.
- (c) В какой момент времени потенциальная энергия максимальна?
- (d) Найдите максимальное значение потенциальной энергии маятника.
- (e) В какой момент времени кинетическая энергия маятника равна его потенциальной энергии?
- (f) В какой момент полная энергия маятника максимальна? Дайте развернутый ответ.

11.2.17 Построить $x(t)$, $v_x(t)$, $a_x(t)$ для одного периода для вертикального пружинного маятника. За $t = 0$ примите момент прохождения положения равновесия при движении груза вниз. Изобразить на чертеже также сам вертикальный маятник, на оси отметить крайние положения и положение равновесия.

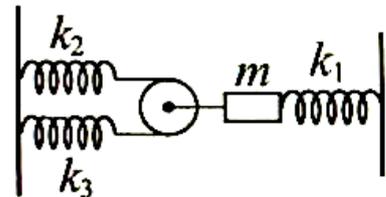
11.2.18 Груз массой m находится на горизонтальном гладком столе. Груз прикреплен пружинами жесткостью k_1 и k_2 к противоположным стенкам. В положении равновесия обе пружины растянуты. Найдите период малых колебаний системы, составив УГК из 2 закона Ньютона.

11.2.19 Груз массой m находится на горизонтальном гладком столе. Груз прикреплен пружинами жесткостью k_1 и k_2 к противоположным стенкам. В положении равновесия обе пружины растянуты. Найдите период малых колебаний системы, составив УГК из закона сохранения энергии.

11.2.20 Груз массой m , имеющий положительный электрический заряд, закреплен на вертикальной пружине жесткостью k . Груз находится в однородном электростатическом поле, созданном бесконечной положительно заряженной горизонтальной плоскостью, находящейся под грузом. Сила взаимодействия груза с плоскостью постоянна и равна F . Найдите период колебаний такого осциллятора.

11.2.21 Малые колебания математического маятника подчиняются закону $x(t) = -A \sin(\omega_0 t)$. Нарисуйте графики $v_x(t)$, $a_x(t)$. Также на одном графике нарисуйте зависимости кинетической и потенциальной энергии от времени.

◇ **11.2.22** Колебательная система состоит из груза массой $m = 90$ г, лежащего на гладкой горизонтальной плоскости, невесомого гладкого блока, двух невесомых, нерастяжимых нитей и трех невесомых пружин жесткостью $k_1 = 2/3$ Н/см, $k_2 = 1/2$ Н/см и $k_3 = 1$ Н/см, соединенных так, как показано на рисунке. Центр масс груза лежит на одной горизонтали с прикрепленной к нему нитью и осью пружины k_1 . В положении равновесия все пружины растянуты. Считая, что нити все время остаются натянутыми, определите круговую частоту ω_0 малых гармонических колебаний груза.



11.2.23 Горизонтальный пружинный маятник массой m на пружине жесткостью k совершает колебания на гладком столике. К маятнику приложена постоянная горизонтальная сила F , действующая вдоль оси пружины (стремится растянуть пружину).

- Найдите период колебаний, решив эту задачу как задачу первого типа.
- Будут ли колебания такого маятника затухающими? Почему?

11.2.24 Горизонтальный пружинный маятник массой m на пружине жесткостью k совершает колебания на гладком столике. К маятнику приложена постоянная горизонтальная сила F , действующая вдоль оси пружины (стремится сжать пружину).

- Найдите период колебаний, решив эту задачу как задачу первого типа.
- Будут ли колебания такого маятника затухающими? Почему?

11.2.25 Колебания горизонтального пружинного маятника подчиняются закону $x(t) = A \sin(\omega_0 t)$. Известными считать циклическую частоту ω_0 , массу m и амплитуду A .

- Найдите зависимости $v_x(t)$, $a_x(t)$.
- Нарисуйте графики $x(t)$, $v_x(t)$, $a_x(t)$.
- Выведите зависимость кинетической энергии от координаты и времени.
- Выведите зависимость потенциальной энергии от координаты и времени.
- Постройте на одном графике зависимости кинетической и потенциальной энергии от времени.

11.2.26 Колебания вертикального пружинного маятника подчиняются закону $v_x(t) = A\omega_0 \sin(\omega_0 t)$. Известными считать циклическую частоту ω_0 , массу m и амплитуду A .

- (a) Найдите зависимость $x(t)$, $a_x(t)$.
- (b) Нарисуйте графики $x(t)$, $v_x(t)$, $a_x(t)$.
- (c) Выведите зависимость кинетической энергии от координаты и времени.
- (d) Выведите зависимость потенциальной энергии от координаты и времени.
- (e) Постройте на одном графике зависимости кинетической и потенциальной энергии от времени.

11.2.27 Вертикальный пружинный маятник, обладающий отрицательным зарядом -5 нКл, совершает гармонические колебания в однородном электростатическом поле напряженностью 10 В/м. Вектор напряженности электростатического поля направлен вертикально вверх. Масса маятника равна 500 г, а жесткость пружины равна 100 Н/м. Амплитуда колебаний равна 10 см.

- (a) Сделайте чертеж.
- (b) Решите задачу как задачу первого типа, выведите формулу для периода.
- (c) Найдите период колебаний маятника. Подставьте числовые значения.
- (d) Найдите координату маятника через $T/8$ после максимального сжатия пружины.
- (e) Найдите скорость маятника в момент прохождения положения равновесия.
- (f) Найдите ускорение маятника в тот момент, когда деформация пружины составляет половину от максимальной деформации.

11.2.28 [Б-14.1] Определить амплитуду и начальную фазу гармонических колебаний с круговой частотой ω_0 , если в начальный момент времени смещение $x(0)$ и скорость $v(0)$ составляли:

- (a) $x(0) = x_0$, $v(0) = 0$;
- (b) $x(0) = 0$, $v(0) = v_0$;
- (c) $x(0) = x_0$, $v(0) = v_0$.

Запишите уравнение гармонических колебаний с учетом найденных амплитуды и начальной фазы.

11.2.29 [Б-14.2] Какую часть периода колебаний груз пружинного маятника находится в пределах 1 см от положения равновесия, если амплитуда колебаний равна 2 см?

11.2.30 [Б-14.3] Определить среднюю скорость при колебаниях пружинного маятника с амплитудой $A = 1$ см и периодом колебаний $T = 1$ с за время движения маятника:

- (а) от положения равновесия до отклонения в 0,5 см;
- (б) от максимального отклонения до отклонения 0,5 см.

11.2.31 [Б-14.4] Определить период колебаний математического маятника длиной ℓ , подвешенного к потолку лифта:

- (а) поднимающегося вертикально вверх с ускорением a ;
- (б) опускающегося вниз с ускорением a .

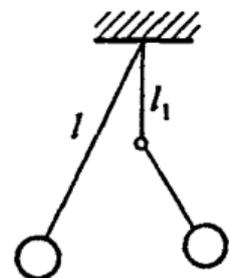
11.2.32 [Б-14.5] Найти период колебаний маятника длиной ℓ , подвешенного в вагоне, движущемся горизонтально с ускорением a .

11.2.33 [Б-14.6] Математический маятник, состоящий из железного шарика массой $m = 40$ г, подвешенного на нити длиной $\ell = 1$ м, совершает гармонические колебания. Если под шарик поместить магнит, то он будет притягивать шарик с постоянной вертикальной силой $F = 0,24$ Н. Определить период колебаний шарика в новом состоянии.

11.2.34 [Б-14.7] Положительно заряженный шарик массой $m = 30$ г (математический маятник) совершает гармонические колебания над положительно заряженной бесконечной плоскостью. При этом сила электрического взаимодействия шарика с плоскостью $F = 0,1$ Н, а период его колебаний 7,2 с. Затем шарик перезарядили так, что его заряд стал отрицательным, но по модулю равным первоначальному. Определить период гармонических колебаний шарика в новом состоянии. Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с².

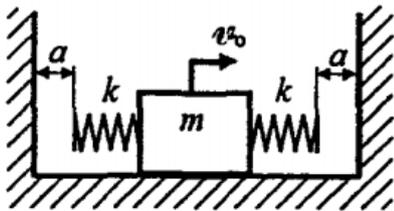
11.2.35 [Б-14.8] Шарик массой m с зарядом $q > 0$ подвешен на тонкой нити внутри плоского конденсатора с горизонтально ориентированными пластинами. Напряженность поля конденсатора равна E , силовые линии направлены вниз. Найти период колебаний такого маятника. Длина нити равна ℓ . Как изменится формула для периода, если изменить знак заряда на пластинах конденсатора?

◇ **11.2.36** [Б-14.9] Математический маятник длиной ℓ совершает колебания вблизи вертикальной стенки. Под точкой подвеса маятника на расстоянии $\ell_1 = \ell/2$ от нее в стенку забит гвоздь (см. рисунок). Найти период колебаний маятника T .



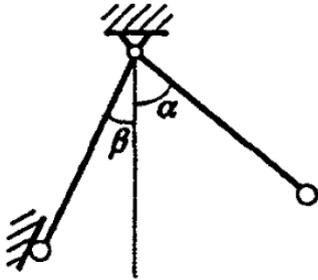
11.2.37 [м-1.6.3] Определить период T вертикальных колебаний груза массой m , подвешенного к двум последовательно соединенным пружинам жесткостями k_1 и k_2 .

11.2.38 Определить период колебаний груза массой m , подвешенного к двум вертикальным параллельно соединенным пружинам жесткостями k_1 и k_2 .

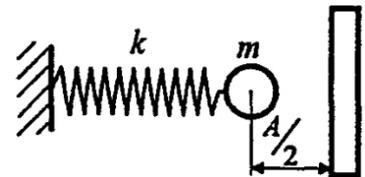


◇ **11.2.39** [Б-14.12] В начальный момент времени грузу придается начальная скорость v_0 . Определить период колебаний. Параметры системы указаны на рисунке.

◇ **11.2.40** [Б-14.10] Тонкий, абсолютно жесткий невесомый стержень, на конце которого закреплен точечный шарик, отклонили на небольшой угол α от положения равновесия и отпустили. В момент, когда стержень составлял угол $\beta < \alpha$ с вертикалью, произошло абсолютно упругое соударение шарика с наклонной стенкой. Определить $T_1 : T$ — отношение периода колебаний такого маятника к периоду математического маятника той же длины.

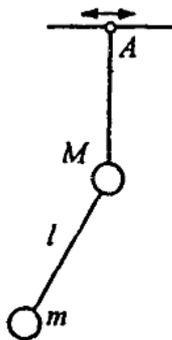


◇ **11.2.41** [Б-14.11] Шарик (материальная точка) массой m совершает гармонические колебания с амплитудой A на пружине с жесткостью k . На расстоянии $A/2$ от положения равновесия установили массивную стальную плиту, от которой шарик абсолютно упруго отскакивает. Найти период колебания в этом случае.

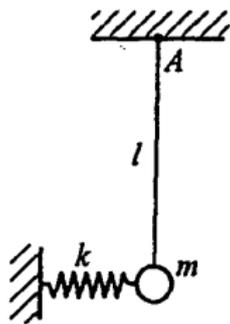


11.2.42 Решить задачу 11.2.41, считая, что плиту поставили на $A/2$ слева от положения равновесия. Пружина проходит через маленькое отверстие в плите. Размеры отверстия пренебрежимо малы по сравнению с размером шарика.

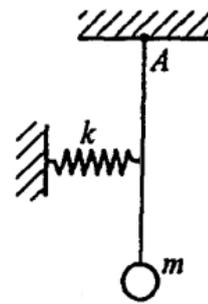
11.2.43 [м-1.6.2] Цилиндр массой m с площадью основания S плавает в вертикальном положении в жидкости плотностью ρ . Его погрузили еще немного и отпустили. Определить период T малых вертикальных колебаний цилиндра. Сопротивлением жидкости пренебречь. Ускорение свободного падения g .



К задаче 11.2.47



К задаче 11.2.48



К задаче 11.2.49

11.2.44 [Б-14.13] На поверхности жидкости плавает призматическое тело, погруженное в жидкость на глубину h . Определить период малых колебаний тела, если вязкое сопротивление жидкости движению тела пренебрежимо мало.

11.2.45 [Б-14.14] В сообщающихся сосудах цилиндрической формы налита ртуть. Найти период малых колебаний ртути, если площадь поперечного сечения каждого сосуда $S = 0,3 \text{ см}^2$, масса ртути $m = 484 \text{ г}$, плотность ртути $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Трением пренебречь.

11.2.46 [М-1.6.1] Горизонтальная доска совершает гармонические колебания в горизонтальном направлении с периодом $T = 2 \text{ с}$. При какой амплитуде колебаний A лежащее на ней тело начнет скользить? Коэффициент трения $\mu = 0,2$, ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

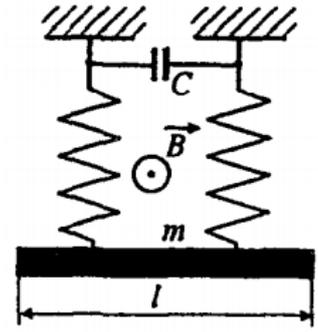
◇ **11.2.47*** [Б-14.16] Точка подвеса двойного маятника совершает гармонические колебания с малой амплитудой в горизонтальном направлении (см. рисунок). Длина нижней нити равна ℓ , масса нижнего шарика m , верхнего M . Каким должен быть период колебаний точки подвеса A , чтобы верхняя нить все время оставалась вертикальной?

◇ **11.2.48** [Б-14.17] Определить период колебаний маятника. Масса груза, жесткость пружины и длина стержня заданы. Массой стержня пренебречь.

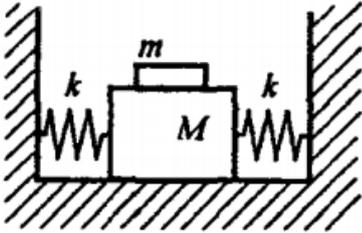
◇ **11.2.49** Определить период малых колебаний маятника, состоящего из невесомого стержня и груза массой m . Жесткость пружины k , длина стержня ℓ . Пружина крепится к середине стержня (см. рисунок).

11.2.50 [Б-14.21] Неподвижный груз, подвешенный на пружине, растягивает ее, находясь в положении равновесия, на длину $\Delta\ell = 4 \text{ см}$. Найти период собственных колебаний T .

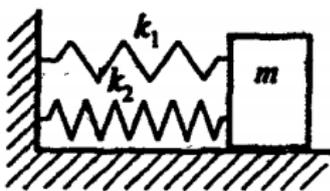
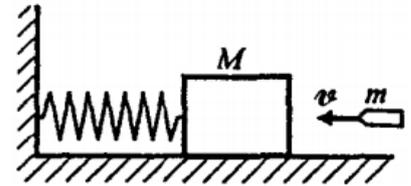
◇ **11.2.51** [Б-14.20] Проводник массой m и длиной ℓ подвешен к диэлектрику с помощью двух одинаковых проводящих пружин общей жесткостью k . Однородное магнитное поле с индукцией B направлено перпендикулярно плоскости чертежа. К верхним концам пружины присоединен конденсатор емкостью C . Пренебрегая сопротивлением, собственной индуктивностью и емкостью проводников, определить период колебаний системы в вертикальной плоскости.



◇ **11.2.52** [Б-14.22] На гладкой горизонтальной плоскости расположен брусок массой $M = 1$ кг, закрепленный пружинами, жесткость каждой из которых $k = 30$ Н/м. На бруске лежит шайба массой $m = 0,5$ кг. Система брусок-шайба приводится в колебательное движение. Определить максимальную амплитуду колебаний, при которой система будет двигаться как единое целое, т. е. без проскальзывания шайбы по бруску. Коэффициент трения между бруском и шайбой $\mu = 0,4$.



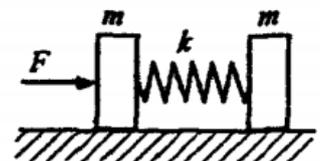
◇ **11.2.53** [Б-14.23] На горизонтальной пружине укреплено тело массой $M = 10$ кг, лежащее на абсолютно гладком столе. В это тело попадает и застревает в нем пуля массой $m = 10$ кг, летящая со скоростью $v = 500$ м/с по направлению вдоль оси пружины. Амплитуда возникших при этом колебаний $A = 0,1$ м. Найти период колебаний.



◇ **11.2.54** [Б-14.24] В начальный момент пружина k_1 растянута на ℓ_1 , а пружина k_2 сжата на ℓ_2 . Определить амплитуду и период колебаний бруска массой m .

11.2.55 [М-1.6.4] Зная период колебаний маятника на уровне моря $T_0 = 1$ с, найти период колебаний этого маятника T_1 на высоте $h = 6,4$ км над уровнем моря. Радиус Земли $R = 6400$ км.

◇ **11.2.56** [Б-14.26] К системе, состоящей из двух грузов одинаковой массы, соединенных между собой невесомой пружиной с жесткостью k , внезапно приложена горизонтальная сила F . Определить амплитуду упругих колебаний, учитывая, что грузы способны без трения скользить по горизонтальному столу.

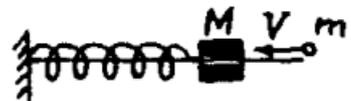


11.2.57 [Б-14.25] На вертикально расположенной пружине с коэффициентом жесткости k подвешен груз массой m . Грузу сообщают начальную скорость v_0 , направленную вертикально вниз. Определить период и амплитуду колебаний груза.

11.2.58 [М-1.6.10] Гирия массой $m = 1$ кг, подвешенная на пружине, совершает вертикальные гармонические колебания с амплитудой $A = 0,2$ м и периодом $T = 2$ с. Определить силу натяжения пружины F в момент, когда гирия достигает нижней точки. Ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с².

11.2.59 [М-1.6.5] Математический маятник, представляющий собой шарик массой m , подвешенный на нити длиной ℓ , помещен в электрическое поле плоского конденсатора, заряженного до напряжения U . Расстояние между обкладками конденсатора d . Определить период T колебаний маятника, если пластины конденсатора расположены горизонтально. Заряд шарика положителен и равен q . Ускорение свободного падения g .

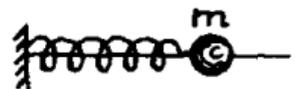
◇ **11.2.60** [М-1.6.6] Тело массой $M = 10$ кг, надетое на гладкий горизонтальный стержень, связано пружиной с неподвижной стенкой. В это тело попадает и застревает в нем пуля массой $m = 10$ г, летящая горизонтально со скоростью $V = 500$ м/с, направленной вдоль стержня. Тело вместе с застрявшей в нем пулей начинает колебаться с амплитудой $A = 10$ см. Найти период T колебаний тела.



◇ **11.2.61** [М-1.6.7] Грузик, надетый на гладкую горизонтальную спицу, прикреплен к концам двух невесомых пружин. Вторые концы пружин заделаны в неподвижные стенки так, что в положении равновесия грузика пружины не деформированы. Каков период колебаний грузика, если известно, что при поочередном подвешивании грузика к каждой из пружин по отдельности их удлинения составили $h_1 = 4$ см и $h_2 = 6$ см?



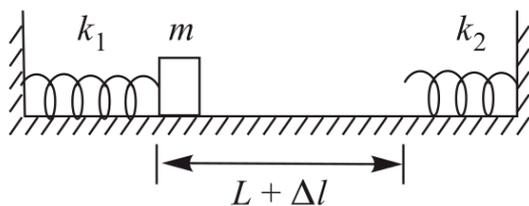
◇ **11.2.62** [М-1.6.8] Тело массой $m = 1$ кг, надетое на гладкий горизонтальный стержень, совершает свободные гармонические колебания под действием пружины. Какова полная механическая энергия колебаний E , если амплитуда колебаний $A = 0,2$ м, а максимальное ускорение тела в процессе колебаний $a_{\max} = 3$ м/с²?



11.2.63 [М-1.6.9] Тело массой $m = 0,1$ кг, надетое на гладкий горизонтальный стержень, связано пружиной жесткостью $k = 10$ Н/м с неподвижной стенкой. Тело смещают от положения равновесия на расстояние $x_0 = 10$ см и отпускают без начальной скорости. Найти среднюю скорость тела $V_{\text{ср}}$ за время, в течение которого оно проходит из крайнего положения путь $x_0/2$.

11.2.64 [М₂-1.6.5] Математический маятник совершает малые колебания. Известно, что через время $\tau = 0,314$ с после прохождения маятником положения равновесия его отклонение составило некоторую величину α_0 , а через время 2τ — величину $\sqrt{3}\alpha_0$. Найти длину маятника, если 2τ меньше полупериода его колебаний. Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с².

◇ **11.2.65** [М₂-1.6.6] Брусок массой $m = 9$ г может совершать поступательное движение по прямой между двумя невесомыми пружинами жесткостью

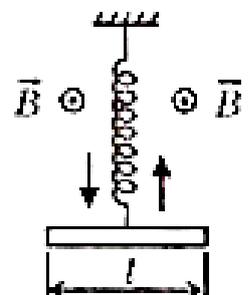


$k_1 = 0,25$ Н/м и $k_2 = 0,16$ Н/м. В недеформированном состоянии пружин расстояние между их концами $L = 20$ см. В начальный момент времени пружина k_1 сжата на величину $\Delta l = 1$ см, а брусок расположен

вплотную к ее концу. Через какое время τ после того, как брусок отпустят, он вернется в исходное положение? Размерами бруска пренебречь.

11.2.66 [М₂-1.6.7] Маленький шарик, подвешенный на нити, отклоняют от положения равновесия и отпускают без начальной скорости. Определить, с каким ускорением a_1 начнет двигаться шарик, если известно, что в момент прохождения шариком нижней точки траектории его ускорение равно $a_2 = 15$ м/с². Нить считать невесомой и нерастяжимой, сопротивление воздуха не учитывать. Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с².

11.2.67 [ЕГЭ] Металлический стержень массой 100 г и длиной 1 м подвешен за середину к пружине с жесткостью 10 Н/м. Стержень совершает гармонические колебания с амплитудой 10 см в однородном магнитном поле индукцией 0,01 Тл, направленном перпендикулярно плоскости колебаний. Найдите максимальную разность потенциалов, возникающую на концах стержня.



11.2.68 Доска длиной ℓ скользит поступательно по горизонтальной гладкой поверхности, после чего въезжает на шероховатый участок с коэффициентом трения μ . Найти минимальную скорость v_0 , при которой доска полностью въедет на этот участок. Какое время пройдет от того момента, когда доска въедет на шероховатый участок, до остановки доски?

11.2.69* Найти период малых колебаний обруча радиусом R , висящего на горизонтальном гвозде.

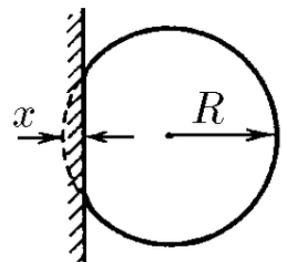
11.2.70* Горизонтальный цилиндр длиной 2ℓ и площадью сечения S с гладкими стенками разделен на две равные части тонким поршнем массой m . Давление в обеих частях одинаково и равно p_0 . Найти период малых колебаний поршня при выведении его из положения равновесия.

◇ **11.2.71*** [с-3.3.7] Гладкую однородную веревку длины ℓ удерживают в вертикальном колене изогнутой трубы так, что нижний конец ее касается горизонтальной части трубы. Веревку отпускают. Через какое время она полностью окажется в горизонтальном колене? Трением пренебречь. Как изменится это время, если вначале часть веревки уже находилась в горизонтальном колене?



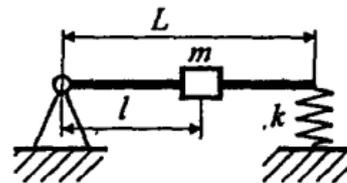
11.2.72* [б-14.19] Тонкое проволочное кольцо радиусом R имеет электрический заряд Q . Как будет двигаться точечный заряд массой m , имеющий заряд $-q$, если в начальный момент времени он покоился в некоторой точке на оси кольца на расстоянии $d \ll R$ от центра? Кольцо неподвижно.

◇ **11.2.73*** [с-3.3.8] Воздушный шарик при слабом ударе о стенку деформируется, как показано на рисунке. При этом максимальная деформация шарика x много меньше его радиуса R . Пренебрегая изменением избыточного давления Δp воздуха в шарике и упругостью оболочки, оцените время соударения со стенкой. Масса шарика m .



11.2.74* [б-14.15] На горизонтальной плоскости лежат два бруска массой m_1 и m_2 , соединенные пружиной с жесткостью k . Пренебрегая трением, найти период малых продольных колебаний системы.

◇ **11.2.75*** [Б-14.18] Невесомая штанга длиной L одним концом закреплена в идеальном шарнире, а другим опирается на пружину с жесткостью k . Определить период малых колебаний штанги в зависимости от положения ℓ на ней груза массой m .



11.2.76* В сферической однородной планете плотностью ρ прорыли прямолинейный туннель AB , проходящий через центр планеты, и бросили в него без начальной скорости стамеску из точки A . Достигнет ли стамеска точки B ? Через какое время вернется стамеска в исходную точку? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Электромагнитные колебания

Определения и теория

1. LC -контур.
2. Уравнение гармонических колебаний.
3. Решение уравнения гармонических колебаний.
4. Графики $q(t)$, $i(t)$.
5. Графики зависимости энергии конденсатора и катушки от времени в LC -контуре.

Качественные вопросы

11.3.1 Изобразите на чертеже пол-периода для горизонтального пружинного маятника ($x = \{A; A/2; 0; -A/2; -A\}$), обозначив скорости. Каждому рисунку сопоставьте аналогичные процессы в LC -контуре, обозначив заряды на обкладках конденсатора и направление тока. Укажите относительные значения зарядов, скоростей и токов.

11.3.2 Выведите формулу Томсона, составив УГК из закона Ома.

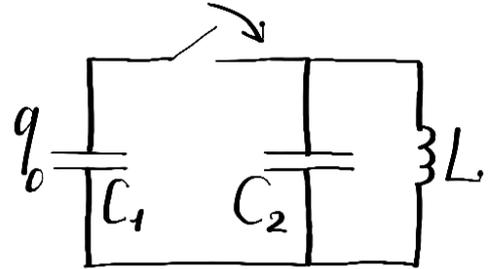
11.3.3 Выведите формулу Томсона, составив УГК из ЗСЭ.

11.3.4 Запишите таблицу соответствия величин для механических и электромагнитных колебаний.

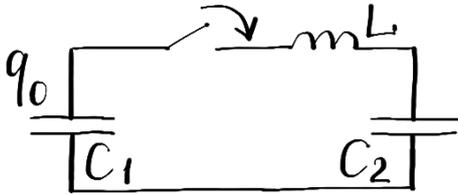
Задачи

11.3.5 [Б-14.27] Заряженный конденсатор замкнули на катушку индуктивности. Через какую часть периода после подключения энергия в конденсаторе будет равна энергии в катушке индуктивности?

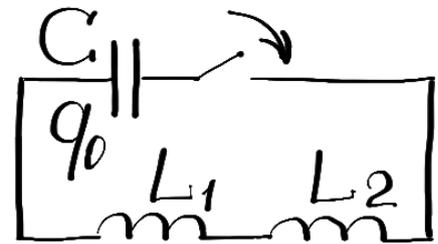
◇ **11.3.6** Конденсатор емкостью C_1 , имеющий заряд q_0 , подсоединяют к незаряженному конденсатору емкостью C_2 как показано на рисунке. Найти максимальное значение тока через катушку, индуктивность которой равна L .



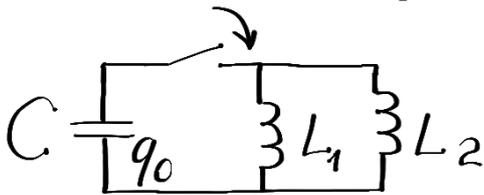
◇ **11.3.7** Конденсатор емкостью C_1 , имеющий заряд q_0 , подсоединяют последовательно к незаряженному конденсатору емкостью C_2 и катушке индуктивности L как показано на рисунке. Найти максимальное значение тока через катушку.



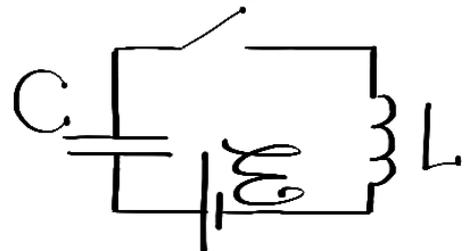
◇ **11.3.8** Конденсатор емкостью C , имеющий заряд q_0 , подсоединяют к двум последовательно соединенным катушкам индуктивностями L_1 и L_2 как показано на рисунке. Найти максимальное значение силы тока в цепи.



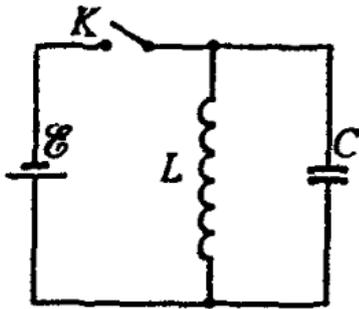
◇ **11.3.9** Конденсатор емкостью C , имеющий заряд q_0 , подсоединяют к двум параллельно соединенным катушкам индуктивностями L_1 и L_2 как показано на рисунке. Найти максимальное значение силы тока в цепи.



◇ **11.3.10** В цепи, состоящей из незаряженного конденсатора емкостью C , ЭДС \mathcal{E} и катушки индуктивностью L , ключ замыкают. Найти максимальный заряд конденсатора и максимальный ток через катушку при возникших электромагнитных колебаниях.

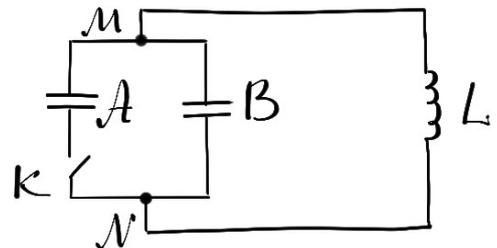


◇ 11.3.11 [Б-14.28] Колебательный контур через ключ K подключен к источнику ЭДС с некоторым внутренним сопротивлением r . Первоначально ключ K замкнут. После установления стационарного режима ключ размыкают, и в контуре возникают колебания с периодом T . При этом амплитуда напряжения на конденсаторе в n раз больше ЭДС батареи. Найти индуктивность катушки и емкость конденсатора. Сопротивлением катушки пренебречь.

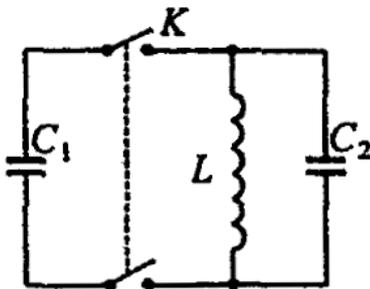


Источник ЭДС с некоторым внутренним сопротивлением r . Первоначально ключ K замкнут. После установления стационарного режима ключ размыкают, и в контуре возникают колебания с периодом T . При этом амплитуда напряжения на конденсаторе в n раз больше ЭДС батареи. Найти индуктивность катушки и емкость конденсатора. Сопротивлением катушки пренебречь.

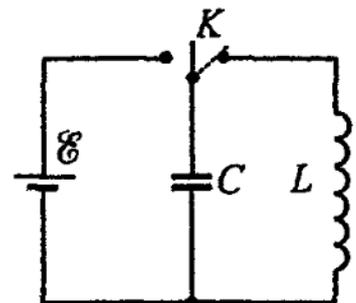
◇ 11.3.12 [Б-13.34] Два одинаковых конденсатора A и B , каждый емкостью C , и катушка индуктивностью L соединены по схеме, изображенной на рисунке. В начальный момент ключ K разомкнут, конденсатор A заряжен до напряжения U . Конденсатор B не заряжен и ток в катушке отсутствует. Определить максимальное значение силы тока в катушке после замыкания ключа. Сопротивлением катушки пренебречь.



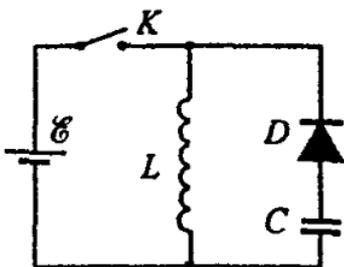
◇ 11.3.13 [Б-14.29] Конденсатор емкостью C_1 , зарядили до напряжения U_0 , а затем подключили, замкнув ключ K , к колебательному контуру, состоящему из катушки индуктивности L и конденсатора емкостью C_2 . Определить изменение заряда во времени на каждом из конденсаторов.



◇ 11.3.14 [Б-14.30] Конденсатор емкостью $C = 50$ пФ сначала подключили к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 3$ В, а затем к катушке $L = 5,1$ мкГн. Чему равна частота колебаний, возникших в контуре? Чему равно максимальное и действующее значение силы тока в контуре?



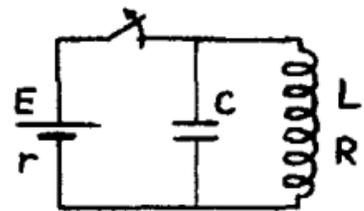
◇ 11.3.15 [Б-14.31] Колебательный контур, в который включен идеальный диод D , через ключ K на время τ подключают к источнику постоянной ЭДС \mathcal{E} , а затем отключают. Найти зависимость напряжения на конденсаторе от времени после размыкания ключа. Сопротивлением источника и катушки пренебречь. Индуктивность катушки L , емкость конденсатора C .



11.3.16 [м-3.5.1] В колебательном контуре с индуктивностью L и емкостью C конденсатор заряжен до максимального напряжения U_m . Каким будет ток I в контуре в тот момент, когда напряжение на конденсаторе уменьшится в два раза? Колебания считать незатухающими.

11.3.17 [м-3.5.2] В колебательном контуре конденсатору с емкостью $C = 10$ мкФ сообщили заряд $q = 1$ мКл, после чего возникли затухающие электромагнитные колебания. Сколько тепла Q выделится к моменту, когда максимальное напряжение на конденсаторе станет меньше начального максимального напряжения в $n = 4$ раза?

◇ **11.3.18** [м-3.5.3] Катушка индуктивностью $L = 2$ мГн с сопротивлением обмотки $R = 10$ Ом и конденсатор емкостью $C = 10^{-5}$ Ф подключены параллельно к источнику с ЭДС $\mathcal{E} = 100$ В и внутренним сопротивлением $r = 10$ Ом. Какое количество тепла Q выделится в контуре после отключения источника?

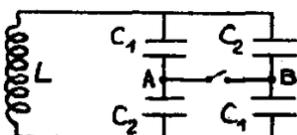


11.3.19 [м-3.5.5] В колебательном контуре конденсатор емкостью C заряжен до максимального напряжения U_m . Определить резонансную частоту ν_0 колебаний в контуре, если максимальный ток в нем I_m . Активным сопротивлением в контуре пренебречь.

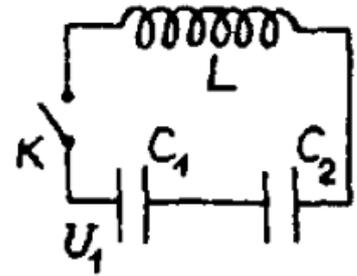
11.3.20 [м-3.5.6] Колебательный контур состоит из катушки индуктивности и двух одинаковых конденсаторов, включенных параллельно. Период собственных колебаний контура T_1 . Каков будет период T_2 колебаний в контуре, если конденсаторы включить последовательно?

11.3.21 [м-3.5.7] Конденсатор емкостью $C = 0,1$ мкФ, заряженный до напряжения $U = 100$ В, подсоединяют к катушке индуктивностью $L = 1$ мГн. Чему равна величина тока I через катушку спустя время $t_0 = 0,785 \cdot 10^{-5}$ с после подключения конденсатора? Сопротивлением катушки и соединительных проводов пренебречь.

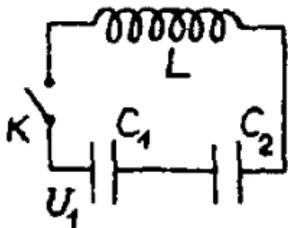
◇ **11.3.22** [м-3.5.8] Колебательный контур состоит из катушки индуктивности и четырех конденсаторов, соединенных как показано на рисунке. Во сколько раз α изменится период собственных колебаний в контуре, если замкнуть ключ, соединяющий точки A и B ? $C_1 = 10^{-8}$ Ф, $C_2 = 4 \cdot 10^{-8}$ Ф.



◇ **11.3.23** [м-3.5.9] В цепи, показанной на рисунке, конденсатор емкостью $C_1 = 10^{-5}$ Ф вначале заряжен до напряжения $U_1 = 200$ В, а конденсатор емкостью $C_2 = 10^{-6}$ Ф разряжен. До какого максимального напряжения $U_{2\max}$ может зарядиться конденсатор C_2 в процессе колебаний, возникающих в цепи после замыкания ключа? Потерями в соединительных проводах и в катушке индуктивности пренебречь.

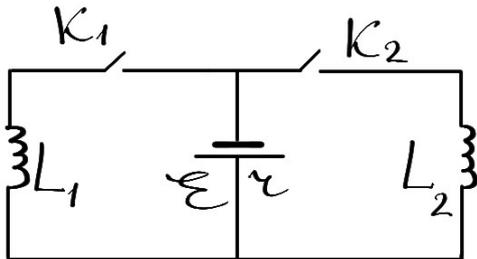


◇ **11.3.24** [м-3.5.10] Катушка индуктивностью $L = 3$ мГн подключена к двум последовательно соединенным конденсаторам (см. рисунок), один из которых, емкостью $C_1 = 10^{-7}$ Ф, заряжен вначале до напряжения $U_1 = 150$ В, а второй, емкостью $C_2 = 3 \cdot 10^{-7}$ Ф, разряжен. Чему будет равна максимальная сила тока I_{\max} в этой цепи после замыкания ключа?

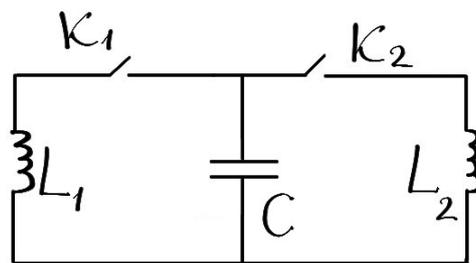


11.3.25 [м₂-3.5.11] При включении катушки в сеть переменного тока с действующим напряжением $U_1 = 120$ В и частотой $f = 50$ Гц действующее значение силы тока в ней равно $I_1 = 4$ А. При включении той же катушки в сеть постоянного тока с напряжением $U_2 = 50$ В сила тока в катушке оказывается равной $I_2 = 5$ А. Определить индуктивность катушки L .

◇ **11.3.26** [б-13.35] Две катушки с индуктивностями L_1 и L_2 подключены через ключи K_1 и K_2 к источнику с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r . В начальный момент времени оба ключа разомкнуты. После того как ключ K_1 замкнули и ток через катушку L_1 достиг некоторого значения I_0 , замыкают ключ K_2 . Определить установившийся ток через катушки L_1 и L_2 после замыкания ключа K_2 . Сопротивлениями катушек пренебречь.



◇ **11.3.27** [Б-13.36] Две катушки с индуктивностями L_1 и L_2 подключены через ключи K_1 и K_2 к конденсатору емкостью C . В начальный момент времени оба ключа разомкнуты, а конденсатор заряжен до напряжения U_0 . Сначала замыкают ключ K_1 , и, когда напряжение на конденсаторе станет равным нулю, замыкают ключ K_2 . Определить максимальный и минимальный ток, протекающий через катушку L_1 после замыкания K_2 . Сопротивлением катушек пренебречь.



11.3.28 [Б-14.31] Эффективное напряжение в цепи переменного тока с частотой 50 Гц равно 120 В. Определить время, в течение которого горит неоновая лампа в каждый период, если она зажигается и гаснет при напряжении 85 В.

Волны. Волновая оптика

Определения и теория

1. Принцип Гюйгенса (Гюйгенса-Френеля).
2. Законы отражения, преломления, прямолинейного распространения.
3. Электромагнитная шкала.
4. Дисперсия.
5. Условия когерентности. Интерференция.
6. Опыт Юнга.
7. Дифракция. Дифракционная решетка.

Задачи

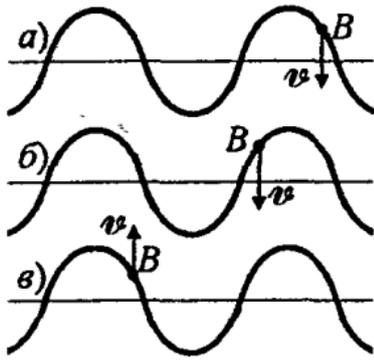
Распространение волн

11.4.1 [Б-16.1] Плоская волна описывается следующим уравнением: $S(x, t) = 0,05 \sin(1980t - 6x)$ где S — смещение частиц, см; t — время, с; x — расстояние по оси, м. Определить разность фаз между колеблющимися точками, находящимися на расстоянии $\Delta x = 35$ см друг от друга.

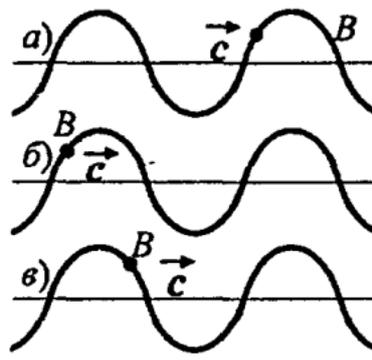
11.4.2 [Б-16.2] Волна распространяется со скоростью 6 м/с при частоте 4 Гц. Чему равна разность фаз точек волны, отстоящих друг от друга на 50 см?

11.4.3 [Б-16.3] Мимо неподвижного наблюдателя за 10 с прошло 4 гребня волны. Каков период колебаний частиц?

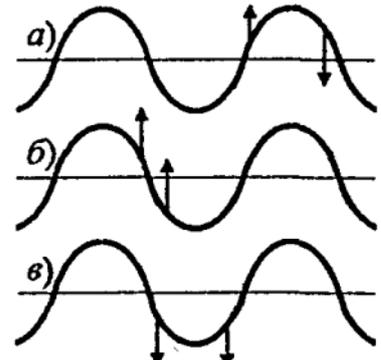
11.4.4 [Б-16.4] Волна от катера, проходящего по озеру, дошла до берега через 1 мин, причем расстояние между соседними гребнями оказалось равным 1,5 м, а время между двумя последовательными ударами о берег равно 2 с. Как далеко от берега проходил катер?



К задаче 11.4.5



К задаче 11.4.6



К задаче 11.4.7

◇ 11.4.5 [Б-16.5] В каком направлении движется волна, если частица B имеет направление скорости, показанное на рисунке?

◇ 11.4.6 [Б-16.6] В каком направлении смещается частица B (см. рисунок)? \vec{c} — скорость волны.

◇ 11.4.7 [Б-16.7] На рисунке показано направление скорости двух точек волны. Какая это волна?

11.4.8 [Б-16.8] Радиолокатор работает на длине волны $\lambda = 15$ см и испускает импульсы с частотой $\nu = 4$ Гц. Длительность каждого импульса $t = 2$ мкс. Какова наибольшая дальность обнаружения цели? Сколько колебаний содержится в одном импульсе?

11.4.9 [Б-16.9] Два дельфина движутся навстречу друг другу. Один из них издает звуковые импульсы с частотой ν . С какой частотой ν_1 приходят эти импульсы к другому дельфину, если скорость дельфинов относительно воды равна v ? Скорость звука в воде равна c .

11.4.10 [Б-16.10] Самолет летит горизонтально на высоте $H = 4$ км со сверхзвуковой скоростью. Звук дошел до наблюдателя через $t = 10$ с после того, как над ним пролетел самолет. Определить скорость самолета, если скорость звука $c = 330$ м/с.

Колебательный контур

11.4.11 [Б-16.11] Емкость колебательного контура радиоприемника $C = 0,2$ пФ, а в катушке индуктивности возникает ЭДС самоиндукции $\mathcal{E} = 0,1$ В при скорости изменения в ней тока, равной 2 А/с. Определить, на какую длину волны настроен радиоприемник.

11.4.12 [Б-16.12] Колебательный контур приемника состоит из катушки и конденсатора с площадью пластин $S = 800$ см² и расстоянием $d = 1$ мм между ними, заполненного слюдой (диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 7$). Определить, на какую длину волны настроен контур, если известно отношение максимального напряжения на конденсаторе к максимальному току в катушке $n = 100$ В/А. Активным сопротивлением пренебречь.

Интерференция

11.4.13 Экран расположен на расстоянии L от линии, соединяющей 2 когерентных источника, параллельно этой линии. Источники находятся на расстоянии d друг от друга и излучают свет длиной волны λ . Найдите ширину интерференционной полосы на экране (то есть расстояние между соседними максимумами). Углы, под которыми наблюдаются максимумы, считать малыми.

11.4.14 Параллельные лучи падают на экран по малым углом φ к нормали экрана. Найти ширину интерференционной полосы на экране.

11.4.15 [Б-16.13] В эксперименте с двумя щелями, расстояние между которыми $D = 0,1$ мм, а расстояние от щелей до экрана $L = 1$ м, размещен источник света. Каким будет расстояние Δx между соседними световыми линиями, если использовать желтый свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм?

11.4.16 [Б-16.14] На диафрагму с двумя узкими щелями, находящимися на расстоянии $d = 2,5$ мм, падает по нормали к ней монохроматический свет. Интерференционная картинка образуется на экране, отстоящем от диафрагмы на расстоянии $\ell = 100$ см. Куда и на какое расстояние сместятся интерференционные полосы, если одну из щелей закрыть стеклянной пластинкой толщиной $b = 10$ мкм ($n = 1,5$)?

11.4.17 [Б-16.15] Приемник радиосигналов, следящий за появлением спутника Земли из-за горизонта, расположен на берегу озера на высоте $H = 3$ м над поверхностью воды. По мере поднятия спутника над горизонтом наблюдаются периодические изменения интенсивности принимаемого сигнала. Определить частоту радиосигнала спутника, если максимумы интенсивности наблюдались при углах возвышения спутника над горизонтом $\alpha_1 = 3^\circ$ и $\alpha_2 = 6^\circ$.

11.4.18 [Б-16.16] Два плоских зеркала образуют между собой угол $(180^\circ - 2\alpha)$, близкий к 180° . На равных расстояниях ℓ от зеркал расположен источник света S . Определить расстояние между соседними интерференционными полосами на экране, находящимися на расстоянии $L \gg \ell$ от линии пересечения зеркал. Длина световой волны λ .

11.4.19 [Б-16.20] Тонкая пленка с показателем преломления $n = 1,5$ освещается светом с длиной волны $\lambda = 600$ нм. При какой минимальной толщине пленки резко возрастает интенсивность отраженного света, если пленка расположена на материале с показателем преломления $n_2 > 1,5$?

11.4.20 [Б-16.21] На стеклянную пластинку ($n_1 = 1,5$) нанесена прозрачная пленка ($n = 1,4$). На пленку нормально к поверхности падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Какова должна быть наименьшая толщина пленки, если в результате интерференции отраженные лучи максимально ослаблены?

11.4.21 [Б-16.17] Собирающую линзу диаметром $D = 5$ см с фокусным расстоянием $f = 50$ см разрезали по диаметру пополам и половинки раздвинули на расстояние $d = 5$ мм. Точечный источник света расположен на расстоянии $a = 1$ м от линзы. На каком расстоянии от линзы можно наблюдать интерференционную картинку? Щель между половинками линзы закрыта.

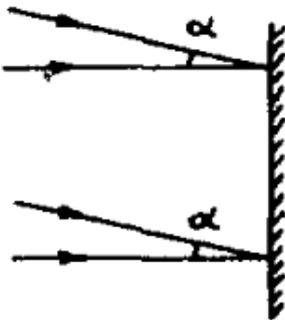
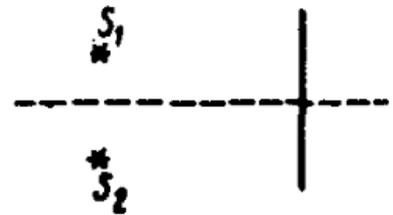
11.4.22 [Б-16.18] Собирающая линза, имеющая фокусное расстояние $F = 10$ см, разрезана пополам, и половинки раздвинуты на расстояние $\ell = 0,5$ мм. Оценить число интерференционных полос на экране, расположенном за линзой на расстоянии $b = 60$ см, если перед линзой находится точечный источник монохроматического света ($\lambda = 500$ нм), удаленный от нее на $a = 15$ см. Щель между половинками линзы закрыта непрозрачным экраном.

11.4.23 [Б-16.23] На установку для получения колец Ньютона падает нормально монохроматический свет ($\lambda = 0,5$ мкм). Определить толщину воздушного слоя там, где наблюдается пятое темное кольцо.

11.4.24 [Б-16.19] Точечный источник света S расположен в фокусе линзы, за которой находится бипризма с углом $\alpha = 0,01$ рад и высотой $D = 6$ см. На каком расстоянии L от бипризмы можно наблюдать наибольшее число интерференционных полос? Сколько полос в этом случае можно увидеть на экране? Чему равна ширина полос? Коэффициент преломления стекла бипризмы $n = 1,5$, длина волны света $\lambda = 0,5$ мкм.

11.4.25 [Б-16.22] В тонкой клинообразной пластинке в отраженном свете при нормальном падении лучей с длиной волны 450 нм наблюдаются темные интерференционные полосы, расстояние между которыми 1,5 мм. Найти угол между гранями пластинки, если ее показатель преломления $n = 1,5$.

◇ **11.4.26** [М-4.2.1] Два когерентных источника S_1 и S_2 испускают монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм. Определить, на каком расстоянии h от точки, расположенной на экране на равном расстоянии от источников, будет находиться первый максимум освещенности. Экран удален от источников на расстояние $L = 3$ м, расстояние между источниками $\ell = 0,5$ мм.



◇ **11.4.27** [М-4.2.2] Два когерентных пучка света падают на экран: один по нормали, а другой — под углом $\alpha = 0,01$ рад. Найти период d интерференционной картины, т.е. расстояние между соседними светлыми полосами на экране, если длина световой волны в обоих пучках равна $\lambda = 0,5$ мкм.

11.4.28 [М-4.2.4] На стеклянную пластинку нанесен тонкий слой прозрачного покрытия, показатель преломления которого $n = 1,41$ меньше показателя преломления стекла. На пластинку под углом $\alpha = 30^\circ$ падает пучок белого света. Какова минимальная толщина покрытия d_{\min} , если в отраженном свете оно кажется зеленым? Длина волны зеленого света $\lambda = 0,53$ мкм.

◇ **11.4.29** [М-4.2.3] На тонкий стеклянный клин падает нормально широкий пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм. При этом в отраженном от клина свете наблюдаются интерференционные полосы, расстояние между которыми $d = 4$ мм. Найти угол клина φ , считая его малым, т.е. полагая $\sin \varphi \approx \varphi$; $\cos \varphi \approx 1$. Показатель преломления стекла $n = 1,5$.



Дифракционная решетка

11.4.30 Объясните, почему при освещении дифракционной решетки на экране возникает интерференционная картина.

11.4.31 [ЕГЭ] На дифракционную решетку с периодом 1,2 мкм падает по нормали монохроматический свет с длиной волны 500 нм. Каков наибольший порядок дифракционного максимума, который можно получить в данной системе?

11.4.32 [Б-16.24] Дифракционная решетка содержит 100 штрихов на 1 мм длины. Определить длину волны монохроматического света, падающего на решетку нормально, если угол между двумя спектрами первого порядка равен 8° .

11.4.33 [ЕГЭ] Дифракционная решетка, период которой равен 0,05 мм, расположена параллельно экрану на расстоянии 1,5 м от него и освещается пучком света с длиной волны 0,6 мкм, падающим по нормали к решетке. Определите расстояние между нулевым и вторым максимумами дифракционной картины на экране. Ответ выразите в миллиметрах. Считать, что $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$.

11.4.34 [Б-16.25] Какой наибольший порядок спектра натрия ($\lambda = 590$ нм) можно наблюдать при помощи дифракционной решетки, имеющей 500 штрихов на 1 мм, если свет падает на решетку нормально?

11.4.35 [ЕГЭ] Дифракционная решетка с периодом 10^{-5} м расположена параллельно экрану на расстоянии 0,75 м от него. На решетку по нормали к ней падает пучок света с длиной волны 0,4 мкм. Максимум какого порядка будет наблюдаться на экране на расстоянии 3 см от центра дифракционной картины? Считать $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$.

11.4.36 [Б-16.26] Сколько штрихов на 1 мм длины имеет дифракционная решетка, если зеленая линия ртути с длиной волны $\lambda = 5,461 \cdot 10^{-7}$ м в спектре первого порядка наблюдается под углом $19,8^\circ$? Определить также наибольший порядок спектра, который может образовать эта дифракционная решетка.

11.4.37 [Б-16.27] На дифракционную решетку падает нормально пучок света. Чему должна быть равна постоянная дифракционной решетки, чтобы в направлении, составляющем 39° к оси пучка, совпали максимумы двух линий с длиной волны $\lambda_1 = 419,5$ нм и $\lambda_2 = 629,3$ нм?

11.4.38 [Б-16.28] На дифракционную решетку с периодом $d = 2$ мкм падает нормально свет, пропущенный сквозь светофильтр. Фильтр пропускает волны длиной от $\lambda_{\min} = 500$ нм до $\lambda_{\max} = 600$ нм. Будут ли спектры различных порядков накладываться один на другой?

11.4.39 [Б-16.29] На каком расстоянии одна от другой будут находиться на экране две линии спектра ртути с длинами волн $\lambda_1 = 577$ нм и $\lambda_2 = 579,1$ нм в спектре первого порядка, полученном при помощи дифракционной решетки с периодом $d = 4$ мкм? Фокусное расстояние линзы, проецирующей спектр на экран, $F = 60$ см. Лучи падают на решетку нормально.

11.4.40 [Б-16.30] Период дифракционной решетки $d = 4$ мкм. Дифракционная картина наблюдается с помощью линзы с фокусным расстоянием $F = 40$ см. Определить длину световой волны падающего нормально на решетку света, если первый максимум получается на расстоянии 5 см от центрального.

11.4.41 При исследовании спектра ртути с помощью дифракционной решетки и гониометра (прибора для точного измерения углов дифракции света) было обнаружено, что в спектре 3-го порядка вблизи двойной желтой линии ртути со средней длиной волны $\lambda_1 = 578$ нм видна сине-фиолетовая линия 4-го порядка. Оцените ее длину волны λ_2 .

11.4.42 [ЕГЭ] Дифракционная решетка изготовлена на основе прозрачной пленки со сторонами $a = 5$ см и $b = 2$ см. Перпендикулярно стороне a на пленку нанесено 4000 параллельных штрихов. Определите максимальный порядок дифракционных максимумов, образующихся при падении света с длиной волны 500 нм перпендикулярно поверхности этой пленки.

Геометрическая оптика

Определения и теория

1. Границы применимости геометрической оптики.
2. Законы прямолинейного распространения, отражения и преломления.
3. Закон Снелла.
4. Относительный и абсолютный показатели преломления.
5. Полное внутреннее отражение.
6. Линза, луч, тень, полутень, точечный источник.
7. Формула тонкой линзы с выводом и объяснением знаков.

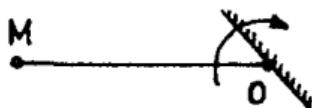
Законы отражения

11.5.1 [Б-15.3] Для освещения колодца солнечными лучами применили плоское зеркало. Под каким углом β к плоскости горизонта установлено зеркало, если угол возвышения Солнца над горизонтом α ?

11.5.2 [Б-15.4] На какой угол повернется луч, отраженный от плоского зеркала, при повороте последнего на угол α ?

11.5.3 [Б-15.5] Два плоских зеркала расположили под прямым углом друг к другу. Доказать, что луч, отразившись от обоих зеркал, будет параллелен падающему.

◇ **11.5.4** [М-4.1.3] Плоское зеркало вращается вокруг оси, перпендикулярной плоскости рисунка и проходящей по поверхности зеркала. Найти траекторию изображения точки M , расположенной на расстоянии a от оси вращения.



11.5.5 [М-4.1.11] Луч света отражается от плоского зеркала, падая на него под углом $\alpha = 30^\circ$. На какое расстояние ℓ сместится отраженный от зеркала луч, если поверхность зеркала закрыть стеклом толщиной $d = 3$ см? Показатель преломления стекла $n = 1,5$.

11.5.6 [Б-15.1] Какого наименьшего размера должно быть зеркало, висящее на вертикальной стене, чтобы человек, встав перед ним, мог увидеть себя в полный рост? Верхний край зеркала расположен на уровне глаз человека.

11.5.7 [Б-15.2] На стене, плоскость которой отклонена от вертикали на $\alpha = 4,87^\circ$, укреплено плоское зеркало. С какого максимального расстояния ℓ человек, рост которого $h = 170$ см, сможет увидеть хотя бы часть своего изображения?

Плоскопараллельная пластинка

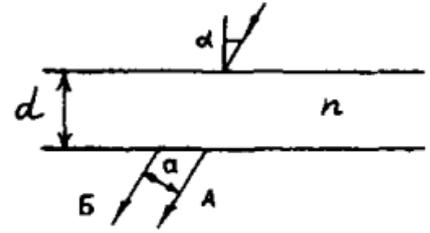
11.5.8 [Б-15.20] Предмет находится на расстоянии $\ell = 15$ см от плоскопараллельной стеклянной пластинки. Наблюдатель рассматривает предмет через пластинку, причем луч зрения нормален к ней. Определить расстояние x , на котором находится изображение предмета от ближайшей к наблюдателю грани, если толщина пластинки $d = 4,5$ см, показатель преломления стекла $n = 1,5$.

11.5.9 [Б-15.21] На каком расстоянии x находится изображение объекта, расположенного на расстоянии $\ell = 4$ см от передней поверхности плоскопараллельной стеклянной пластинки толщиной $d = 1$ см, посеребренной с задней стороны, если показатель преломления пластинки $n = 1,5$, а изображение расположено перпендикулярно к поверхности пластинки?

11.5.10 [Б-15.22] Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной d . На сколько сместится луч после прохождения пластинки, если угол падения луча α , показатель преломления стекла n ?

11.5.11 [Б-15.23] На плоскопараллельную стеклянную пластинку под углом α падает пучок света шириной a , содержащий два спектральных компонента с длинами волн λ_1 и λ_2 . Показатели преломления стекла для этих длин волн различны: n_1 для λ_1 и n_2 для λ_2 . Определить минимальную толщину пластинки, при которой свет, пройдя через нее, будет распространяться в виде двух отдельных пучков, каждый из которых содержит только один спектральный компонент.

◇ **11.5.12** [М-4.1.4] Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластину толщины $d = 2$ см под углом $\alpha = 30^\circ$. Какое расстояние a будет между лучами: прошедшим пластину без отражения (А) и претерпевшим двукратное отражение от ее граней (Б)? Показатель преломления стекла $n = 1,5$.

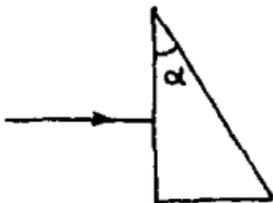


11.5.13 [М-4.1.12] Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку под углом $\alpha = \arcsin 0,8$. Вышедший из пластинки луч оказался смещенным относительно продолжения падающего луча на расстояние $d = 2$ см. Какова толщина h пластинки, если показатель преломления стекла $n = 1,7$?

Законы преломления. Полное внутреннее отражение

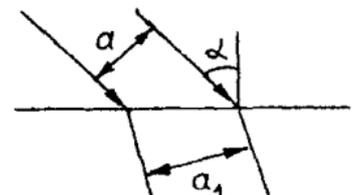
11.5.14 [М-4.1.1] Точечный источник света расположен на дне водоема глубиной $h = 0,6$ м. В некоторой точке поверхности воды вышедший в воздух преломленный луч оказался перпендикулярным лучу, отраженному от поверхности воды обратно в воду. На каком расстоянии L от источника на дне водоема достигнет дна отраженный луч? Показатель преломления воды $n = 4/3$.

11.5.15 [М-4.1.2] Луч света падает в центр верхней грани стеклянного кубика. Чему равен максимальный угол падения α , при котором преломленный луч еще попадает на нижнюю грань кубика? Показатель преломления стекла $n = 1,5$.



◇ **11.5.16** [М-4.1.5] Луч света падает нормально на переднюю грань призмы, как показано на рисунке. Преломляющий угол призмы равен $\alpha = 30^\circ$. Каким должен быть показатель преломления материала призмы n для того, чтобы угол отклонения луча призмой был равен α ?

◇ **11.5.17** [М-4.1.6] Пучок параллельных лучей ширины $a = 3$ см падает под углом $\alpha = 45^\circ$ из воздуха на плоскую границу среды с показателем преломления $n = 1,5$. Какова будет ширина a_1 пучка в среде?



11.5.18 [Б-15.6] Определить кажущуюся глубину водоема h , если смотреть на него сверху перпендикулярно его поверхности. Фактическая глубина водоема H , показатель преломления воды n .

11.5.19* [Б-15.7] Плоское дно водоема глубиной H рассматривается из воздуха. Определить кажущуюся глубину водоема h , если луч зрения с вертикалью составляет угол α .

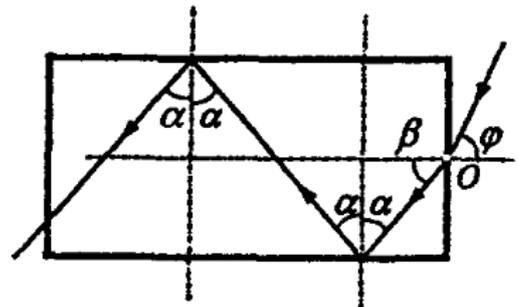
11.5.20 [Б-15.8] На дне водоема глубиной h находится точечный источник света. На поверхности воды плавает круглый диск так, что его центр находится над источником света. При каком минимальном диаметре диска d лучи от источника света не будут выходить из воды?

11.5.21 [Б-15.9] В кювете (плоской ванне) с жидкостью на глубине $h = 3$ см находится точечный источник света, который начинает смещаться по вертикали со скоростью $v = 10^{-3}$ м/с. На дне кюветы находится плоское зеркало, а на поверхности жидкости на высоте $H = 4$ см от дна плавает непрозрачный диск радиусом $R = 6$ см. Центр диска расположен на одной вертикали с источником света. Через какое время t источник света станет виден для внешнего наблюдателя? Показатель преломления жидкости $n = 2$.

11.5.22 [Б-15.10] Луч, падающий на плоскую границу двух сред, относительный показатель преломления которых n , частично отражается, частично преломляется. При каком угле падения отраженный луч перпендикулярен к преломленному лучу?

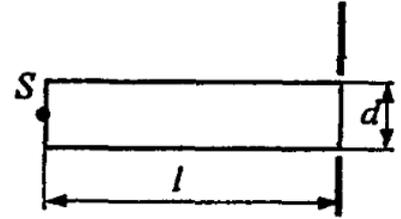
11.5.23 [Б-15.11] Луч света выходит из скипидара в воздух. Предельный угол полного отражения для этого луча $\alpha_{\text{пред}} = 42^\circ$. Чему равна скорость света в скипидаре?

◇ **11.5.24** [Б-15.12] Пучок длинных тонких нитей, выполненных из прозрачного материала с показателем преломления $n = \sqrt{7}/2$, образует светопровод. В каждой из нитей свет распространяется, испытывая многократные полные отражения на боковой поверхности. Определить угол зрения такого светопровода (то есть под каким максимальным углом φ к оси нити может падать световой луч на торец, чтобы пройти по светопроводу без ослабления).



11.5.25 [Б-15.13] Точечный источник света S расположен вне цилиндра на его оси вблизи торца (основания). Найти минимальный показатель преломления n материала цилиндра, при котором ни один луч, вошедший через основание, не выйдет через боковую поверхность наружу.

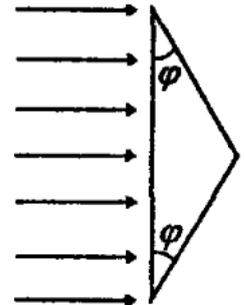
◇ **11.5.26** [Б-15.14] Точечный источник света S находится на расстоянии $\ell = 1$ м от экрана. В экране напротив источника сделано отверстие диаметром $d = 1$ см, в которое проходит свет. Между источником и экраном помещен прозрачный цилиндр, показатель преломления которого равен $n = 1,5$, длина $\ell = 1$ м, а диаметр тот же, что и у отверстия. Как изменится световой поток через отверстие? Поглощением света в веществе пренебречь.



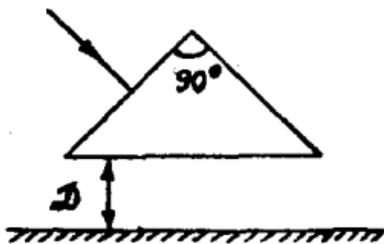
11.5.27 [Б-15.15] При каком угле падения α на одну из граней преломленный луч не выйдет из другой грани? Преломляющий угол призмы φ , показатель преломления стекла n .

11.5.28 [Б-15.16] Луч света падает на трехгранную призму под углом α . Призма сделана из стекла с показателем преломления n . Преломляющий угол при вершине призмы φ . Под каким углом ψ луч выйдет из призмы и каков угол θ отклонения луча от первоначального направления?

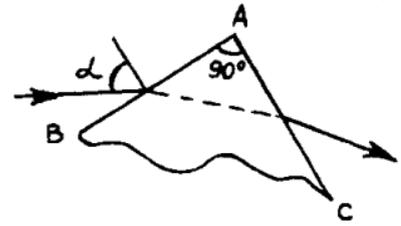
◇ **11.5.29** [Б-15.17] Равнобедренная стеклянная призма с малыми углами преломления φ (бипризма) помещена в параллельный пучок лучей, падающих нормально к ее основанию. Показатель преломления стекла $n = 1,57$, основание призмы $a = 5$ см. Найти угол φ , если в середине экрана, расположенного на расстоянии $\ell = 100$ см от призмы, образуется темная полоса шириной $d = 1$ см.



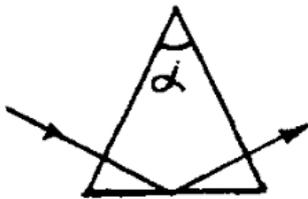
◇ **11.5.30** [М-4.1.20] На боковую грань равнобедренной призмы с углом при вершине 90° падает перпендикулярно этой грани луч света с длиной волны, для которой показатель преломления призмы $n_1 = 1,1$. После выхода из призмы луч падает на экран, находящийся на расстоянии $D = 10$ см от основания призмы параллельно основанию. На какое расстояние сместится луч на экране, если он будет иметь другую длину волны, для которой показатель преломления призмы $n_2 = 1,2$?



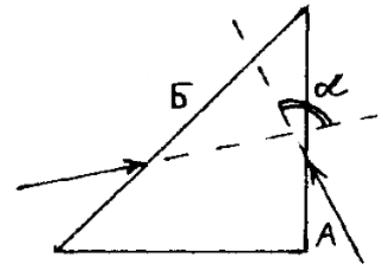
◇ **11.5.31** [м-4.1.21] Луч света, лежащий в плоскости рисунка, падает на боковую грань AB призмы, имеющей при вершине угол 90° . В каких пределах лежат возможные значения угла падения α , если известно, что луч выходит из боковой грани AC ? Показатель преломления призмы $n = 1,25$.



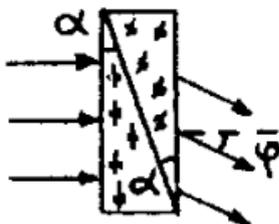
◇ **11.5.32** [м-4.1.26] Равнобедренная призма с углом при вершине α и показателем преломления n_1 помещена в жидкость, показатель преломления которой $n_2 < n_1$. Перпендикулярно боковой грани призмы падает луч света, который, отражаясь от основания, выходит через другую боковую грань. При каких значениях угла α луч будет претерпевать полное внутреннее отражение от основания призмы?



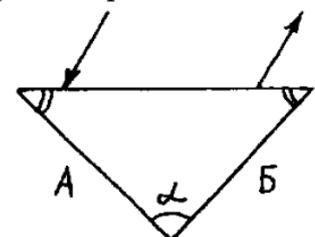
◇ **11.5.33** [м-4.1.33] На грани A и B прямоугольной равнобедренной призмы падают два луча, лежащие в одной плоскости. Луч, падающий на грань A , выходит из грани B перпендикулярно к ней. Луч, падающий на грань B , выходит из грани A перпендикулярно к этой грани. Найти угол α между входящими в призму лучами. Показатель преломления стекла равен n .



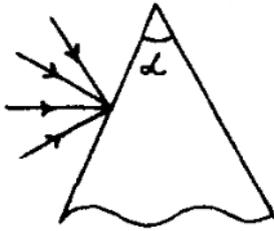
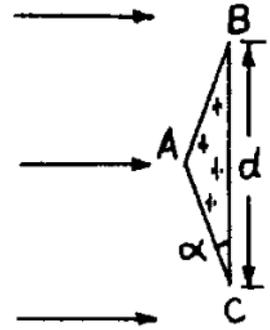
◇ **11.5.34** [м-4.1.30] Две призмы с равными углами при вершине $\alpha = 5^\circ$, имеющие разные показатели преломления, плотно прижаты друг к другу и расположены как показано на рисунке. При освещении этой системы призм параллельным пучком света, падающим нормально на переднюю грань системы, оказалось, что вышедший из нее пучок отклонился от первоначального направления на угол $\varphi = 3^\circ$. Найти разность Δn показателей преломления материалов призм. При расчетах положить $\sin \alpha \approx \alpha$, $\sin \varphi \approx \varphi$.



◇ **11.5.35** [м-4.1.34] Стекло́нная призма имеет равные углы при основании. Найти угол α при вершине призмы, если известно, что произвольный луч, падающий на ее основание в плоскости чертежа, после двукратного отражения от граней A и B призмы выходит параллельно первоначальному направлению.



◇ **11.5.36** [М-4.1.31] На равнобедренную стеклянную призму падает широкий параллельный пучок света, перпендикулярный грани BC , ширина которой $d = 5$ см. На каком расстоянии L от грани BC преломленный прямой свет разделится на два не перекрывающихся пучка? Показатель преломления стекла $n = 1,5$, угол при основании призмы $\alpha = 5,7^\circ$. При расчетах учесть, что для малых углов $\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha$.

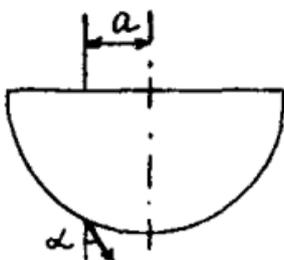
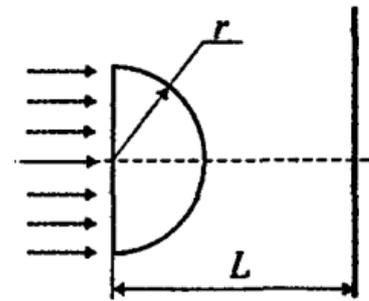


◇ **11.5.37** [М-4.1.32] Каков должен быть преломляющий угол призмы α , чтобы ни один из лучей, падающих на одну из ее боковых граней и лежащих в плоскости рисунка, не вышел из другой боковой грани? Призма изготовлена из стекла с показателем преломления $n = 2$.

11.5.38 [М-4.1.7] На поверхности воды плавает непрозрачный шар радиусом $R = 1$ м, наполовину погруженный в воду. На какой максимальной глубине H_{\max} нужно поместить под центром шара точечный источник света, чтобы ни один световой луч не прошел в воздух? Показатель преломления воды $n = 1,33$.

11.5.39 [Б-15.18] Стеклянный шар (показатель преломления n) освещается узким расходящимся пучком лучей, ось которого проходит через центр шара. Источник света расположен на расстоянии ℓ от поверхности шара. На таком же расстоянии от поверхности, но по другую сторону от шара, находится изображение источника. Определить радиус шара.

◇ **11.5.40** [Б-15.19] На половину шара радиусом $r = 2$ см, изготовленного из стекла с показателем преломления $n = \sqrt{2}$, падает параллельный пучок лучей. Определить радиус светлого пятна на экране, расположенном на расстоянии $L = 4,82$ см от центра шара.



◇ **11.5.41** [М-4.1.15] Луч света падает на стеклянный полушар радиуса R на расстоянии a от его оси симметрии параллельно ей. На какой угол α отклонится вышедший после преломления в полушаре луч, если $a = 0,5R$, $n = 1,414$?

11.5.42 [м-4.1.16] Широкий световой пучок падает на основание стеклянного полушара с показателем преломления $n = 1,41$ перпендикулярно к плоскости основания. Каков максимальный угол α отклонения прошедших через полушар лучей от их первоначального направления?

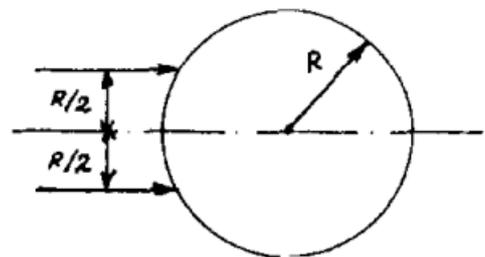
11.5.43 [м-4.1.17] Световой луч падает на поверхность стеклянного шара. Угол падения $\alpha = 45^\circ$, показатель преломления стекла $n = 1,41$. Найти угол γ между падающим лучом и лучом, вышедшим из шара.

11.5.44 [м-4.1.18] Световой луч падает на поверхность стеклянного шара под углом $\alpha = 45^\circ$. Найти показатель преломления стекла n , если угол между падающим лучом и лучом, вышедшим из шара, $\gamma = 30^\circ$.

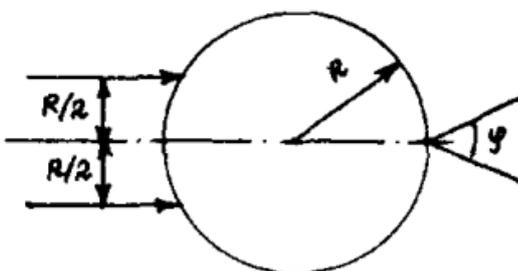
11.5.45 [м₂-4.1.11] Снаружи от прозрачного шара вплотную к его поверхности помещен точечный источник света. При каких значениях n показателя преломления материала шара все выходящие из него лучи (за исключением луча, прошедшего через центр шара) будут наклонены по направлению к оси, проведенной через источник и центр шара?

11.5.46 [м-4.1.8] В стекле с показателем преломления $n_1 = 1,5$ имеется сферическая полость радиуса $R = 4,5$ см, заполненная водой. Показатель преломления воды $n_2 = 4/3$. На полость падает широкий пучок параллельных световых лучей. Определить радиус r пучка световых лучей, которые проникают в полость.

◇ **11.5.47** [м-4.1.9] Два параллельных луча, расстояние между которыми равно радиусу R круглого прямого прозрачного цилиндра, падают на боковую поверхность этого цилиндра. Лучи параллельны основанию цилиндра. Найти величину показателя преломления n материала цилиндра, при которой лучи пересекаются на его поверхности.

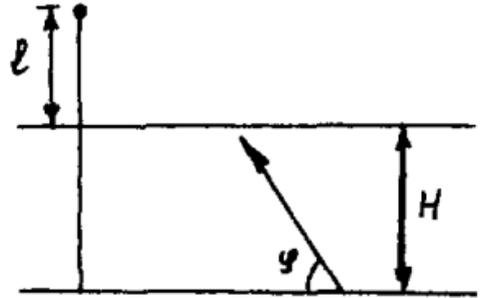


◇ **11.5.48** [м-4.1.10] Два параллельных луча, расстояние между которыми равно радиусу R круглого прямого прозрачного цилиндра, падают на боковую поверхность этого цилиндра как показано на рисунке. Лучи параллельны основанию цилиндра и пересекаются на поверхности цилиндра. Найти угол φ между вышедшими из цилиндра лучами.



11.5.49 [м-4.1.13] Два луча света падают из воздуха в жидкость. Углы преломления лучей равны $\beta_1 = 30^\circ$ и $\beta_2 = 45^\circ$. Найти показатель преломления жидкости n , если известно, что падающие лучи перпендикулярны друг другу и лежат в одной плоскости, перпендикулярной поверхности жидкости.

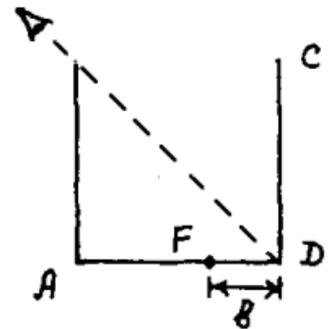
◇ **11.5.50** [м-4.1.14] Водолаз направляет из-под воды луч света так, чтобы он попал на конец вертикального стержня, выступающего из воды. Определить длину ℓ части стержня, выступающего из воды, если известно, что луч составляет с поверхностью горизонтального дна угол φ , а водолаз находится на глубине H и на расстоянии L от нижнего конца стержня. Показатель преломления воды равен n . Ростом водолаза по сравнению с глубиной пренебречь.



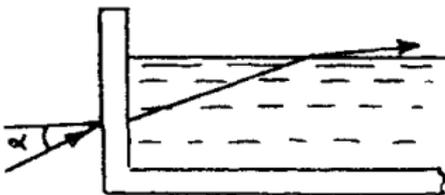
11.5.51 [м₂-4.1.13] Снаружи круглого прозрачного стержня вблизи от центра его торца помещен точечный источник света. При каких значениях показателя преломления материала стержня n свет не будет выходить через его боковую поверхность?

11.5.52 [м₂-4.1.14] Снаружи круглого прозрачного стержня вблизи от центра его торца помещен точечный источник света. Найти ширину ℓ области на боковой поверхности стержня, через которую будут выходить наружу световые лучи. Радиус стержня R , показатель преломления n .

◇ **11.5.53** [м-4.1.19] Цилиндрический сосуд с непрозрачными стенками расположен так, что глаз наблюдателя не видит дна сосуда, но видит полностью образующую цилиндра CD . Высота цилиндра $a = 40$ см равна его диаметру. Какой объем V воды нужно налить в сосуд, чтобы наблюдатель смог увидеть маленький предмет F , находящийся на расстоянии $b = 10$ см от точки D ? Коэффициент преломления воды $n = 1,3$.

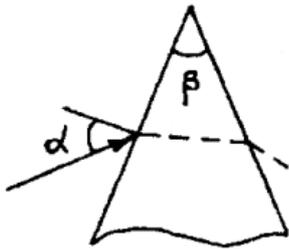
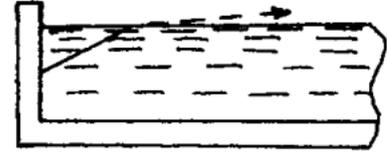


◇ **11.5.54** [м-4.1.22] Луч света, идущий в плоскости рисунка, падает наклонно на вертикальную стенку прозрачной кюветы, заполненной жидкостью с показателем преломления $n = 1,25$. В каких пределах должен лежать угол падения α , чтобы луч мог выйти из жидкости как на рисунке?



11.5.55 [М₂-4.1.15] Торец круглого прозрачного стержня с показателем преломления n освещается рассеянным светом. Под каким максимальным углом γ к оси стержня будут выходить световые лучи через его боковую поверхность?

◇ **11.5.56** [М-4.1.23] Пучок параллельных световых лучей падает наклонно на вертикальную стенку прозрачной кюветы, заполненной жидкостью с показателем преломления n . При каких значениях n пучок не выйдет через поверхность жидкости независимо от угла падения?

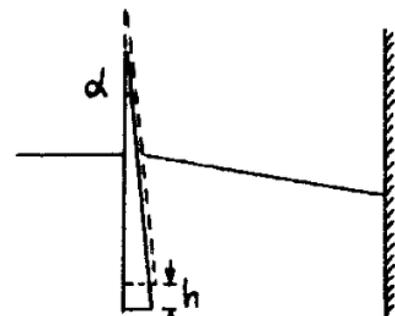


◇ **11.5.57** [М-4.1.24] Луч света, идущий в плоскости чертежа, падает на переднюю грань стеклянного клина с углом $\beta = 45^\circ$ между гранями. При каких значениях угла падения α луч выйдет через вторую грань клина? Показатель преломления стекла $n = \sqrt{2}$.

11.5.58 [М-4.1.25] На поверхности водоема, имеющего глубину $H = 3,3$ м, плавает фанерный круг радиусом $r = 3$ м. На оси круга расположен точечный источник света, высота которого над поверхностью круга может изменяться. Чему равен максимальный радиус тени круга на дне R , если показатель преломления воды $n = 1,33$?

11.5.59 [М-4.1.27] Высота солнца над горизонтом составляет угол $\varphi = 10^\circ$. Пользуясь зеркалом, пускают «зайчик» в водоем. Под каким углом β к горизонту нужно расположить зеркало, чтобы луч света шел в воде под углом $\alpha = 41^\circ$ к вертикали ($\sin \alpha \approx 0,655$)? Показатель преломления воды $n = 1,32$. Нормаль к зеркалу лежит в вертикальной плоскости.

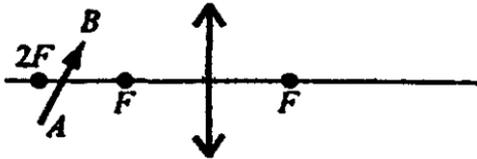
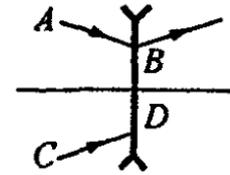
◇ **11.5.60** [М-4.1.29] Узкий пучок световых лучей падает на стеклянный клин перпендикулярно его передней грани, расположенной вертикально. Пройдя клин, пучок попадает на вертикальный экран. На какое расстояние Δh сместится световое пятно на экране, если сдвинуть клин вверх на расстояние $h = 5$ см? Показатель преломления клина $n = 1,5$, угол при его вершине $\alpha = 5,7^\circ$. При расчетах положить $\text{tg } \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha$.



11.5.61 [М-4.1.28] На водной поверхности бассейна глубиной $H = 2$ м плавает круглый плот радиусом $r = 1,5$ м. В центре пота укреплена вертикальная мачта, на вершине которой подвешен фонарь. Определить высоту мачты h , если известно, что радиус тени от пота на дне бассейна $R = 2,1$ м. Показатель преломления воды $n = 1,33$. Фонарь считать точечным источником света.

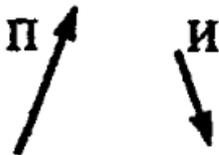
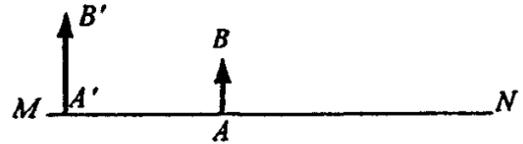
Построение изображений в тонкой линзе

◇ **11.5.62** [Б-15.24] По известному ходу луча AB (см. рисунок) через рассеивающую линзу построить ход луча CD . Положение фокусов не задано.



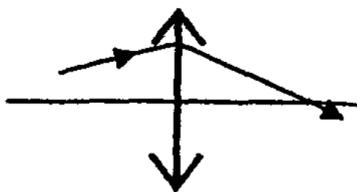
◇ **11.5.63** [Б-15.25] Построить изображение данного предмета (см. рисунок) в линзе. Какое это изображение?

◇ **11.5.64** [Б-15.26] На рисунке показаны: главная оптическая ось MN линзы, предмет AB и его изображение $A'B'$. Определить графически положение оптического центра и фокусов линзы. Не пользоваться тем, что фокусы расположены симметрично.



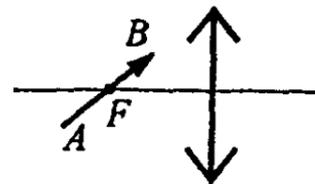
◇ **11.5.65** [Б-15.27] На рисунке показан предмет Π и его изображение И . Геометрическим построением определить положение плоскости симметрии и оптического центра линзы.

◇ **11.5.66** [Б-15.28] На рисунке показаны главная оптическая ось MN линзы, предмет AB и его изображение $A'B'$. Определить графически положение оптического центра P и фокуса F линзы.



◇ **11.5.67** [Б-15.29] На рисунке показаны главная оптическая ось линзы и ход одного из лучей. Найти построением фокусы линзы. Не пользоваться тем, что фокусы расположены симметрично.

◇ **11.5.68** [Б-15.30] Построить изображение предмета AB в собирающей линзе; F — фокус линзы (см. рисунок).



Формула тонкой линзы

11.5.69 [Б-15.31] В каком месте на главной оптической оси двояковыпуклой линзы нужно поместить точечный источник света, чтобы его изображение оказалось в главном фокусе?

11.5.70 [Б-15.32] Предмет высотой $h = 40$ см находится на расстоянии $d = 1$ м от вертикально расположенной рассеивающей линзы с фокусным расстоянием $F = -25$ см. Где находится изображение предмета? Определить высоту изображения.

11.5.71 [Б-15.33] На каком расстоянии от двояковыпуклой линзы с оптической силой $D = 2,5$ дптр надо поместить предмет, чтобы его изображение получилось на расстоянии $f = 2$ м от линзы?

11.5.72 [Б-15.34] На экране, расположенном на расстоянии 60 см от собирающей линзы, получено изображение точечного источника, расположенного на главной оптической оси линзы. На какое расстояние переместится изображение на экране, если при неподвижном источнике переместить линзу на 2 см в плоскости, перпендикулярной главной оптической оси? Фокусное расстояние линзы равно 20 см.

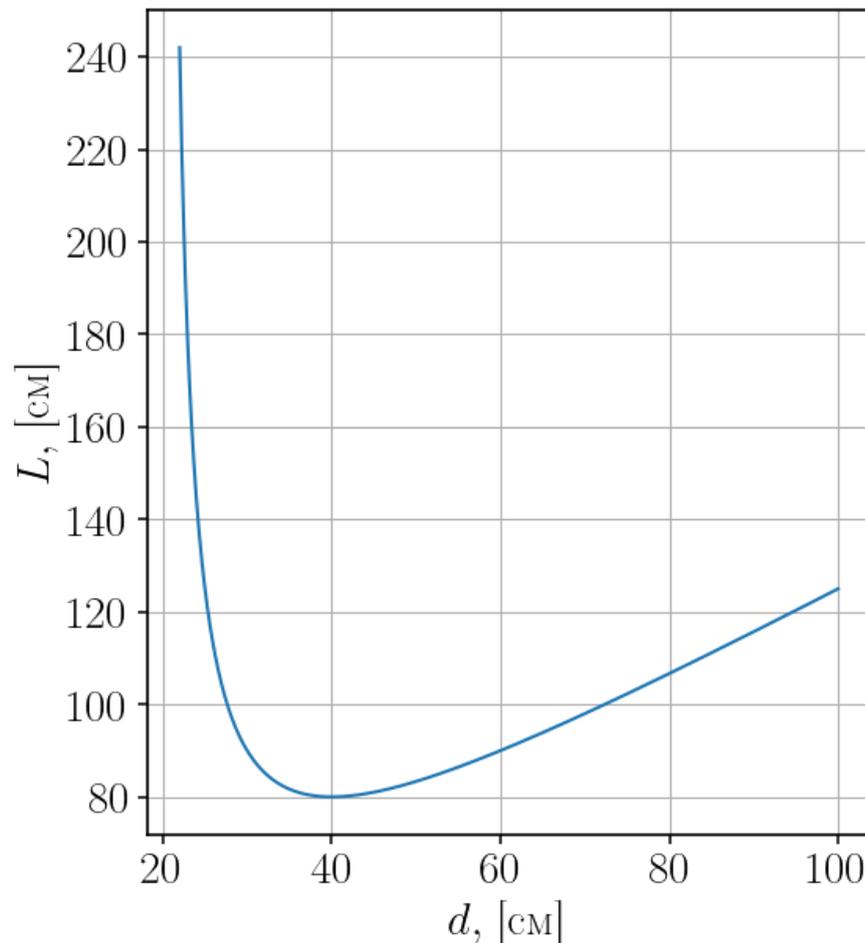
11.5.73 [Б-15.35] Оптическая сила двояковыпуклой линзы в воздухе $D_1 = 5$ дптр, а в воде $D_2 = 1,5$ дптр. Определить показатель преломления n материала, из которого изготовлена линза.

11.5.74 [Б-15.36] На каком расстоянии надо поместить предмет от собирающей линзы с фокусным расстоянием F , чтобы расстояние от предмета до его действительного изображения было наименьшим?

11.5.75 [Б-15.37] Предмет в виде отрезка длиной ℓ расположен вдоль оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием F . Середина отрезка расположена на расстоянии a от линзы, которая дает действительное изображение всех точек предмета. Определить продольное увеличение предмета.

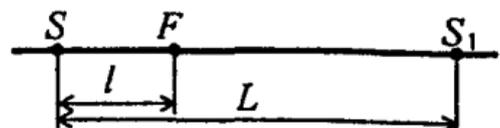
◇ **11.5.76** Алексей Михайлович располагал предмет на разных расстояниях d от собирающей линзы и при каждом положении измерял расстояние L от предмета до его действительного изображения. Полученную зависимость он построил на графике $L(d)$ (см. рисунок).

1. Найдите уравнение кривой, изображенной на графике.
2. Чему равно фокусное расстояние линзы?
3. Почему в левой части график такой крутой?



11.5.77 Тонкий прямой стержень AB лежит на главной оптической оси тонкой собирающей линзы, причем его длина ℓ в три раза меньше фокусного расстояния линзы F . Постройте изображение $A'B'$ и найдите продольное увеличение (отношение длины изображения к длине предмета). Центр стержня лежит на удвоенном фокусном расстоянии от линзы.

◇ **11.5.78** [Б-15.38] Даны точечный источник света S , его изображение S_1 , полученное с помощью собирающей линзы, и ближайший к источнику фокус линзы F . Расстояния $SF = \ell$ и $SS_1 = L$. Определить положение линзы и ее фокусное расстояние.



11.5.79 [Б-15.39] Расстояние от освещенного предмета до экрана $L = 100$ см. Линза, помещенная между ними, дает четкое изображение предмета на экране при двух положениях, расстояние между которыми $\ell = 20$ см. Найти фокусное расстояние линзы.

11.5.80 [Б-15.40] Предмет находится на расстоянии $L = 90$ см от экрана. Между предметом и экраном помещают линзу, причем при одном положении линзы на экране получается увеличенное изображение предмета, а при другом — уменьшенное. Каково фокусное расстояние линзы, если линейные размеры первого изображения в 4 раза больше второго?

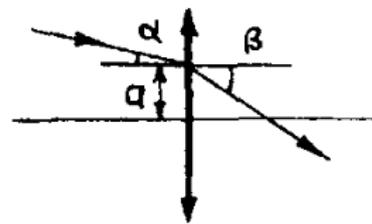
11.5.81 [Б-15.41] На экране с помощью тонкой линзы получено изображение предмета с увеличением $r_1 = 2$. Предмет передвинули на 1 см. Для того чтобы получить резкое изображение, пришлось передвинуть экран. При этом увеличение оказалось равным $r_2 = 4$. На какое расстояние пришлось передвинуть экран?

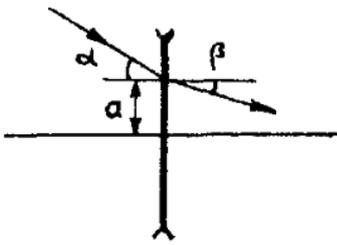
11.5.82 [Б-15.42] Тонкая собирающая линза дает изображение предмета на экране высотой H_1 и H_2 при двух положениях линзы между предметом и экраном, расстояние между ними неизменно. Чему равна высота предмета h ?

11.5.83 [Б-15.43] Какие предметы можно рассмотреть на фотографии, сделанной со спутника, если разрешающая способность пленки $\delta = 0,01$ мм? Каким должно быть время экспозиции τ , чтобы полностью использовать возможности пленки? Фокусное расстояние объектива используемого фотоаппарата $F = 10$ см, высота орбиты спутника $H = 100$ км.

11.5.84 [Б-15.44] При аэрофотосъемках используется фотоаппарат, объектив которого имеет фокусное расстояние $F = 8$ см. Разрешающая способность пленки $\Delta = 10^{-2}$ мм. На какой высоте должен лететь самолет, чтобы на фотографии можно было различить листья деревьев размером $\ell = 5$ см? При какой скорости самолета изображение не будет размытым, если время экспозиции $\tau = 10^{-3}$ с?

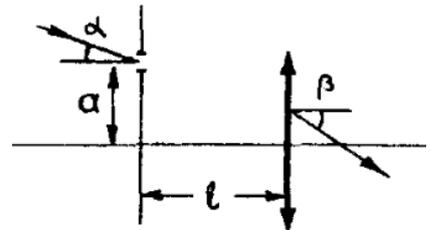
◇ **11.5.85** [М-4.1.35] На поверхность собирающей линзы с фокусным расстоянием f падает луч света на расстоянии a от центра линзы под углом α к ее главной оптической оси. Под каким углом β к главной оптической оси выйдет луч из линзы?



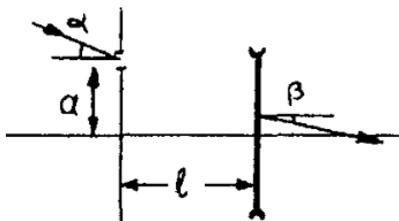


◇ **11.5.86** [М-4.1.36] На поверхность рассеивающей линзы с фокусным расстоянием f падает луч света на расстоянии a от центра линзы под углом α к ее главной оптической оси. Под каким углом β к главной оптической оси выйдет луч из линзы?

◇ **11.5.87** [М-4.1.37] На расстоянии ℓ перед тонкой собирающей линзой расположен экран с маленьким отверстием, находящимся на расстоянии a от главной оптической оси. На экран под углом α к оси линзы падает пучок параллельных лучей света. Под каким углом β к главной оптической оси выйдет пучок из линзы, если ее фокусное расстояние f ?



◇ **11.5.88** [М-4.1.38] На расстоянии ℓ перед тонкой рассеивающей линзой расположен экран с маленьким отверстием, находящимся на расстоянии a от главной оптической оси. На экран под углом α к оси линзы падает пучок параллельных лучей света. Под каким углом β к главной оптической оси выйдет пучок из линзы, если ее фокусное расстояние f ?



11.5.89 [М-4.1.39] Тонкая линза с фокусным расстоянием $F = 0,4$ м создает на экране увеличенное изображение предмета, который помещен на расстоянии $L = 2,5$ м от экрана. Каково расстояние d от предмета до линзы?

11.5.90 [М-4.1.40] С помощью тонкой собирающей линзы на экране, установленном перпендикулярно оптической оси, получают изображение светящегося диска. Диаметр изображения в $n = 8$ раз меньше, чем сам диск. Когда линзу отодвинули от экрана на $\Delta\ell = 28$ см, то на экране снова получилось изображение диска. Определить фокусное расстояние F линзы.

11.5.91 [М-4.1.41] Собирающая линза создает на экране изображение предмета, расположенного на расстоянии $\ell_1 = 0,12$ м от переднего фокуса линзы, причем экран находится на расстоянии $\ell_2 = 3$ м от заднего фокуса линзы. Определить фокусное расстояние F линзы.

11.5.92 [М-4.1.42] Мнимое изображение предмета в рассеивающей линзе находится от нее на расстоянии в два раза меньшем, чем предмет. Найти расстояние d от линзы до изображения, если фокусное расстояние линзы F известно.

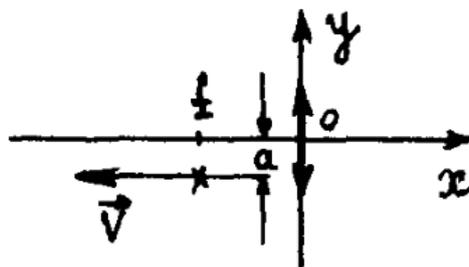
11.5.93 [М-4.1.43] С помощью линзы с фокусным расстоянием $f = 20$ см на экране получено изображение предмета с увеличением $m = 2$. Чему равно расстояние ℓ между предметом и экраном?

11.5.94 [М-4.1.44] С помощью линзы на экране получено изображение предмета с увеличением $m = 3$. Чему равно фокусное расстояние линзы f , если расстояние между экраном и предметом $\ell = 80$ см?

11.5.95 [М-4.1.45] С помощью линзы с фокусным расстоянием $f = 7,5$ см на экране получено изображение предмета, причем расстояние между предметом и экраном составило $\ell = 40$ см. Чему равно увеличение m изображения?

11.5.96 [М-4.1.46] Перемещая линзу между экраном и предметом, удается получить два его четких изображения, одно размером $\ell_1 = 2$ см, а другое размером $\ell_2 = 8$ см. Каков размер ℓ предмета?

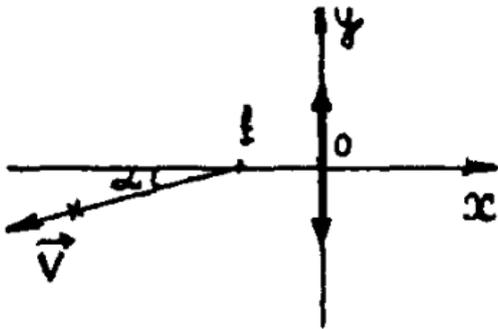
◇ **11.5.97** [М-4.1.48] Начало системы координат помещено в центр тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием f , причем ось x совпадает с главной оптической осью линзы. Точечный источник света удаляется от линзы равномерно со скоростью v по прямой, параллельной оси x и проходящей на расстоянии a от нее. Найти координаты $x(t)$, $y(t)$ изображения источника как функции времени. При $t = 0$ источник находился в фокальной плоскости линзы.



11.5.98 [М₂-4.1.30] Тонкая линза дает на экране изображение предмета с линейным увеличением $m_1 = 2$. Во сколько раз α нужно изменить расстояние между предметом и экраном, чтобы получить на экране изображение предмета с увеличением $m_2 = 3$?

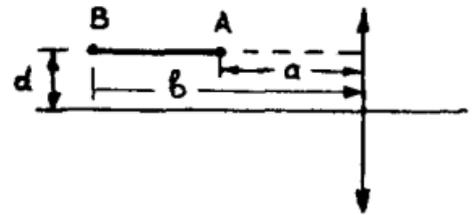
11.5.99 [М-4.1.47] Точечный источник света описывает окружность в плоскости, перпендикулярной оптической оси тонкой собирающей линзы, фокусное расстояние которой $F = 7$ см. Изображение источника на экране расположено на расстоянии $d = 0,35$ м от линзы. Каково отношение ускорений изображения и источника?

◇ 11.5.100 [М-4.1.49] Начало системы координат помещено в центр тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием f , причем ось x совпадает

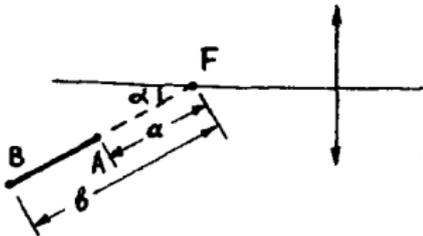


с главной оптической осью линзы. Точечный источник света удаляется от линзы по прямой, проходящей через фокус линзы под углом α с постоянной скоростью v . Найти координаты $x(t)$, $y(t)$ изображения источника в зависимости от времени. При $t = 0$ источник находился в фокусе линзы.

11.5.101 [М-4.1.50] Отрезок AB , параллельный главной оси собирающей линзы, расположен на расстоянии d от оси так, что его концы удалены от плоскости линзы на расстояния a и b соответственно. Найти длину ℓ изображения отрезка, если фокусное расстояние линзы F и $b > a > F$.

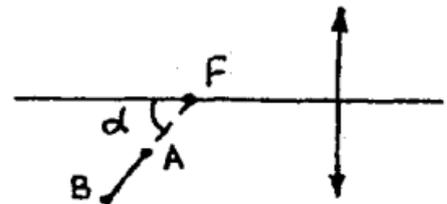


◇ 11.5.102 [М-4.1.51] Отрезок AB расположен вдоль прямой, проходящей через фокус собирающей линзы под углом $\alpha = 45^\circ$ к главной оптической оси. Найти длину ℓ изображения этого отрезка. Фокусное расстояние линзы F , а расстояния от точек A и B до фокуса равны, соответственно, a и b .

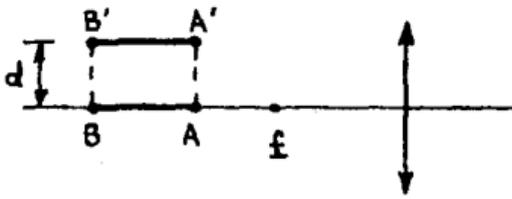


11.5.103 [М-4.1.54] Для получения изображения точечного источника света на экране используют собирающую линзу с фокусным расстоянием $F = 7$ см. На каком расстоянии b от экрана следует разместить линзу, чтобы в формировании изображения источника принял участие максимальный световой поток? Расстояние между источником и экраном $L = 64$ см.

11.5.104 [М-4.1.52] Отрезок AB расположен вдоль прямой, проходящей через фокус собирающей линзы под углом $\alpha = 60^\circ$ к ее главной оси. Расстояния от точек A и B до фокуса F равны, соответственно, $a = 5$ см и $b = 10$ см. Чему равно фокусное расстояние линзы F , если известно, что длина отрезка AB равна длине его изображения?

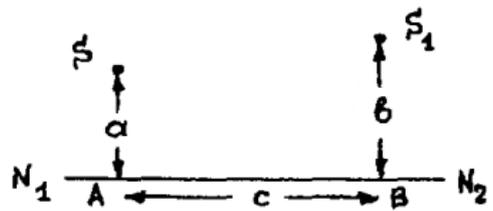


◇ 11.5.105 [М-4.1.53] Отрезок AB , лежащий на главной оптической оси линзы за ее фокусом f , сместили параллельно самому себе и перпендикулярно оптической оси в положение $A'B'$, как показано на рисунке. Чему равно смещение d , если длина изображения отрезка $A'B'$ больше длины изображения отрезка AB в $k = 2$ раза? Фокусное расстояние линзы $f = 3$ см.

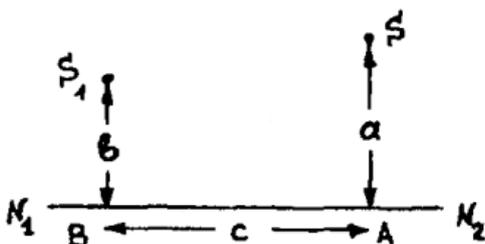


оптической оси в положение $A'B'$, как показано на рисунке. Чему равно смещение d , если длина изображения отрезка $A'B'$ больше длины изображения отрезка AB в $k = 2$ раза? Фокусное расстояние линзы $f = 3$ см.

◇ 11.5.106 [М-4.1.55] На рисунке представлены светящаяся точка S и ее изображение S_1 , даваемое линзой, главная оптическая ось которой — прямая N_1N_2 . Расстояния от точек S и S_1 до оптической оси равны, соответственно, $a = 20$ см и $b = 30$ см, расстояние между точками A и B равно $c = 15$ см. Найти фокусное расстояние линзы F .

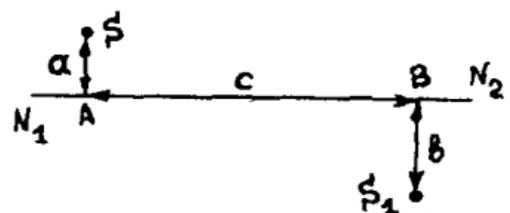


◇ 11.5.107 [М-4.1.56] На рисунке представлены светящаяся точка S и ее изображение S_1 , даваемое линзой, главная оптическая ось которой — прямая N_1N_2 . Расстояния от точек S и S_1 до оптической оси равны, соответственно, $a = 30$ см и $b = 20$ см, расстояние между точками A и B равно $c = 10$ см. Найти фокусное расстояние линзы F .



изображение S_1 , даваемое линзой, главная оптическая ось которой — прямая N_1N_2 . Расстояния от точек S и S_1 до оптической оси равны, соответственно, $a = 30$ см и $b = 20$ см, расстояние между точками A и B равно $c = 10$ см. Найти фокусное расстояние линзы F .

◇ 11.5.108 [М-4.1.57] На рисунке представлены светящаяся точка S и ее изображение S_1 , даваемое линзой, главная оптическая ось которой — прямая N_1N_2 . Расстояния от точек S и S_1 до оптической оси равны, соответственно, $a = 10$ см и $b = 20$ см, расстояние между точками A и B равно $c = 40$ см. Найти фокусное расстояние линзы F .



11.5.109 [М-4.1.59] Собирающая линза дает на экране, перпендикулярном ее главной оптической оси, резкое изображение предмета с увеличением $M = 4$. Линзу сдвигают перпендикулярно оптической оси на расстояние $h = 1$ мм. Какова будет величина H смещения изображения на экране?

◇ 11.5.110 [М-4.1.58] Точечный источник света A расположен на расстоянии $a = 2$ см от фокуса собирающей линзы на прямой, образующей угол $\alpha = 60^\circ$ с главной оптической осью. На каком расстоянии ℓ от второго фокуса находится изображение A' источника? Фокусное расстояние линзы $f = 5$ см.



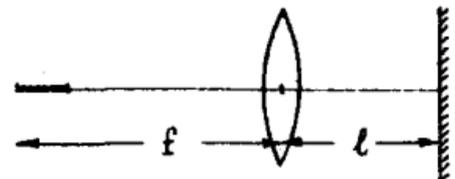
На каком расстоянии ℓ от второго фокуса находится изображение A' источника? Фокусное расстояние линзы $f = 5$ см.

11.5.111 [М-4.1.60] Узкий световой пучок падает на собирающую линзу с фокусным расстоянием $f = 20$ см параллельно ее главной оптической оси. Пройдя линзу, пучок попадает на экран, находящийся на расстоянии $L = 50$ см от линзы и перпендикулярный ее главной оптической оси. На какое расстояние H сместится световое пятно на экране, если сдвинуть линзу перпендикулярно ее оси на расстояние $h = 2$ мм?

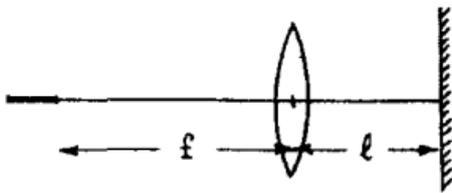
11.5.112 [М-4.1.61] Изображение предмета наблюдают на экране, расположенном на расстоянии $a = 5$ см от тонкой линзы, фокусное расстояние которой $f = 3,5$ см. Линзу смещают в направлении, перпендикулярном ее главной оптической оси, на расстояние $\Delta = 7$ мм. На какое расстояние x сместится при этом изображение предмета?

11.5.113 [М-4.1.64] Точечный источник света лежит на главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 70$ см. Расстояние от источника до центра линзы равно $2F$. На какое расстояние x сместится изображение источника, если линзу повернуть так, чтобы прямая, проведенная от источника к центру линзы, составляла угол $\alpha = 30^\circ$ с главной оптической осью линзы? Центр линзы остается неподвижным.

◇ 11.5.114 [М-4.1.62] Светящаяся нить лампы в осветителе имеет форму отрезка длины $\Delta = 1$ см и расположена вдоль главной оптической оси линзы диаметра $D = 5$ см с фокусным расстоянием $f = 9$ см таким образом, что дальний от линзы конец нити находится в фокусе линзы. Построив ход лучей, определить диаметр d светлого пятна на экране, расположенном на расстоянии $\ell = 72$ см от линзы перпендикулярно ее главной оптической оси.



◇ **11.5.115** [М-4.1.63] Светящаяся нить лампы имеет форму отрезка длины $\Delta = 1$ см и расположена вдоль главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием $f = 5$ см так, что ближний к линзе конец нити находится в ее фокусе.

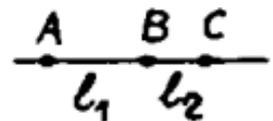


На расстоянии l от линзы перпендикулярно ее главной оптической оси расположен экран. Построив ход лучей, определить, при каком значении l размер пятна на экране превысит диаметр линзы.

11.5.116 [М-4.1.72] Точечный источник света расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы. По другую сторону линзы находится экран, перпендикулярный ее главной оптической оси. Найти радиус r светового пятна на экране, если известно, что расстояние от источника до линзы $a = 30$ см, расстояние от линзы до экрана $b = 80$ см, фокусное расстояние линзы $f = 20$ см, а ее радиус $R = 3$ см.

11.5.117 [М-4.1.73] Точечный источник света расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $f = 20$ см. По другую сторону линзы на расстоянии $b = 80$ см от нее находится экран, перпендикулярный ее главной оптической оси. Известно, что если переместить экран на расстояние $d = 40$ см в сторону линзы, то размер пятна света, создаваемого источником на экране, не изменится. Определить расстояние a от источника света до линзы.

◇ **11.5.118** [М-4.1.74] Точечный источник света находится на главной оптической оси рассеивающей линзы. Если поместить источник в точку A , то его изображение расположится в точке B . Если поместить источник в точку B , то его изображение расположится в точке C . Зная расстояния между точками A и B $l_1 = 20$ см и между точками B и C $l_2 = 10$ см, найти фокусное расстояние линзы f .



11.5.119 [М₂-4.1.63] Предмет высотой $h = 5$ см находится на расстоянии $a = 12$ см от вогнутого зеркала с фокусным расстоянием $F = 10$ см. На каком расстоянии b от зеркала образуется изображение? Какова его высота H ?

11.5.120 [M₂-4.1.64] Радиус вогнутого сферического зеркала $R = 40$ см. На главной оптической оси этого зеркала помещен точечный источник света S на расстоянии $a = 30$ см от зеркала. На каком расстоянии d от вогнутого зеркала нужно поставить плоское зеркало, чтобы лучи, отраженные вогнутым, а затем плоским зеркалом, вернулись в точку S ?

11.5.121 [M₂-4.1.23] В фокусе сферического зеркала прожектора помещен источник света в виде светящегося диска радиусом $r = 1$ см. Найти диаметр D освещенного пятна на стене, расположенной на расстоянии $L = 50$ м от прожектора перпендикулярно главной оптической оси, если фокусное расстояние сферического зеркала $F = 40$ см, а диаметр зеркала $d = 10$ см.

Оптические системы. Глаз. Зрение

11.5.122 Вывести формулу для оптической силы центрированной оптической системы двух сложенных вплотную линз оптической силой D_1 и D_2 .

11.5.123 В центрированной оптической системе линз оптическими силами D_1 и D_2 линзы находятся на расстоянии ℓ друг от друга. Предмет расположен слева от первой линзы на расстоянии d_1 от ее оптического центра на главной оптической оси. Найти расстояние f_2 от второй линзы до изображения, даваемого системой.

11.5.124 На каком расстоянии b надо расположить две собирающие линзы в центрированной системе, чтобы падающий пучок лучей, параллельный ГОО, вышел также параллельно ГОО? Фокусные расстояния линз известны.

11.5.125 На каком расстоянии друг от друга b надо расположить собирающую и рассеивающую линзу центрированной системе, чтобы падающий пучок лучей, параллельный ГОО, вышел также параллельно ГОО? Фокусные расстояния линз известны.

11.5.126 [M-4.1.67] Две одинаковые собирающие линзы с фокусными расстояниями F расположены на расстоянии $2F$ друг от друга так, что их главные оптические оси совпадают. На главной оптической оси перед первой линзой помещена некоторая точка A такая, что луч света, вышедший из нее и прошедший обе линзы, пересекает эту ось в точке B , находящейся за второй линзой. Определить расстояние между точками A и B .

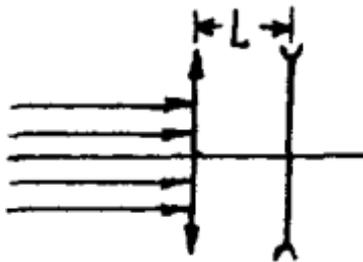
11.5.127 [Б-15.45] Определить оптическую силу 2 двух тонких линз с фокусными расстояниями F_1 и F_2 , сложенных вплотную.

11.5.128 [Б-15.46] Две собирающие линзы с фокусными расстояниями F и $F/2$ расположены на расстоянии $L = 2F$ так, что их главные оптические оси совмещены. Предмет расположен на расстоянии $d_1 = 3F/2$ слева от первой линзы. Определить, где будет находиться изображение предмета и каково будет его увеличение.

11.5.129 [Б-15.47] Источник света находится на расстоянии $a = 35$ см от собирающей линзы с фокусным расстоянием $F_1 = 20$ см. По другую сторону линзы на расстоянии $d = 38$ см расположена рассеивающая линза с фокусным расстоянием $F_2 = 12$ см. Где будет находиться изображение источника?

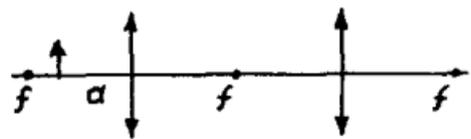
11.5.130 [М-4.1.65] Тонкая рассеивающая линза с фокусным расстоянием $f_1 = -1$ м прижата вплотную к тонкой собирающей линзе с фокусным расстоянием $f_2 = 0,6$ м так, что их главные оптические оси совпадают. На рассеивающую линзу вдоль общей оптической оси падает пучок параллельных лучей света. На каком расстоянии f от собирающей линзы этот пучок будет сфокусирован?

◇ **11.5.131** [М-4.1.66] Тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием $f_1 = 0,6$ м и тонкая рассеивающая линза с фокусным расстоянием $f_2 = -1$ м

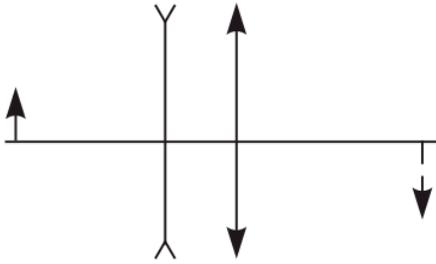


имеют общую оптическую ось и расположены на расстоянии $L = 0,2$ м друг от друга. На собирающую линзу вдоль общей оптической оси падает пучок параллельных лучей света. На каком расстоянии x от рассеивающей линзы он будет сфокусирован?

◇ **11.5.132** [М-4.1.68] Оптическая система состоит из двух одинаковых собирающих линз с фокусным расстоянием f , расположенных так, что их фокусы совпадают. Предмет находится на расстоянии $a < f$ перед первой линзой. На каком расстоянии b от второй линзы будет располагаться изображение предмета?



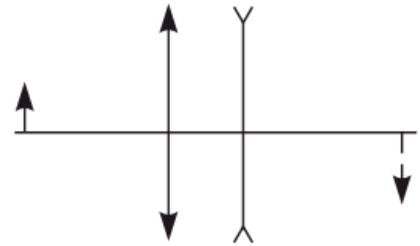
- ◇ **11.5.133** [М₂-4.1.43] Рассеивающая и собирающая линзы с одинаковыми по величине фокусными расстояниями $f = 10$ см расположены на расстоянии



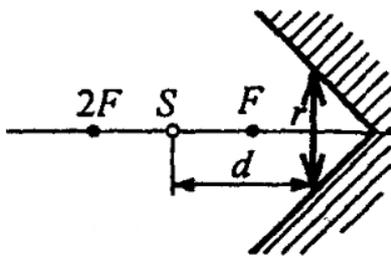
f друг от друга так, что их главные оптические оси совпадают. Предмет находится на расстоянии $a = 20$ см от рассеивающей линзы. На каком расстоянии b от собирающей линзы находится изображение предмета, показанное на рисунке штриховой линией?

- ◇ **11.5.134** [М₂-4.1.44] Собирающая и рассеивающая линзы с одинаковыми по величине фокусными расстояниями $f = 20$ см расположены на расстоянии

f друг от друга так, что их главные оптические оси совпадают. Предмет находится на некотором расстоянии от собирающей линзы. Чему равно увеличение системы M , то есть отношение размера изображения к размеру предмета, если известно, что действительное изображение предмета, показанное на рисунке штриховой линией, находится на расстоянии $b = 30$ см от рассеивающей линзы?



- ◇ **11.5.135** [Б-15.53] Два плоских зеркала образуют двугранный угол, равный 90° . В угол вставлена собирающая линза, имеющая фокусное расстояние F , так что ее главная оптическая ось составляет угол 45° с каждым зеркалом.



Радиус $r = F$. На главной оптической оси линзы на расстоянии $d = 1,5F$ находится источник света S . Найти положение одного из изображений источника света, которое находится на главной оптической оси.

источника света, которое находится на главной оптической оси.

- 11.5.136** [Б-15.49] Некто, сняв очки, читал книгу, держа ее на расстоянии $\ell = 15$ см от глаз. Какой оптической силы у него очки?

- 11.5.137** [Б-15.50] Как изменится оптическая сила глаза при переводе взгляда от удаленного предмета на расстояние наилучшего зрения?

- 11.5.138** [Б-15.51] Человек с нормальным зрением начинает смотреть через очки с оптической силой $D = 5$ дптр. Определить предельные положения, на которых может находиться рассматриваемый объект, чтобы его было ясно видно.

11.5.139 [Б-15.52] Предмет рассматривают в лупу, расположив его в фокальной плоскости лупы. При этом предмет выглядит увеличенным в k раз. Какое максимальное увеличение может дать эта лупа?

11.5.140 [М₂-4.1.41] Человек, страдающий дальнозоркостью, рассматривает предмет, находящийся на расстоянии $d = 20$ см перед его глазами. При этом изображение предмета оказывается смещенным за поверхность сетчатки глаза на расстояние $\delta = 2,2$ мм. Определить оптическую силу D контактной линзы, устраняющей это смещение. Считать, что оптическая система глаза — это тонкая линза с фокусным расстоянием $f = 2$ см, а контактная линза вплотную примыкает к ней.

11.5.141 [М₂-4.1.42] Человек, страдающий близорукостью, рассматривает предмет, находящийся на расстоянии $d = 202$ см перед его глазами с использованием контактной линзы оптической силы $D = -5$ дптр. При этом изображение предмета оказывается точно в плоскости сетчатки глаза. Определить, на какое расстояние δ сместится плоскость изображения, если человек снимет контактные линзы. Считать, что оптическая система глаза — это тонкая линза с фокусным расстоянием $f = 2$ см, а контактная линза вплотную примыкает к ней.

11.5.142 [М-4.1.69] Параллельный пучок световых лучей диаметром $d = 2$ см падает на собирающую линзу с фокусным расстоянием $F_1 = 10$ см. За этой линзой на некотором расстоянии от нее, превышающем F_1 , расположена вторая собирающая линза с фокусным расстоянием $F_2 = 15$ см, а в ее фокальной плоскости стоит экран. Найти диаметр D светового пятна на экране, если главные оптические оси линз и ось симметрии пучка совпадают, а экран перпендикулярен этим осям.

11.5.143 [М-4.1.70] На собирающую линзу с фокусным расстоянием $F_1 = 40$ см падает пучок параллельных лучей света радиусом $R = 2$ см. За этой линзой расположена рассеивающая линза с фокусным расстоянием $F_2 = -15$ см, причем главные оптические оси линз и ось симметрии пучка совпадают. Чему равен радиус пучка r , вышедшего из второй линзы, если известно, что лучи в нем параллельны?

11.5.144 [М-4.1.71] На собирающую линзу с фокусным расстоянием F вдоль ее главной оптической оси падает параллельный пучок света. На расстоянии L от линзы ($F < L < 2F$) перпендикулярно оптической оси расположен экран. На каком расстоянии x от линзы между ней и экраном нужно поместить вторую такую же линзу, чтобы диаметр пятна на экране стал равен первоначальному диаметру падающего пучка? Найти численное значение x для $F = 10$ см и $L = 15$ см.

11.5.145 [Б-15.48] В вогнутое зеркало радиусом R налит тонкий слой воды. Определить фокусное расстояние этой системы.

Квантовая физика и СТО

Определения и теория

1. Корпускулярно-волновой дуализм. Длина волны де Бройля.
2. Постулаты Бора.
3. Постулаты СТО. Формулы СТО.
4. Давление света. Альбе́до. Формула Максвелла.

Качественные вопросы

11.6.1 Опыт Столетова. Схема эксперимента. Смысл вакуумной колбы.

11.6.2 Почему невозможен ток больше тока насыщения при дальнейшем увеличении напряжения на электродах?

11.6.3 Почему при нулевом напряжении на источнике фототок не обращается в ноль?

11.6.4 Что такое 1 эВ?

11.6.5 Перечислите свойства света, свидетельствующие о его волновой природе; корпускулярной природе.

11.6.6 В эксперименте по изучению фотоэффекта увеличили интенсивность падающего света, не меняя его частоту. Как изменится график $I(U)$? Нарисуйте две кривые на одном графике.

11.6.7 В эксперименте по изучению фотоэффекта вместо зеленого света стали использовать синий той же интенсивности. Как изменится график $I(U)$? Нарисуйте две кривые на одном графике.

11.6.8 Что такое «красная граница фотоэффекта»?

11.6.9 Что такое «работа выхода»?

11.6.10 Опыт Лебедева. Схема эксперимента. Результат.

11.6.11 Докажите, что импульс силы, действующей на поверхность при отражении фотона, в 2 раза больше, чем при поглощении фотона.

11.6.12 Вывести формулу для давления светового пучка мощностью W с длиной волны λ на нормальную лучам площадку с альбедо α .

Задачи

11.6.13 [Б-17.2] При какой температуре средняя кинетическая энергия теплового движения молекул одноатомного газа равна энергии фотонов рентгеновских лучей с длиной волны $\lambda = 0,1$ нм?

11.6.14 [Б-17.3] Точечный изотропный источник испускает свет с длиной волны λ . Световая мощность источника P . Найти расстояние от источника до точки, где средняя концентрация фотонов равна n .

11.6.15 [Б-17.4] Мощность точечного источника монохроматического света $P = 10$ Вт на длине волны $\lambda = 500$ нм. На каком максимальном расстоянии R этот источник будет замечен человеком, если глаз реагирует на световой поток, соответствующий излучению 60 фотонов в секунду? Диаметр зрачка $d = 0,5$ см.

11.6.16 [Б-17.5] Лазер излучил короткий световой импульс длительностью $\tau = 0,13$ мкс с энергией $E = 10$ Дж. Найти среднее давление такого импульса, если его сфокусировать в пятно диаметром $d = 10$ мкм на поверхность, перпендикулярную к пучку, с коэффициентом отражения $\rho = 0,5$.

11.6.17 [Б-17.6] Свет от солнца падает на плоское зеркало площадью $S = 1$ м² под углом $\alpha = 60^\circ$. Найти силу светового давления, считая, что зеркало полностью отражает весь падающий на него свет. Известно, что средняя мощность солнечного излучения, приходящаяся на 1 м² земной поверхности, перпендикулярной к излучению, $P = 1,4 \cdot 10^3$ Вт/м².

11.6.18 [Б-17.7] Изолированная металлическая пластинка освещается светом с длиной волны 450 нм. Работа выхода электронов из металла $A_{\text{вых}} = 2$ эВ. До какого потенциала зарядится пластинка при непрерывном действии света?

11.6.19 [Б-17.8] Красная граница фотоэффекта для платины лежит около $\lambda_1 = 198$ нм. Если платину прокалить при высокой температуре, то красная граница фотоэффекта станет равной $\lambda_2 = 220$ нм. На сколько прокаливание уменьшает работу выхода электронов?

11.6.20 [Б-17.9] Плоский алюминиевый электрод освещается ультрафиолетовым светом с длиной волны $\lambda = 83$ нм. На какое максимальное расстояние ℓ от поверхности электрода может удалиться фотоэлектрон, если вне электрода имеется задерживающее электрическое поле напряженностью $E = 7,5$ В/см? Красная граница фотоэффекта для алюминия соответствует длине волны $\lambda_0 = 332$ нм.

11.6.21 [Б-17.10] Излучение аргонового лазера с длиной волны $\lambda = 500$ нм сфокусировано на плоском фотокатоде в пятно диаметром $d = 0,1$ мм. Работа выхода фотокатода $A = 2$ эВ. На плоский анод, расположенный на расстоянии $L = 30$ мм от катода, подано ускоряющее напряжение $U = 4$ кВ. Найти диаметр пятна фотоэлектронов на аноде. Анод расположен параллельно поверхности катода.

11.6.22 [Б-17.11] Какова длина волны, ассоциированная: а) с электроном, энергия которого равна 100 эВ? б) с шаром массой 0,047 кг, скорость которого 60 м/с?

11.6.23 [Б-17.13] Найдите импульс и энергию: а) рентгеновского фотона и б) электрона, если длина волны того и другого равна $1,00 \text{ \AA}$.

11.6.24* Выведите закон радиоактивного распада.

11.6.25 [Б-18.25] Во сколько раз уменьшится число атомов одного из изотопов радона за 1,91 суток? Период полураспада этого изотопа радона $T = 3,82$ суток.

11.6.26 [Б-18.26] В результате α -распада 1 г радия за год образовалась некоторая масса гелия, занимающая при нормальных условиях объем $0,043 \text{ см}^3$. Найти из этих данных число Авогадро. Период полураспада радия 1590 лет.

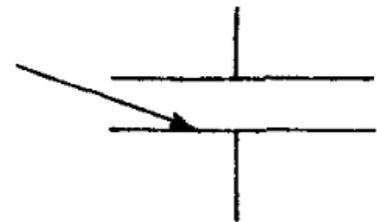
11.6.27 [Б-18.27] В калориметр с теплоемкостью $c = 100$ Дж/К помещен образец радиоактивного кобальта с молярной массой $\mu = 61 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Масса образца $m = 10$ мкг. При распаде одного ядра кобальта выделяется энергия $W = 2 \cdot 10^{-19}$ Дж. Через время $\tau = 50$ мин температура калориметра повысилась на $\Delta t = 0,06$ °С. Каков период полураспада кобальта?

11.6.28 [М-4.2.5] Катод фотоэлемента облучается светом с длиной волны $\lambda = 3,5 \cdot 10^{-7}$ м. Какая энергия передана фотоэлектронам, если в цепи фотоэлемента протек заряд $Q = 2 \cdot 10^{-12}$ Кл? Постоянная Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с, величина заряда электрона $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, скорость света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

11.6.29 [М-4.2.6] Катод фотоэлемента облучается светом с длиной волны $\lambda = 3,5 \cdot 10^{-7}$ м. Какова может быть максимальная величина тока фотоэлемента I , если поглощаемая световая мощность составляет $P = 2$ мВт? Постоянная Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с, величина заряда электрона $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, скорость света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

11.6.30 [М-4.2.7] Кристалл рубина облучается вспышкой света длительностью $\tau = 10^{-3}$ с и мощностью $P = 200$ кВт. Длина волны света $\lambda = 7$ мкм, кристалл поглощает $\eta = 10\%$ энергии излучения. Вычислить количество квантов света N , поглощенных кристаллом. Скорость света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, постоянная Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

◇ **11.6.31** [М-4.2.8] Какой максимальный заряд Q может быть накоплен на конденсаторе емкостью $C_0 = 2 \cdot 10^{-11}$ Ф, одна из обкладок которого облучается светом с длиной волны $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м? Работа выхода электрона составляет $A = 3 \cdot 10^{-19}$ Дж, постоянная Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с, величина заряда электрона $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, скорость света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.



11.6.32 [М-4.2.9] Уединенный изолированный металлический шарик радиусом $r = 0,5$ см, находящийся в вакууме, освещают ультрафиолетовым излучением с длиной волны $\lambda_1 = 250$ нм, которая меньше, чем длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта для данного металла. Каково максимальное количество электронов N_{\max} , которые могут покинуть шарик после того, как его дополнительно осветят излучением с длиной волны $\lambda_2 = 200$ нм?

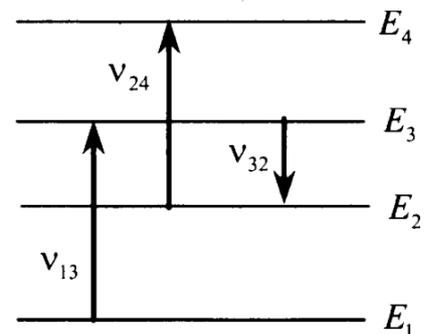
11.6.33 [м-4.2.10] На металлическую пластинку сквозь сетку, параллельную пластинке, падает свет с длиной волны $\lambda = 0,4$ мкм. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов между пластинкой и сеткой $U = 0,95$ В. Определить красную границу фотоэффекта (максимальную длину волны λ_{\max}).

11.6.34 [м-4.2.11] Измерения зависимости напряжения отсечки фототока (т.е. напряжения, при котором фототок прекращается) от длины волны света, падающего на цезиевую пластину Cs, производятся по схеме, изображенной на рисунке. При освещении светом с длиной волны $\lambda_1 = 0,4$ мкм напряжение отсечки составило $U_1 = 1,19$ В, при $\lambda_2 = 0,5$ мкм — $U_2 = 0,57$ В. Определить по результатам этого опыта длину волны λ_{\max} , соответствующую красной границе фотоэффекта для цезия.

11.6.35 Мощность излучения лазерной указки с длиной волны $\lambda = 600$ нм равна $P = 2$ мВт. Определите число фотонов, излучаемых указкой за 1 с.

11.6.36 Излучением лазера с длиной волны $3,3 \cdot 10^{-7}$ м за время $1,25 \cdot 10^4$ с был расплавлен лед массой 1 кг, взятый при температуре 0°C , и полученная вода была нагрета на 100°C . Сколько фотонов излучает лазер за 1 с? Считать, что 50% излучения поглощается веществом.

◇ **11.6.37** На рисунке представлены энергетические уровни атома и указаны частоты световых волн, испускаемых и поглощаемых при переходах между ними: $\nu_{13} = 7 \cdot 10^{14}$ Гц; $\nu_{32} = 3 \cdot 10^{14}$ Гц. При переходе с уровня E_4 на уровень E_1 атом излучает свет с длиной волны $\lambda = 360$ нм. Какова частота колебаний световой волны, поглощаемой атомом при переходе с уровня E_2 на уровень E_4 ?



11.6.38 Значения энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = \frac{-13,6 \text{ эВ}}{n^2}$, $n = 1, 2, 3, \dots$. При переходах с верхних уровней энергии на нижние атом излучает фотон. Переходы с верхних уровней на уровень с $n = 1$ образуют серию Лаймана; на уровень с $n = 2$ — серию Бальмера; на уровень с $n = 3$ — серию Пашена и т.д. Найдите отношение β максимальной частоты фотона в серии Лаймана к максимальной частоте фотона в серии Бальмера.

11.6.39 Металлическую пластину освещают монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 531$ нм. Каков максимальный импульс фотоэлектронов, если работа выхода электронов из данного металла $A_{\text{вых}} = 1,73 \cdot 10^{-19}$ Дж?

11.6.40 Для увеличения яркости изображения слабых источников света используется вакуумный прибор — электронно-оптический преобразователь. В этом приборе фотоны, падающие на катод, выбивают из него фотоэлектроны, которые ускоряются разностью потенциалов $\Delta U = 15\,000$ В и бомбардируют флуоресцирующий экран, рождающий вспышку света при попадании каждого электрона. Длина волны падающего на катод света $\lambda_1 = 820$ нм, а света, излучаемого экраном, $\lambda_2 = 410$ нм. Во сколько раз N прибор увеличивает число фотонов, если один фотоэлектрон рождается при падении на катод в среднем $k = 10$ фотонов? Работу выхода электронов $A_{\text{вых}}$ принять равной 1 эВ. Считать, что энергия электронов переходит в энергию света без потерь.

11.6.41 Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = \frac{-13,6 \text{ эВ}}{n^2}$, где $n = 1, 2, 3, \dots$. При переходе атома из состояния E_2 в состояния E_1 атом испускает фотон. Попад на поверхность фотокатода, фотон выбивает фотоэлектрон. Частота света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала с поверхности фотокатода, $\nu_{\text{кр}} = 6 \cdot 10^{14}$ Гц. Чему равна максимально возможная скорость фотоэлектрона?

11.6.42 В сосуде находится разреженный атомарный водород. Атом водорода в основном состоянии ($E_1 = -13,6$ эВ) поглощает фотон и ионизуется. Электрон, вылетевший из атома в результате ионизации, движется вдали от ядра со скоростью $v = 1000$ км/с. Какова частота поглощенного фотона? Энергией теплового движения атомов водорода пренебречь.

11.6.43 При облучении металлической пластинки квантами света с энергией 3 эВ из нее выбиваются электроны, которые проходят ускоряющую разность потенциалов $\Delta U = 5$ В. Какова работа выхода $A_{\text{вых}}$, если максимальная энергия ускоренных электронов E_e равна удвоенной энергии фотонов, выбивающих их из металла?

11.6.44 Металлическая пластина облучается светом частотой $\nu = 1,6 \cdot 10^{15}$ Гц. Работа выхода электронов из данного металла равна 3,7 эВ. Вылетающие из пластины фотоэлектроны попадают в однородное электрическое поле напряженностью 130 В/м, причем вектор напряженности поля направлен к пластине перпендикулярно ее поверхности. Какова максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов на расстоянии 10 см от пластины?

11.6.45 Фотокатод с работой выхода $4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж освещается светом. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле с индукцией $2 \cdot 10^{-4}$ Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля и движутся по окружностям. Максимальный радиус такой окружности 2 см. Какова частота ν падающего света?

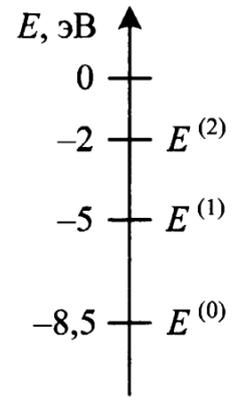
11.6.46 В вакууме находятся два покрытых кальцием электрода, к которым подключен конденсатор емкостью 4000 пФ. При длительном освещении катода светом фототок между электродами, возникший вначале, прекращается, а на конденсаторе появляется заряд, равный $5,5 \cdot 10^{-9}$ Кл. «Красная граница» фотоэффекта для кальция $\lambda_0 = 450$ нм. Определите частоту световой волны, освещающей катод. Емкостью системы электродов по сравнению с емкостью конденсатора пренебречь.

11.6.47 Для разгона космических аппаратов и коррекции их орбит предложено использовать солнечный парус — скрепленный с аппаратом легкий экран большой площади из тонкой пленки, которая зеркально отражает солнечный свет. Какой должна быть площадь паруса S , чтобы аппарат массой $m = 500$ кг (включая массу паруса) имел ускорение $10^{-4}g$? Мощность W солнечного излучения, падающего на 1 м^2 поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, составляет 1370 Вт/м^2 .

11.6.48 Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в однородном магнитном поле, испытывает α -распад. При этом рождаются α -частица и тяжелый ион нового элемента. Выделившаяся при α -распаде энергия ΔE целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Трек α -частицы находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружности радиусом r . Масса α -частицы равна m_α , ее заряд равен $2e$, масса тяжелого иона равна M . Определите значение модуля индукции B магнитного поля.

11.6.49 Препарат активностью $1,7 \cdot 10^{11}$ частиц в секунду помещен в медный контейнер массой 0,5 кг. За какое время температура контейнера повышается на 1 К, если известно, что данное радиоактивное вещество испускает α -частицы энергией 5,3 МэВ? Считать, что энергия всех α -частиц полностью переходит во внутреннюю энергию. Теплоемкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

◇ **11.6.50** Предположим, что схема энергетических уровней атомов некоего вещества имеет вид, показанный на рисунке, и атомы находятся в состоянии с энергией $E^{(1)}$. В результате столкновения с одним из таких атомов электрон приобрел некоторую дополнительную энергию. Импульс электрона после столкновения с покоящимся атомом оказался равным $1,2 \cdot 10^{-24}$ кг·м/с. Определите кинетическую энергию электрона до столкновения. Возможностью испускания света атомом при столкновении с электроном пренебречь.



11.6.51 π^0 -мезон массой $2,4 \cdot 10^{-28}$ кг распадается на два γ -кванта. Найдите модуль импульса одного из образовавшихся γ -квантов в системе отсчета, где первичный π^0 -мезон покоится.

11.6.52 Свободный пион (π^0 -мезон) с энергией покоя 135 МэВ движется со скоростью V , которая значительно меньше скорости света. В результате его распада образовались два γ -кванта, причем один из них распространяется в направлении движения пиона, а второй — в противоположном направлении. Энергия первого кванта на 10% больше, чем второго. Чему равна скорость пиона до распада?

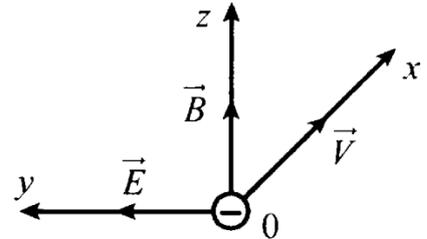
11.6.53 Образец, содержащий радий, за 1 с испускает $3,7 \cdot 10^{10}$ α -частиц. За 1 ч выделяется энергия 100 Дж. Каков средний импульс α -частиц? Масса α -частицы равна $6,7 \cdot 10^{-27}$ кг. Энергией отдачи ядер, γ -излучением и релятивистскими эффектами пренебречь.

11.6.54 Источник, создающий монохроматический пучок параллельных лучей, за время $\Delta t = 8 \cdot 10^{-4}$ с излучает $N = 5 \cdot 10^{14}$ фотонов. Лучи падают по нормали на площадку $S = 0,7$ см² и создают давление $P = 1,5 \cdot 10^{-5}$ Па. При этом 40% фотонов отражается, а 60% поглощается. Определите длину волны излучения.

11.6.55 Пациенту ввели внутривенно дозу раствора, содержащего изотоп ${}^{24}_{11}\text{Na}$. Активность 1 см³ этого раствора $a_0 = 2000$ распадов в секунду. Период полураспада изотопа ${}^{24}_{11}\text{Na}$ равен 15,3 ч. Через $t = 3$ ч 50 мин активность 1 см³ крови пациента стала $a = 0,28$ распадов в секунду. Каков объем введенного раствора, если общий объем крови пациента $V = 6$ л? Переходом ядер изотопа ${}^{24}_{11}\text{Na}$ из крови в другие ткани организма пренебречь.

11.6.56 Определите, какая масса ${}^{235}_{92}\text{U}$ расходуется за неделю на атомной электростанции, если ее мощность равна 38 МВт. Коэффициент полезного действия электростанции 20%. При делении одного ядра урана-235 выделяется энергия 200 МэВ.

◇ **11.6.57** Электроны, вылетевшие в положительном направлении оси OX с катода фотоэлемента под действием света, попадают в электрическое и магнитное поля (см. рисунок). Какой должна быть величина E напряженности электрического поля, чтобы самые быстрые электроны отклонялись в положительном направлении оси OY ? Работа выхода для вещества катода 2,39 эВ, частота света $6,4 \cdot 10^{14}$ Гц, индукция магнитного поля 10^{-3} Тл.



11.6.58 В открытый контейнер объемом 80 мл поместили изотоп полония-210 (${}^{210}_{84}\text{Po}$). Затем контейнер герметично закрыли. Изотоп полония радиоактивен и претерпевает альфа-распад с периодом полураспада примерно 140 дней, превращаясь в стабильный изотоп свинца. Через 5 недель давление внутри контейнера составило $1,4 \cdot 10^5$ Па. Какую массу полония первоначально поместили в контейнер? Температура внутри контейнера поддерживается постоянной и равна 45°C . Атмосферное давление равно 10^5 Па.

11.6.59 На поверхность водяной капли объемом $V = 1$ мм³ каждую секунду падает $N = 10^{16}$ фотонов с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Все фотоны поглощаются водой. За какое время капля нагреется на $\Delta T = 47$ К?

11.6.60 Вычислите энергетический выход ядерной реакции: ${}^{13}_6\text{C} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{14}_7\text{N}$. Масса ядра изотопа ${}^1_1\text{H}$ равна 1,007 83 а. е. м, масса ядра изотопа ${}^{13}_6\text{C}$ равна 13,003 354 а. е. м, масса ядра изотопа ${}^{14}_7\text{N}$ равна 14,003 070 а. е. м. Ответ выразить в мегаэлектрон-вольтах (МэВ) с точностью до целых, считая, что 1 а. е. м. соответствует 931 МэВ.

11.6.61 Вычислите энергию, освобождающуюся при синтезе 1 кг гелия из изотопов водорода — дейтерия и трития: ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$. Массы атомных ядер: ${}^1_1\text{H} = 1,007 27$ а. е. м.; ${}^2_1\text{H} = 2,013 55$ а. е. м.; ${}^3_1\text{H} = 3,015 50$ а. е. м.; ${}^4_2\text{He} = 3,014 93$ а. е. м.; ${}^4_2\text{He} = 4,001 51$ а. е. м.; ${}^1_0\text{n} = 1,008 66$ а. е. м.

11.6.62 Вычислите массу радиоактивных продуктов деления ядер урана, накапливающихся в ядерном реакторе тепловой мощностью $3,9 \cdot 10^9$ Вт за сутки, принимая выделение энергии при делении ядра урана-235 равным 200 МэВ.

11.6.63 Одним из типов реакций синтеза, которые можно использовать в будущих термоядерных реакторах, является реакция ${}^2_1\text{H} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{p} + W$. Какая энергия W выделяется при этой реакции? Масса атома дейтерия примерно равна 2,014 а. е. м., масса атома гелия-3 — 3,016 а. е. м., масса атома гелия-4 — 4,003 а. е. м. Ответ выразите в МэВ.

11.6.64 При взрыве атомной бомбы освобождается энергия $8,3 \cdot 10^{16}$ Дж. Эта энергия получается в основном за счет деления ядер урана-238. При делении одного ядра урана-238 освобождается 200 МэВ, масса ядра равна примерно 238 а. е. м. Вычислите массу ядер урана, испытавших деление при взрыве, и суммарный дефект массы.

11.6.65 При облучении металлической пластинки быстрыми α -частицами небольшая часть этих частиц в результате упругого взаимодействия с ядрами атомов меняет направление скорости на противоположное (аналог опыта Резерфорда). Найдите заряд ядра, если минимальное расстояние, на которое сближались ядро и частица, составило $5 \cdot 10^{-13}$ см. Масса и скорость α -частиц на большом расстоянии от пластины составляют соответственно $7 \cdot 10^{-27}$ кг и $26 \cdot 10^3$ км/с. Частицу считать точечной, а ядро — точечным и неподвижным. Релятивистскими эффектами пренебречь. Потенциальная энергия кулоновского взаимодействия ядра и α -частицы $E_{\text{пот}} = \frac{kq_\alpha q_{\text{ядра}}}{r}$, где r — расстояние между ядром и α -частицей.

11.6.66 В ускорителе на встречных пучках сталкиваются и аннигилируют электрон e^- и позитрон e^+ . Энергия каждой частицы $E = 100$ МэВ, суммарный импульс частиц равняется нулю. В результате аннигиляции образуются два гамма-кванта. Чему равна длина волны каждого гамма-кванта?

11.6.67 Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = \frac{-13,6 \text{ эВ}}{n^2}$, где $n = 1, 2, 3, \dots$. При переходе из состояния E_2 в состояние E_1 атом испускает фотон. Поток таких фотонов падает на поверхность фотокатода. Запирающее напряжение для фотоэлектронов, вылетающих с поверхности фотокатода, $U_{\text{зап}} = 7,4$ В. Какова работа выхода $A_{\text{вых}}$ фотоэлектронов с поверхности фотокатода?

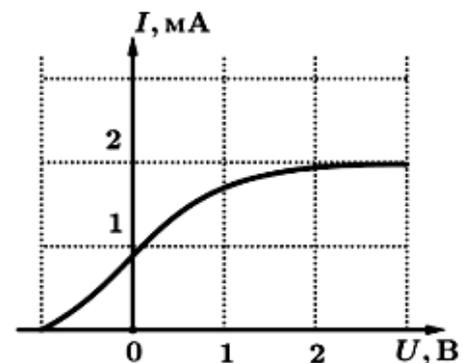
11.6.68 Давление света от Солнца, который падает перпендикулярно на абсолютно черную поверхность, на орбите Земли составляет около $p = 5 \cdot 10^{-6}$ Па. Оцените концентрацию n фотонов в солнечном излучении в районе земной орбиты, считая, что все они имеют длину волны $\lambda = 500$ нм.

11.6.69 Два покрытых кальцием электрода, один из которых заземлен, находятся в вакууме. Один из электродов заземлен. К ним подключен конденсатор емкостью $C_1 = 20\,000$ пФ. Появившийся в начале фототок при длительном освещении прекращается, при этом на конденсаторе возникает заряд $q = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл. Работа выхода электронов из кальция $A = 4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж. Определите длину волны света, освещающего катод.

11.6.70 Электрон, имеющий импульс $p = 2 \cdot 10^{-24}$ кг·м/с сталкивается с покоящимся протоном, образуя атом водорода в состоянии с энергией E_n ($n = 2$). В процессе образования атома излучается фотон. Найдите частоту ν этого фотона, пренебрегая кинетической энергией атома. Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = \frac{-13,6 \text{ эВ}}{n^2}$, где $n = 1, 2, 3, \dots$.

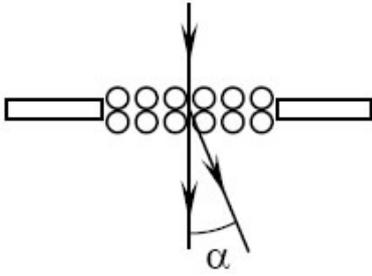
11.6.71 Законы фотоэффекта, как выяснилось недавно, не имеют абсолютного характера. В частности, это касается «красной границы фотоэффекта». Когда появились мощные лазерные источники света, оказалось, что за счет нелинейных эффектов в среде возможно так называемое многофотонное поглощение света, при котором закон сохранения энергии (формула Эйнштейна для фотоэффекта) имеет вид $h\nu = A_{\text{вых}} + E_k$. Какое минимальное число n фотонов рубинового лазера с длиной волны $\lambda = 694,3$ нм должно поглотиться, чтобы из вольфрама с работой выхода $A_{\text{вых}} = 4,5$ эВ был выбит один фотоэлектрон?

◇ **11.6.72** На рисунке представлен график зависимости фототока из металлической пластины от величины запирающего напряжения. Длина волны фотонов составляет 500 нм. Найдите мощность падающего излучения, если известно, что каждые 50 фотонов, падающих на металлическую пластинку, приводят к выбиванию одного электрона.



11.6.73 Покоящийся атом водорода массой $1,679 \cdot 10^{-27}$ кг излучает фотон с энергией $16,32 \cdot 10^{-19}$ Дж в результате перехода электрона из возбужденного состояния в основное. В результате отдачи атом начинает двигаться поступательно в сторону, противоположную фотону. Найдите кинетическую энергию атома, если его скорость мала по сравнению со скоростью света.

◇ **11.6.74** При исследовании структуры мономолекулярного слоя вещества пучок электронов, имеющих одинаковую скорость, направляется перпендикулярно исследуемому слою. В результате дифракции на молекулах, образовавших периодическую решетку, часть электронов отклоняется на определенные углы, образуя дифракционные максимумы. Под каким углом к первоначальному направлению распространяются отклонившиеся электроны, образующие первый дифракционный максимум, если кинетическая энергия электрона равна 54 эВ, а период молекулярной решетки составляет 0,215 нм?



лярно исследуемому слою. В результате дифракции на молекулах, образовавших периодическую решетку, часть электронов отклоняется на определенные углы, образуя дифракционные максимумы. Под каким углом к первоначальному направлению распространяются отклонившиеся электроны, образующие

первый дифракционный максимум, если кинетическая энергия электрона равна 54 эВ, а период молекулярной решетки составляет 0,215 нм?

11.6.75 Точечный источник мощностью $P = 1$ мВт излучает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм равномерно во всех направлениях (такой источник называется изотропным). На каком расстоянии r от него концентрация фотонов (то есть число фотонов в единице объема) равна $n = 2 \cdot 10^5$ м⁻³? Объем сферического слоя радиусом r и толщиной Δr равен $4\pi r^2 \Delta r$.

11.6.76 Солнце теряет за счет излучения света массу, примерно равную $1,39 \cdot 10^5$ миллиардов тонн в год. Найдите солнечную постоянную для Венеры, то есть среднюю энергию, попадающую за 1 секунду на 1 м² поверхности, перпендикулярной направлению солнечных лучей, около Венеры вне ее атмосферы. Известно, что средний радиус орбиты Венеры составляет 0,72 от среднего радиуса орбиты Земли, который примерно равен 150 миллионам километров. Ответ выразите в кВт/м².

11.6.77 В сосуде находится разреженный атомарный водород. Атом водорода в основном состоянии ($E_1 = -13,6$ эВ) поглощает фотон с частотой $3,7 \cdot 10^{15}$ Гц. С какой скоростью v движется вдали от ядра электрон, вылетевший из атома в результате ионизации? Энергией теплового движения атомов водорода пренебречь.

Специальная теория относительности

11.6.78 [Б-19.1] Реактивный самолет летит со скоростью 1000 м/с. На сколько будут отличаться показания часов в самолете от показаний часов на Земле?

11.6.79 [Б-19.2] Стержень пролетает с постоянной скоростью мимо метки, неподвижной в K -системе отсчета, в течение времени Δt . В системе же отсчета, связанной со стержнем (K'), метка движется вдоль него в течение времени $\Delta t'$. Найти собственную длину стержня ℓ_0 .

11.6.80 [Б-19.3] Чему равно релятивистское сокращение метрового стержня, движущегося мимо наблюдателя со скоростью $1,8 \cdot 10^8$ м/с?

11.6.81 [Б-19.4] Два стержня одинаковой собственной длиной ℓ_0 движутся на встречу параллельно общей горизонтальной оси. В системе отсчета, связанной с одним из стержней, промежуток времени между моментами совпадения левых и правых концов стержней оказался равным Δt . Какова скорость одного стержня относительно другого?

11.6.82 [Б-19.5] Найти собственную длину стержня ℓ_0 , если в системе отсчета, по отношению к которой он движется со скоростью в 2 раза меньшей скорости света, его длина равна ℓ , а угол между ним и направлением движения составляет α .

11.6.83 [Б-19.6] Имеется треугольник, собственная длина каждой стороны которого равна ℓ_0 . Найти периметр этого треугольника в системе отсчета, движущейся относительно него с постоянной скоростью u вдоль одной из его биссектрис.

11.6.84 [Б-19.9] Ускоритель сообщил радиоактивному ядру скорость $v = 0,4c$. В момент вылета из ускорителя ядро выбросило в направлении своего движения β -частицу со скоростью $u = 0,75c$ относительно ускорителя. Найти скорость v' частицы относительно движущегося ядра.

Сохранение релятивистского импульса и полной энергии

11.6.85 [Б-19.10] Частица обладает кинетической энергией W_k и массой покоя m_0 . Определите скорость v и импульс p частицы.

11.6.86 [Б-19.11] Определить скорость электрона, разогнанного из состояния покоя электрическим полем с разностью потенциалов 10^6 В.

11.6.87 [Б-19.12] Электрон прошел ускоряющую разность потенциалов и приобрел кинетическую энергию 0,76 МэВ. Определить скорость электрона.

11.6.88 [Б-19.14] Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности серебра ($A_{\text{вых}} = 4,7$ эВ) γ -излучением с длиной волны $\lambda = 2,47$ нм.

11.6.89 [Б-19.15] Рентгеновское тормозное излучение возникает при бомбардировке быстрыми электронами металлического антикатада рентгеновской трубки. Определить длину волны коротковолновой границы спектра тормозного излучения, если скорость электронов составляет $\beta = 0,4$ скорости света.

11.6.90 [Б-19.17] Релятивистская частица с массой покоя m и кинетической энергией W_k налетает на такую же покоящуюся частицу. Определите импульс p , кинетическую энергию W_{k1} , скорость v_1 и массу покоя M_0 составной частицы, образовавшейся в результате взаимодействия.

Справочные данные

Десятичные приставки

Наименование	Обозначение	Множитель
гига	Г	10^9
мега	М	10^6
кило	к	10^3
гекто	г	10^2
деци	д	10^{-1}
санти	с	10^{-2}
милли	м	10^{-3}
микро	мк	10^{-6}
нано	н	10^{-9}
пико	п	10^{-12}

Константы

число π	$\pi = 3,14$
ускорение свободного падения на Земле	$g = 10 \text{ м/с}^2$
гравитационная постоянная	$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
универсальная газовая постоянная	$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
постоянная Авогадро	$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
коэффициент пропорциональности в законе Кулона	$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$
модуль заряда электрона (элементарный электрический заряд)	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
постоянная Планка	$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$

Соотношение между различными единицами

температура	$0 \text{ K} = -273 \text{ }^\circ\text{C}$
атомная единица массы	$1 \text{ а. е. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
1 атомная единица массы эквивалентна	931,5 МэВ
1 электронвольт	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
1 астрономическая единица	$1 \text{ а. е.} \approx 150\,000\,000 \text{ км}$
1 световой год	$1 \text{ св. год.} \approx 9,46 \cdot 10^{15} \text{ м}$
1 парсек	$1 \text{ пк} \approx 3,26 \text{ св. года}$

Масса частиц

электрона	$9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \approx 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ а. е. м.}$
протона	$1,673 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1,007 \text{ а. е. м.}$
нейтрона	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1,008 \text{ а. е. м.}$

Астрономические величины

средний радиус Земли	$R_{\oplus} = 6370 \text{ км}$
радиус Солнца	$R_{\odot} = 6,96 \cdot 10^8 \text{ м}$
температура поверхности Солнца	$T = 6000 \text{ К}$

Плотность

воды	1000 кг/м^3	подсолнечного масла	900 кг/м^3
древесины (сосна)	400 кг/м^3	алюминия	2700 кг/м^3
керосина	800 кг/м^3	железа	7800 кг/м^3
ртути	$13\,600 \text{ кг/м}^3$		

Удельная теплоёмкость

воды	$4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$	алюминия	$900 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$
льда	$2,1 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$	меди	$380 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$
железа	$460 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$	чугуна	$500 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$
свинца	$130 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$		

Удельная теплота

парообразования воды	$2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$
плавления свинца	$2,5 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}$
плавления льда	$3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$

Нормальные условия

давление 10^5 Па, температура 0°C

Молярная масса

азота	$28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	кислорода	$32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
аргона	$40 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	лития	$6 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
водорода	$2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	молибдена	$96 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
воздуха	$29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	неона	$20 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
воды	$18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	углекислого газа	$44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
гелия	$4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль		

ОТВЕТЫ

10.1.1

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

10.1.2 $a = \sqrt[3]{\frac{\mu}{\rho N_A}} = 3,34 \cdot 10^{-9}$ м

10.1.3 $\eta = 4,59 \cdot 10^{-2}$ %

10.1.4 $\bar{u} = \sqrt{\frac{\bar{u}_1^2 + \bar{u}_2^2}{2}} = 1160$ м/с

10.1.5 $\frac{v_H}{v_{He}} = \sqrt{2}$

10.1.6 Давление возрастет на 69%

10.1.7 $u = \sqrt{\frac{3pN_A}{\mu n}} = 425$ м/с

10.1.8 $E = \frac{3}{2}pv = 1,5 \cdot 10^7$ Дж

10.1.9 $u = \sqrt{\frac{3p_0}{\rho}}$

10.1.10 Увеличится в $\sqrt{2}$ раз

10.1.11 $\bar{u} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = 1367$ м/с

$$10.1.12 \quad a \approx \sqrt[3]{\frac{kT}{p_0}} = 3,35 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$10.1.13 \quad \Delta n = kp_0 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right) = 1,22 \cdot 10^{25} \text{ мм}^3$$

$$10.1.14 \quad p = \frac{\rho RT}{\mu} = 1,385 \cdot 10^8 \text{ Па}; \quad \mu = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$10.1.15 \quad \Delta p = \frac{\Delta N k \Delta T}{V} = 4 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$10.1.16 \quad p = \frac{p_0 NT}{5nVT_0} = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$10.1.17 \quad t = 6\varepsilon \frac{V}{S} \sqrt{\frac{\mu}{3RT}} \approx 2 \text{ мин, где } \mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$10.1.18 \quad p_x = \frac{1 + \sqrt{2}}{2\sqrt{2}} \cdot p \approx p; \quad T_x = \sqrt{2}T$$

10.1.19 Объем увеличивался

10.1.20 Давление увеличивалось

10.1.21 Температура увеличивалась

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

$$10.1.26 \quad k = 1,5$$

$$10.1.27 \quad \alpha = \frac{1}{2}, \text{ кинетическая энергия уменьшится в 2 раза}$$

$$10.1.28 \quad T_2 = \sqrt{T_1 T_3} = 346 \text{ К}$$

$$10.1.30 \quad V = 22,4 \text{ л}$$

$$10.1.31 \quad \rho_1 = \rho_0 \frac{p_1 T_0}{p_0 T_1} = 0,51 \text{ кг/м}^3$$

$$10.1.32 \quad H \approx 70 \text{ м}$$

$$10.1.33 \quad p = \left(\frac{m_1}{M} + \nu_2 \right) \frac{RT}{V}$$

$$10.1.34 \quad 144 \text{ Па}$$

$$10.1.35 \quad \mu = \frac{\mu_1 \mu_2 \cdot 100\%}{\alpha_1 \mu_1 + \alpha_2 \mu_2}$$

$$10.1.36 \quad p = 10,2 \text{ МПа}$$

$$10.1.37 \quad p = \frac{RT}{V} \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} + \frac{N}{N_A} \right) = 9,8 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$10.1.38 \quad p_{\text{л}} = \frac{RT}{V} \left(\frac{m_1}{2\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right); \quad p_{\text{п}} = \frac{RTm_1}{2V\mu_1}$$

10.1.39 Масса азота в 7 раз больше массы водорода

$$10.1.40 \quad p = p_0 \frac{nv}{V} = 0,25 \text{ МПа}$$

$$10.1.41 \quad H = \frac{L}{2} + \frac{\rho g}{p_0} \cdot \frac{L^2}{4}$$

$$10.1.42 \quad h = \frac{1}{2} (\ell + H - \sqrt{\ell^2 + H^2}) = 0,25 \text{ м}$$

$$10.1.43 \quad p = \frac{(L^2 - 4\ell^2) mg}{4L\ell S} = 24 \text{ кПа}$$

$$10.1.44 \quad x = 2,9 \text{ см}$$

$$10.1.45 \quad d = \frac{p_0 \Delta T}{\rho g T_0}$$

$$10.1.46 \quad p_4 = p_3 \frac{V_3}{V_4} = p_1 \frac{V_1 V_3}{V_4 V_2}$$

$$10.1.47 \quad p = \frac{(p_1 V_1 + p_2 V_2 + p_3 V_3) T_2}{(V_1 + V_2 + V_3) T_1}$$

$$10.1.48 \quad \Delta m = \frac{m(t_2 - t_1)}{2(t_1 + t_2 + 546 \text{ °C})} = 0,3 \text{ г}$$

$$10.1.49 \quad \Delta m = \frac{p_0 V M}{R} \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{T_1 T_2} = -2,4 \text{ кг}$$

$$10.1.50 \quad \Delta T = \frac{2\ell T}{L - \ell} = 400 \text{ К}$$

$$10.1.51 \quad m_0 = \frac{mp_0 T_1}{p_0 T_1 - p T_0} = 30 \text{ г}$$

$$10.1.52 \quad p = (p_k + p_0) \cdot \frac{t + 273^\circ\text{C}}{t_1 + 273^\circ\text{C}} = 375 \text{ кПа}$$

$$10.1.53 \quad t_1 = \frac{p_1(t + 273^\circ\text{C})}{p(1 - \beta)} - 273^\circ\text{C} = 90,6^\circ\text{C}$$

$$10.1.54 \quad \Delta V = \frac{m_1 \Delta m_2 V}{(m_1 + m_2)(m_1 + m_2 - \Delta m)} = 200 \text{ см}^3$$

$$10.1.55 \quad \Delta h = h_1 - h_0 = h_0 \left(\frac{Sp_0}{Sp_0 + mg} - 1 \right) = -8,9 \text{ см}$$

$$10.1.56 \quad T_2 = T_1 \left(1 + \frac{m}{M} \right) = 315 \text{ К}$$

$$10.1.57 \quad T = \frac{Ph(H - h)}{R\nu(H - 2h)} = 310,5 \text{ К} = 37,5^\circ\text{C}$$

$$10.1.58 \quad \alpha = \frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{(L - H_2 + H_1) \cdot (L - H_1) H_2}{(L - H_1 + H_2) \cdot (L - H_2) H_1}$$

$$10.1.59 \quad \Delta h = \frac{R(t_1 - t_2)}{p_0 S - Mg} \approx 1 \text{ м}$$

$$10.1.60 \quad T_2 = T_1 \frac{H}{h} + \frac{MkH(H - h)}{mR} = 487,5 \text{ К}$$

$$10.1.61 \quad h = \frac{m(T_2 - T_1)R}{M(Sp_0 + M_0g)}$$

$$10.1.62 \quad \alpha = \frac{1}{2} - \frac{1}{n} + \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n} \right)^2 + 2} = \sqrt{2}$$

$$10.1.63 \quad \Delta m = \frac{pVM_{\text{H}_2}}{R(t + 273^\circ\text{C})} - m \frac{M_{\text{H}_2}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = 77 \text{ г}$$

$$10.1.64 \quad \alpha = \frac{3}{2} \cdot \frac{M_{\text{Ne}} - M_{\text{He}}}{M_{\text{Ne}} - 3M_{\text{He}}} = 3$$

$$10.1.65 \quad n_0 = \frac{p_2}{kT_2} = 3,333 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$$

$$10.1.66 \quad \Delta \bar{v} = \bar{v}_2 - \bar{v}_1 = -0,1\bar{v}_1 = -45 \text{ м/с}$$

$$10.1.67 \quad \text{Газ нагревается: } T_2 = T_1 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{n+1}$$

10.1.68 $T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1}$, $n < 1$ — нагревается; $n = 1$ — температура не изменяется; $n > 1$ — температура падает.

$$10.1.69 \quad x = L/6 = 0,25 \text{ м}$$

$$10.1.70 \quad T_2 = 0,9T_1 \frac{p_0S + (m + M)g}{p_0S + mg} = 324 \text{ К}$$

$$10.1.71 \quad F = (n/k - 1)(p_0S + Mg) = 15 \text{ Н}$$

$$10.1.72 \quad V_1 = V_3 \frac{T_1}{T_3} = 12,3 \text{ дм}^3; \quad m = \frac{p_3 V_3 \mu}{RT_3} = 16 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$10.1.73 \quad 100 \text{ моль}$$

$$10.1.74 \quad T_2 = 750 \text{ К}$$

$$10.1.75 \quad M = 1,58 \text{ кг}$$

$$10.1.76 \quad n = \frac{T_{\text{к}}}{T_6} \cdot \frac{V_6}{V_{\text{к}}} \cdot \frac{F \Delta S}{p_0 S (S - \Delta S)} = 302$$

$$10.1.77 \quad p = \frac{3mRT}{4 \mu \pi r^3} = 99 \text{ МПа}$$

$$10.1.78 \quad \Delta T = \frac{mRT^2}{\mu pV - mRT} \approx 5 \text{ К}$$

$$10.1.79 \quad T_2 = 1,75T_1 = 700 \text{ К}$$

$$10.1.80 \quad \frac{p_2}{p_1} = \frac{2T_2}{T_1 + T_2} = 1,09$$

$$10.1.81 \quad p = 0,7 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

10.1.82 $V_3 = \frac{V_2V_4}{V_1}$; в координатах T, V : 1-4 и 2-3 — прямые, параллельные оси абсцисс; 1-2 и 3-4 — параболы с вершиной в начале координат

$$10.1.83 \quad v = \frac{mRT}{\mu p S \tau} = 0,9 \text{ м/с}$$

$$10.1.84 \quad F = \frac{81m^2RT}{p\mu S}$$

$$10.1.85 \quad \ell = H \left(\frac{\ell_1}{\ell_2} - 1 \right) = 15 \text{ см}$$

$$10.1.86 \quad \bar{v} = u\sqrt{(1+\alpha)(1-\beta)}$$

$$10.1.87 \quad 0,775 \text{ Н}$$

$$10.1.88 \quad \mu_{\text{He}} = \frac{M+m}{\frac{\mu_{\text{B}}}{\mu_{\text{He}}} - 1} = 100 \text{ кг}$$

$$10.1.89 \quad M = 4\pi r^2 \sigma, \text{ где } r = \frac{3\sigma RT}{p_0(\mu_{\text{B}} - \mu_{\text{He}})} \approx 745 \text{ кг}$$

$$10.1.90 \quad \ell_{AB} = \frac{mg\mu VL}{sRT\alpha\tau}$$

$$10.1.91 \quad T_0 = \Delta T \frac{H}{d}$$

$$10.1.92 \quad V_2 = V_1 \cdot \frac{(1+\alpha)T_2}{T_1}$$

$$10.1.93 \quad p_{\text{O}_2} = \frac{3p}{13} \approx 23 \text{ кПа}$$

$$10.1.94 \quad T = \frac{\mu p V T}{\mu V p + M R T} \approx 273 \text{ K} = 0^\circ \text{C}$$

$$10.1.95 \quad \nu = \frac{m(p_0 + \rho g h)}{\rho R T}$$

$$10.1.96 \quad \nu = \frac{m g}{R T \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{H - h} \right)} \approx 0,022 \text{ МОЛЬ}$$

$$10.1.97 \quad \Delta H = \frac{2(p_1 - p_0)}{2p_0 - p_1} H_1$$

$$10.1.98 \quad T_1 = T_0 \frac{h}{L} \left(2 - \frac{L}{H} \right)$$

$$10.1.99 \quad p = \frac{\nu R T}{V} \approx 250 \text{ кПа}$$

$$10.1.100 \quad \Delta \ell = \ell_2 - \ell_1 = \frac{\nu \mu}{3} \left(\frac{u_2^2}{F_2} - \frac{u_1^2}{F_1} \right) \approx 17 \text{ см}$$

$$10.1.101 \quad F = (n - 1)p_a S + 5F_{\text{тр}} = 1010 \text{ Н}$$

$$10.1.102 \quad \Delta m = m_1 - m_2 = \frac{\mu \rho V}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \approx 813 \text{ г}$$

$$10.1.103 \quad \ell_2 = \ell_1 \cdot \frac{p_0}{p_0 + p_{\text{пр}}} \approx 19 \text{ см}$$

$$10.1.104 \quad \frac{m_{\text{H}_2}}{m_{\text{He}}} = \frac{\frac{pV}{RT} - \frac{m}{\mu_{\text{He}}}}{\frac{m}{\mu_{\text{H}_2}} - \frac{pV}{RT}} \approx 1,5$$

$$10.1.105 \quad n = \frac{m R T}{p_0 V (\mu_{\text{B}} - \mu_{\text{He}})}$$

$$10.1.106 \quad k = \lg \frac{p}{p_0} : \lg \left(\frac{V}{V + V_1} \right)$$

$$10.2.2 \quad A' = mg \Delta h; \quad \Delta U = \frac{3}{2} mg \Delta h; \quad Q = \frac{5}{2} mg \Delta h$$

$$10.2.3 \quad U = \frac{3}{2}pV = 2,25 \text{ кДж}$$

$$10.2.4 \quad A = \frac{m}{\mu}R(T_2 - T_1)$$

$$10.2.5 \quad A = (n - 1)\nu RT = 8310 \text{ Дж}$$

$$10.2.6 \quad A = \frac{7}{4}p_0V_0 = 175 \text{ Дж}$$

$$10.2.7 \quad \eta = 15,4\%$$

$$10.2.8 \quad \eta = \frac{2(T_2 - T_3)}{8T_2 - 3T_3} \cdot 100\%$$

$$10.2.9 \quad \eta = \frac{2T_1 + 3T_2 - 5T_3}{3(T_2 - T_1)} \cdot 100\%$$

$$10.2.12 \quad v = \frac{2q}{5(p_0S + Mg)}$$

$$10.2.13 \quad A = pV \frac{T_2 - T_1}{T_1} = 300 \text{ Дж}$$

$$10.2.14 \quad T = \frac{p_0}{RV_0}V^2; \quad A = \frac{3}{2}p_0V_0$$

$$10.2.15 \quad A = \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot R (V_2^2 - V_1^2), \text{ газ поглощает теплоту}$$

$$10.2.16 \quad A = \frac{m}{\mu}RT (1 - 1/n)$$

$$10.2.17 \quad A = R (T_1 + T_3 - 2\sqrt{T_1T_3})$$

$$10.2.18 \quad A = \frac{R(T_3 - T_4)}{2} \left(\frac{T_1}{T_4} + \frac{T_2}{T_3} - 2 \right)$$

$$10.2.19 \quad A = \frac{\nu R}{2}(T_1 + T_3 - T_2 - T_4) \approx 10 \text{ кДж}; \quad T_3 = \frac{T_2T_4}{T_1} = 2400 \text{ К}$$

$$10.2.20 \quad \eta' = 55\%$$

$$10.2.21 \quad \eta \approx 29\%$$

$$10.2.22 \quad \eta = 8,7\%$$

$$10.2.23 \quad \eta_1/\eta_2 = 13/11$$

$$10.2.24 \quad \eta = \frac{2}{13} \approx 15\%$$

$$10.2.25 \quad \eta = \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{|A|}{\nu R \Delta T} \cdot 100\% \right)$$

$$10.2.26 \quad c = \frac{2A}{T_1} - \frac{51}{8}R = -12,4 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$$

$$10.2.27 \quad A = Q + 4RT_{\min} = -35\,972 \text{ Дж}$$

$$10.2.28 \quad A = \frac{m}{2M}R(T_2 - T_1) = 8300 \text{ Дж}, \quad \eta = \frac{2(T_2 - T_1)}{10T_2 - 7T_1} \approx 18\%$$

$$10.2.29 \quad \Delta h = \frac{2Q}{5mg} = 0,1 \text{ м}$$

$$10.2.30 \quad Q = \frac{5}{2}\ell(p_0S + Mg \sin \alpha) \approx 73,38 \text{ Дж}$$

$$10.2.31 \quad \beta = \frac{13}{11}$$

$$10.2.32 \quad \Delta Q = \frac{2p_1}{V_1} (V_2^2 - V_1^2) = 6 \text{ кДж}$$

$$10.2.33 \quad \Delta q = \frac{1}{2} [p_1(V_2 - 4V_1) + p_2(V_3 - V_1) + p_3(4V_3 - V_2)] = -20 \text{ Дж}$$

$$10.2.34 \quad \Delta p = \frac{m}{M} \cdot \frac{RT}{V} = 1,66 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$10.2.35 \quad T = \frac{m_1T_1 + m_2T_2}{m_1 + m_2} = 360 \text{ К}$$

$$10.2.36 \quad p = \frac{(m_1T_1 + m_2T_2)R}{(V_1 + V_2)M}$$

$$10.2.37 \quad Q = \frac{m}{M} \cdot \frac{R}{2} (3T_1 - 5T_2) + p_0V_0 = 11,1 \text{ кДж}$$

$$10.2.38 \quad Q = \frac{(p_0 S + P)}{2} \cdot [(3\alpha + 2)H - 5h] = 210 \text{ Дж}$$

$$10.2.39 \quad A = p_2 V_2 + \frac{3}{2} p_1 V_2 - \frac{5}{2} p_2 V_1 = 18,8 \text{ кДж}$$

$$10.2.40 \quad A = \frac{R(T - T_1)^2}{T_1} = 11,07 \text{ Дж}$$

$$10.2.41 \quad A = \frac{3}{2} R(m^2 - 1)T_0 = 11,2 \text{ кДж}$$

$$10.2.42 \quad Q = \frac{1}{2} (5P + 3kH + 4k\Delta h) \Delta h = 18 \text{ Дж}$$

$$10.2.43 \quad \beta = \sqrt{1 + \frac{2MA}{3mR(t + 273^\circ\text{C})}} = 1,3$$

$$10.2.44 \quad \Delta h = \frac{M}{m} H = 20 \text{ см}$$

$$10.2.45 \quad \alpha = \sqrt{1 + \frac{2\Delta Q}{5h(Mg + p_0 S)}} = 1,1$$

$$10.2.46 \quad N = \mu q \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 10 \text{ кВт}$$

$$10.2.47 \quad \eta = \frac{2(\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1})^2}{5T_3 - 3T_1 - 2\sqrt{T_1 T_3}} = 10,4\%$$

$$10.2.48 \quad T = T_0 + m \frac{v^2}{c}$$

$$10.2.49 \quad A = p_1 V_1 \frac{(k - 1)^2}{2} = 450 \text{ Дж}$$

$$10.2.50 \quad \Delta Q = (p_1 - p_2)(V_1 - V_2) = 8 \cdot 10^5 \text{ Дж}$$

$$10.2.51 \quad c = \frac{Q p_0 V_0 T_1}{\mu V p T_0 (T_2 - T_1)} = 0,697 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$$

$$10.2.52 \quad T = T_0 \frac{M c_V + R}{M c_V}$$

$$10.2.53 \quad \Delta U = \frac{3}{2} p_1 V_1 \left(\frac{V_1^2}{V_2^2} - 1 \right)$$

$$10.2.54 \quad Q_{\text{хол}} = -3A'_{12} - |A_{31}|, \quad |Q_{\text{хол}}| = 3A'_{12} + |A_{31}| = 3370 \text{ Дж}$$

$$10.2.55 \quad Q = \frac{5}{2} p_0 S b + \frac{3}{2} k b L + 2 k b^2$$

$$10.2.56 \quad Q = \frac{\nu R}{2} (5T_3 - 7T_1)$$

$$10.2.57 \quad Q_{\text{н}} = \frac{23A_{\text{п}}}{2}$$

$$10.2.58 \quad Q = \frac{3}{2} \nu R T_1 \left(\sqrt{\frac{p_2}{p_1}} - 1 \right) + A' = -1246,5 \text{ Дж}$$

$$10.2.59 \quad s = \frac{3FV}{2Q}$$

$$10.2.60 \quad L = \frac{Q - \frac{5}{2} F_{\text{тр}} x}{\frac{3}{2} (F_{\text{тр}} - p_1 S)} = 0,3 \text{ м}$$

$$10.2.61 \quad \Delta T = \frac{Q_2 - Q_1}{\nu R} \approx 1 \text{ К}$$

$$10.2.62 \quad \nu = \frac{m^2 v^2}{3(m + M) R \Delta T} \approx 0,1 \text{ моль}$$

$$10.2.63 \quad Q = \frac{3}{2} \nu R \Delta T \approx 7500 \text{ Дж}$$

$$10.2.64 \quad U \propto \nu T \propto \frac{pV}{T} \cdot T \propto pV, \quad U_2 = \frac{U_1}{4}$$

$$10.2.65 \quad \langle u \rangle = \sqrt{\frac{3RT_1 + mV^2}{\mu}} \approx 1190 \text{ м/с}$$

$$10.2.66 \quad A = \frac{\nu R}{2} (5T_1 - 3T_2) \approx 13,4 \text{ кДж}$$

$$10.2.67 \quad A = \frac{1}{3} M (n^2 - 1) u_1^2 = 40 \text{ Дж}$$

$$10.2.68 \quad T_1 = \frac{Q}{2\nu R(\alpha^2 - 1)} \approx 400 \text{ K}$$

$$10.2.69 \quad 5$$

$$10.2.70 \quad A = p\Delta V = \frac{mu_1^2}{3V_1}(V_2 - V_1) = \frac{m}{3}(u_2^2 - u_1^2) = -14580 \text{ Дж}$$

$$10.2.71 \quad T_2 = \frac{2pV}{\nu_2 R} - \frac{\nu_1}{\nu_2} T_1 \approx 300 \text{ K}$$

$$10.2.72 \quad p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

$$10.2.73 \quad \frac{U'_1}{U_1} = \frac{2T_2}{T_1 + T_2} = 1,5$$

$$10.2.74 \quad Q = \frac{5}{6}\nu\mu u_1^2(n^2 - 1) = 2,5 \text{ кДж}$$

$$10.2.75 \quad U = \frac{9}{4}\nu RT \approx 7840 \text{ Дж}$$

$$10.2.76 \quad \nu = \frac{1}{6} \cdot \frac{p}{kT} \cdot \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}; \quad \frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{1}{6}$$

$$10.2.77 \quad c = \frac{1}{m} \cdot \frac{Q}{\Delta T} = \frac{1}{m} \cdot \frac{5}{2}\nu R = \frac{5(p_0 S + Mg)h}{2mT} \approx 5,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$$

$$10.2.78 \quad V_M = \frac{p_1 V_2 - p_2 V_1}{2(p_1 - p_2)} = 2,75 \text{ л}$$

$$10.2.79 \quad T_M = T_0 \frac{(n+1)^2}{4n} = 1,8$$

$$10.2.80 \quad m = \frac{fM p_H V}{RT} = 0,48 \text{ кг}$$

$$10.2.81 \quad \Delta m = \frac{f_2 - f_1}{100\%} \rho_H V = 346 \text{ г}$$

$$10.2.82 \quad \tau = \frac{p_H(f_2 - f_1)M_{H_2O}V}{100\% \cdot \alpha R(t + 273^\circ\text{C})} = 15,5 \text{ мин}$$

$$10.2.83 \quad f_2 = f_1 + \frac{m}{\rho_H V} \cdot 100\% = 43\%$$

$$10.2.84 \quad n = \frac{4}{3} = 1,33 \text{ раза (влажность увеличится)}$$

$$10.2.85 \quad m = \frac{p_H n V \tau M (f_2 - f_1)}{RT \cdot 100\%} = 37,3 \text{ г}$$

$$10.2.86 \quad x = \begin{cases} \frac{V}{S} \cdot \frac{mg}{p_H S - mg} & \text{при } m < \frac{p_H S}{2g}, \\ \frac{V}{S} & \text{при } m \geq \frac{p_H S}{2g}. \end{cases} \quad \text{При данных задачи } x =$$

5,3 мм

$$10.2.87 \quad m = \varphi \frac{\mu p_0 V}{RT} \approx 0,921 \text{ кг}$$

$$10.2.88 \quad p = 1,88 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$10.2.89 \quad \varphi_2 \approx 29,3\%$$

$$10.2.90 \quad \varphi = \frac{V_1 p_H T_2}{p_0 V_2 T_1} = 0,44$$

$$10.2.91 \quad \Delta\varphi = \varphi \left(\frac{3p_H T_2}{p_0 T_1} - 1 \right) \approx -57\%$$

$$10.2.92 \quad \rho_H = 0,58 \text{ кг/м}^3; \quad \rho_B : \rho_H \approx 1,6$$

$$10.2.93 \quad \varphi = \frac{\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

10.2.94 $\Delta F_{\text{под}} \approx 1,07 \text{ Н}$, при одинаковом давлении и температуре влажный воздух весит меньше, чем сухой

$$10.2.95 \quad m = \frac{\mu(2f - 1)p_H V}{2RT} \approx 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ кг}$$

$$10.2.96 \quad \varphi' = \varphi + \frac{mRT}{p_H \mu V} = 63\%$$

$$10.2.97 \quad \Delta m = \left(1 - \frac{\varphi}{100\%} \right) p_H \frac{\mu V}{RT}$$

$$10.2.98 \quad \Delta m = \frac{Mp_0 \left(\frac{\varphi}{100\%} - \frac{1}{n} \right) V}{RT} \approx 0,03 \text{ г}$$

$$10.2.99 \quad \varphi = \frac{p_1 - \frac{p_2 - p_0}{k}}{p_0} = 0,7$$

$$10.2.101 \quad x = \frac{m_2 RT}{p_0 \mu_2 V} \text{ (если пар насыщенный); } x = 1 \text{ (если пар ненасыщенный).}$$

10.2.102 Учтеть, что p_H не зависит от V

$$10.2.103 \quad \varphi = \frac{\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2}{V_1 + V_2} = 36\%$$

$$10.2.104 \quad \varphi = 90\%, \quad \rho = 25,83 \text{ г/м}^3$$

$$10.2.105 \quad \theta = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2 + c_3 m_3 t_3}{c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3} = -19^\circ \text{C};$$

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

$$10.2.106 \quad 0^\circ \text{C}$$

$$10.2.107 \quad m_{\text{сн}} = \frac{c(m(t - \theta) - m_{\text{к}}\theta)}{\lambda} \approx 173 \text{ г}; \quad m_{\text{в}} = m_{\text{к}} - m_{\text{сн}} = 77 \text{ г}$$

$$10.2.108 \quad m_2 = \frac{m_1(c_1 t_1 - c_2 \theta + \lambda)}{c_2(\theta - t_2)} = 39,4 \text{ кг}$$

$$10.2.109 \quad c_{\text{т}} = \frac{(c_{\text{в}} m_{\text{в}} + c_{\text{л}} m_{\text{к}})(\theta - t_0)}{m_{\text{т}}(t_{\text{т}} - \theta)} \approx 930 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$$

$$10.2.110 \quad m_3 = \frac{m_2 \lambda + c(m_1 + m_2)(\theta - t_1)}{r + c(t_2 - \theta)} = 0,35 \text{ кг}$$

$$10.2.111 \quad m = \frac{Mr}{\lambda + r} = 88 \text{ г}$$

$$10.2.112 \quad 0^\circ \text{C}; \quad 0,46 \text{ кг воды и } 0,54 \text{ кг льда}$$

10.2.113 $\theta = 0^\circ\text{C}$; в калориметре будет 0,4 г льда, 4,6 г воды, 30 г твердого свинца

10.2.114 $t_{\text{л}} \approx -5^\circ\text{C}$

10.2.115 $Q = 19,5 \cdot 10^3 \text{ Дж}$

10.2.116 $m_{\text{л}} = 1,23 \text{ кг}$

10.2.117 $\tau_2 = \tau_1 \frac{r}{c(t_{\text{к}} - t)} = 60,8 \text{ мин}$

10.2.118 $m \approx 502 \text{ г}$

10.2.119 $V_1 = V - \frac{m\tau h\eta}{\rho_{\text{в}} r \cdot 100\%} + \frac{c}{r} \cdot (t_{\text{к}} - t)V = 2,52 \text{ л}$

10.2.120 $T_3 = T_2 + \frac{1}{Mc} [r\Delta m + c_1\Delta m(T_{\text{к}} - T_2) + c_1m(T_2 - T_1)]$

10.2.121 $c = \frac{\lambda\tau_0}{\tau(t_2 - t_1) - \tau_0(t_{\text{пл}} - t_2)} \approx 0,23 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

10.2.122 $V = \frac{v_0^2}{2\rho c(t_{\text{к}} - t_0)} \cdot \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} \approx 143 \text{ см}^3$

10.2.123 $m_{\text{в}} \approx 15 \text{ г}$

10.2.124 $p = p_0 \cdot \frac{2mcT_1 + 3p_0V_0}{2mcT_0 + 3p_0V_0} \approx 1,67 \cdot 10^5 \text{ Па}$

10.2.125 $m_{\text{в}} = m - \frac{c(M(t_1 - t) - mt)}{\lambda} \approx 10 \text{ г}$

10.2.126 $\Delta p = \frac{2Q\nu R}{V(3\nu R + 2mc)} = 8 \cdot 10^4 \text{ Па}$

10.2.127 $m = \frac{Wt_1t_2}{c\Delta T(t_1 + t_2)} \approx 4,8 \text{ кг}$

10.2.128 1 кг воды при $t \approx +78^\circ\text{C}$

10.2.129 $t_3 = t_2 + \frac{Q - Q_1}{c_{\text{в}}(m + M)}$

$$10.2.130 \quad V \approx 662 \text{ см}^3$$

$$10.2.131 \quad t = 0^\circ\text{C}$$

$$10.2.132 \quad m_1 \approx 1,37 \text{ кг}$$

$$10.2.133 \quad \approx 4963 \text{ руб.}$$

$$10.3.1 \quad r = 2q\sqrt{\frac{1}{12\pi\varepsilon_0 mg}} = 0,353 \text{ м}$$

$$10.3.2 \quad \ell = \frac{q}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0 mg}} \approx 0,6 \text{ м}$$

$$10.3.3 \quad T_{12} = \frac{q_1(4q_2 + q_3)}{16\pi\varepsilon_0\ell^2}; \quad T_{23} = \frac{q_3(4q_2 + q_1)}{16\pi\varepsilon_0\ell^2}$$

$$10.3.4 \quad F_k = \frac{ke^2}{r^2} = 9,2 \cdot 10^{-8} \text{ Н}; \quad v = e\sqrt{\frac{k}{m_e r}} = 2,25 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

$$10.3.5 \quad m = \frac{kq^2 \cos \alpha}{4g\ell^2 \sin^3 \alpha}$$

$$10.3.6 \quad q = 2L_1 \sqrt{\frac{\pi\varepsilon_0 mg(L - L_1)}{\sqrt{4\ell^2 - (L - L_1)^2}}}$$

$$10.3.7 \quad \rho = \frac{\varepsilon\rho_k}{\varepsilon - 1} = 1600 \text{ кг/м}^3$$

$$10.3.8 \quad \text{Сила } F = \frac{kQqd}{r^3} \text{ параллельна оси диполя}$$

$$10.3.9 \quad |Q| = \frac{|q|}{2} \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2} \right) \approx 0,957|q|$$

$$10.3.10 \quad N = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\ell^2} \left(Q^2 - \frac{q^2}{3\sqrt{3}} \right)$$

$$10.3.11 \quad T = \frac{|qQ|}{8\pi^2\varepsilon_0 R^2}$$

$$10.3.12 \quad m = \frac{q^2}{32\pi\epsilon_0 g R^2} \left(\frac{2R}{h} \right)^{3/2}$$

$$10.3.13 \quad q = \frac{2\epsilon_0 m g \operatorname{tg} \alpha}{\sigma} = 1,18 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$$

$$10.3.14 \quad F = \frac{3q^2}{2\epsilon_0 S}$$

$$10.3.15 \quad q = -7 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$$

$$10.3.16 \quad N = \frac{mg + qE}{\cos \alpha}, \quad W_K = \frac{(mg + qE)\ell \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha}{2}$$

$$10.3.17 \quad E_0 = \frac{\pi d^3 \epsilon g}{6q} (\rho_{\text{ал}} - \rho_{\text{м}})$$

$$10.3.18 \quad q = \frac{4\pi r^3 g (\rho_1 - \rho_2) d \epsilon}{3U}$$

$$10.3.19 \quad U = \frac{m_e a \ell}{|e|}$$

$$10.3.20 \quad v_2 : v_1 = 0,01$$

$$10.3.21 \quad U = 150 \text{ В}$$

$$10.3.22 \quad h = \frac{U_{\text{II}} \ell}{4dU} (\ell + 2L)$$

$$10.3.23 \quad h = \frac{dv^2 \cos^2 \alpha}{2Ue/m} = 5 \text{ мм}$$

$$10.3.24 \quad h = \frac{gdm}{2qE} = 0,05 \text{ м}$$

$$10.3.25 \quad v = \sqrt{v_0^2 - \frac{2qQ}{\pi\epsilon_0 m \sqrt{z^2 + a^2/2}}}, \quad v_{\min} = \sqrt{\frac{2\sqrt{2}qQ}{\pi\epsilon_0 ma}}$$

$$10.3.26 \quad \ell = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g + \frac{q}{m} E \cos \beta} \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha E q \sin \beta}{mg + E q \cos \beta} \right); \quad h = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2 \left(g + \frac{q}{m} E \cos \beta \right)}$$

$$10.3.27 \quad v = \sqrt{2gh - \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 Mh}(1 - \operatorname{tg} \alpha)}$$

$$10.3.28 \quad v = \sqrt{\frac{2|e|E\ell}{3m}} = 4 \cdot 10^5 \text{ м/с}$$

$$10.3.29 \quad L = \frac{\ell}{1 - \frac{2\pi\epsilon_0 \ell m_1 m_2 V_0^2}{(m_1 + m_2)q_1 |q_2|}} \approx 3,85 \text{ м}$$

$$10.3.30 \quad L = \frac{\ell}{1 + \frac{2\pi\epsilon_0 \ell m_1 m_2 (V_1 + V_2)^2}{(m_1 + m_2)q_1 |q_2|}} \approx 1,32 \text{ м}$$

$$10.3.31 \quad \varphi = \arccos \left(1 - \frac{m\omega^2 \ell}{4qE} \right) = 60^\circ$$

$$10.3.32 \quad E = \frac{3mg \cos \alpha - T}{q(2 - 3 \sin \alpha)} = 800 \text{ кВ/м}$$

$$10.3.33 \quad W_B = W_A + \frac{3}{2}mgR - \frac{FR}{2} = -4,0 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$$

$$10.3.34 \quad m = M \cdot \frac{qE + \frac{kqQ}{r^2}}{QE - \frac{kqQ}{r^2}} \approx 8,3 \text{ г}$$

$$10.3.35 \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\frac{q_1^2}{r_1^4} + \frac{q_2^2}{r_2^4}}$$

$$10.3.36 \quad q_3 = -\frac{3\sqrt{3}}{4}q = -5,2 \text{ мкКл}$$

$$10.3.37 \quad E = k \left(\sqrt{2} + \frac{1}{2} \right) \frac{q}{a^2}$$

$$10.3.38 \quad \alpha = \frac{q_1}{q_2} = \frac{7}{6} \sqrt{\frac{7}{3}} \approx 1,8$$

$$10.3.39 \quad b = \frac{a}{2\sqrt{\cos \frac{\pi}{8}}} \approx 0,5 \text{ м}$$

$$10.3.40 \quad E = k \frac{6q\sqrt{2}}{a^2}$$

$$10.3.41 \quad E = \frac{9kq}{a^2}$$

$$10.3.42 \quad q_3 = a \sqrt{4\pi\epsilon_0 \frac{F_{13}F_{23}}{F_{12}}} \approx 2,57 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$$

$$10.3.43 \quad k = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 1$$

$$10.3.44 \quad E_0 = \frac{q\sqrt{2}}{4\pi\epsilon_0 R^2} \approx 14,1 \text{ кВ}$$

$$10.3.45 \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Qh}{(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

$$10.3.50 \quad F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (2h)^2}; \quad E = \frac{qh}{2\pi\epsilon_0 (r^2 + h^2)^{3/2}}$$

$$10.3.51 \quad \text{При } r < R_1: E = 0; \quad \text{при } R_1 \leq r < R_2: E = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 r^2};$$

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

$$10.3.52 \quad \varphi_1 = \varphi_O = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} + \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2},$$

$$\varphi_R = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2} + \frac{q_1 + Q}{4\pi\epsilon_0 R},$$

$$\varphi_2 = \frac{q_1 + Q + q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2}$$

$$10.3.53 \quad Q_1'' = -Q_2' = \frac{Q_1 - Q_2}{2} = -10^{-6} \text{ Кл}, \quad Q_1' = Q_1'' = \frac{Q_1 + Q_2}{2} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$10.3.54 \quad \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$10.3.55 \quad \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$$

$$10.3.56 \quad Q = -q \frac{R}{r}$$

$$10.3.63 \quad q_A = -q_B = -\frac{Qr}{2R}$$

$$10.3.69 \quad q = \frac{q_1 r_1 - q_2 r_2}{r_1 + r_2} \approx 1,67 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$10.3.70 \quad \text{При } 0 < r \leq R_1: \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q_1}{R_1} + \frac{Q_2}{R_2} \right);$$

при $R_1 < r \leq R_2: \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q_1}{r} + \frac{Q_2}{R_2} \right);$ при $r > R_2: \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 + Q_2}{r}$

$$10.3.71 \quad F' = F \cdot \frac{4r_1 r_2}{(r_1 + r_2)^2}$$

$$10.3.72 \quad q/Q = r/R; \quad \sigma_r/\sigma_R = R/r$$

$$10.3.73 \quad \varphi_O = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}; \quad \varphi_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{\sqrt{R^2 + h^2}}$$

$$10.3.74 \quad \Phi = \varphi \sqrt[3]{n^2}$$

$$10.3.75 \quad C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$$

$$10.3.76 \quad C = \frac{4\pi\epsilon_0 \epsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

$$10.3.77 \quad C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$10.3.78 \quad C = C_1 + C_2$$

$$10.3.79 \quad W = \frac{q^2}{2C}$$

$$10.3.80 \quad U_1 = \frac{C_2 U}{C_1 + C_2}, \quad U_2 = \frac{C_1 U}{C_1 + C_2}$$

$$10.3.86 \quad q'_1 = C_1 \frac{q_1 + q_2}{C_1 + C_2}; \quad q'_2 = C_2 \frac{q_1 + q_2}{C_1 + C_2}$$

$$10.3.87 \quad q'_1 = C_1 \frac{q_1 - q_2}{C_1 + C_2}; \quad q'_2 = C_2 \frac{q_1 - q_2}{C_1 + C_2}$$

$$10.3.89 \quad q = \varepsilon_0 \pi r^2 E = 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$10.3.91 \quad U = \frac{U_1 S_1 + U_2 S_2}{S_1 + S_2}$$

$$10.3.92 \quad \alpha = \frac{1 + \varepsilon}{2\varepsilon} = \frac{2}{3}$$

$$10.3.93 \quad C = \frac{\varepsilon_0}{d} (\varepsilon S_1 + S_2)$$

$$10.3.94 \quad q' = q \cdot \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}$$

$$10.3.95 \quad C = \frac{\varepsilon_0 S}{d - a}$$

$$10.3.96 \quad C = \frac{\varepsilon_0 S}{d - a + a/\varepsilon}$$

$$10.3.97 \quad F = F_0 \frac{n^2}{(n - 1)^2}$$

$$10.3.98 \quad C_x = C/2$$

$$10.3.99 \quad C = \frac{2C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$10.3.100 \quad C_0 = C$$

$$10.3.101 \quad C_0 = 2C$$

$$10.3.102 \quad C_0 = \frac{20}{11} C$$

$$10.3.103 \quad \varphi_1 = \frac{C_1 \varphi_1 + C_2 \varphi_2 + C_3 \varphi_3}{C_1 + C_2 + C_3}$$

$$10.3.104 \quad U = \mathcal{E} \frac{C_2 C_3 - C_1 C_4}{(C_1 + C_3)(C_2 + C_4)} = 0$$

$$10.3.106 \quad U = 12 \text{ В}$$

$$10.3.108 \quad \Delta W = \frac{CU^2}{2} \cdot \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} = -2,5 \cdot 10^{-8} \text{ Дж. Энергия уменьшается.}$$

$$10.3.109 \quad U = \frac{C_1 C_3 U}{C_3 C_4 + (C_1 + C_2)(C_3 + C_4)} \approx 9,09 \text{ В}$$

$$10.3.110 \quad W = \frac{\varepsilon}{2} W_0 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$10.3.111 \quad A = \pm \Delta W$$

$$10.3.112 \quad A = \frac{1}{4} C U_0^2 (\varepsilon^2 - 1)$$

$$10.3.113 \quad Q = \frac{C_1 C_2^2 C_3 \mathcal{E}^2}{2(C_1 + C_2)^2 (C_1 + C_3)}$$

$$10.3.114 \quad \tau = \frac{\varepsilon_0 m v^2}{2e^2 n d} = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ с}$$

$$10.3.116 \quad q_2 = \mathcal{E} \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$10.3.117 \quad q = C \mathcal{E}$$

$$10.3.118 \quad \varphi_A - \varphi_B = \mathcal{E} \left(\frac{C_4}{C_3 + C_4} - \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)$$

$$10.3.119 \quad \varphi_A - \varphi_B = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2, \quad \varphi_D - \varphi_E = \frac{\mathcal{E}_1 C_1 - \mathcal{E}_2 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$10.3.120 \quad q_1 = C_1 \mathcal{E}_1, \quad q_2 = C_2 (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2), \quad q_3 = C_3 (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3)$$

$$10.3.121 \quad U_1 = C_2 \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{C_1 + C_2}, \quad U_2 = C_1 \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{C_1 + C_2}$$

$$10.3.122 \quad q_1 = \frac{C_1 (C_2 \mathcal{E}_1 + C_3 \mathcal{E}_1 - C_2 \mathcal{E}_2)}{C_1 + C_2 + C_3}$$

$$10.3.123 \quad q_1 = \frac{C}{4} (3\mathcal{E}_1 + 2\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3), \quad q_2 = \frac{C}{4} (\mathcal{E}_1 - 2\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3),$$

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

$$10.3.124 \quad Q = 2C\mathcal{E}^2$$

$$10.3.125 \quad Q = \frac{C\mathcal{E}^2}{6}$$

$$10.3.126 \quad Q = 8C\mathcal{E}^2$$

$$10.3.127 \quad Q = \frac{9C\mathcal{E}^2}{2}$$

$$10.3.128 \quad Q = 18C\mathcal{E}^2$$

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

$$10.4.4 \quad R_{AB} = \frac{r + R}{2}$$

10.4.5 На 5 частей

$$10.4.6 \quad \Delta I = \frac{UR}{(3R_1 + R)(5R_1 + 2R)} = 0,5 \text{ A}$$

$$10.4.7 \quad \text{а) } \frac{8}{13}R \quad \text{б) } \frac{3}{5}R \quad \text{в) } \frac{5}{7}R \quad \text{г) } \frac{3}{2}R \quad \text{д) } \frac{5}{4}R \quad \text{е) } \frac{5}{6}R$$

$$10.4.8 \quad r = 2R; \quad R_{AB} = 2R$$

$$10.4.9 \quad I_1 = I_2 = \frac{\mathcal{E}R_2}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3} = \frac{1}{11} \text{ A}$$

$$10.4.10 \quad r = \frac{R}{16} \cdot \frac{(4 - 3m)}{m - 1} = 0,5 \text{ Ом}$$

$$10.4.11 \quad U_{MN} = \frac{\mathcal{E}R}{3r + R} \approx 1,54 \text{ В}$$

$$10.4.12 \quad I_{K3} = \frac{I_1I_2(R_2 - R_1)}{I_2R_2 - I_1R_1} = 0,625 \text{ A}$$

$$10.4.13 \quad R_1 = \frac{\mathcal{E} - U}{U}R - r = 2,8 \text{ Ом}$$

$$10.4.14 \quad r = \frac{I_1R_1 - I_2R_2}{I_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - I_1} = 4 \text{ Ом}$$

$$10.4.15 \quad I_x = 0,1 \text{ A}$$

$$10.4.16 \quad R_{\text{III}} = \frac{R_A}{n - 1}$$

$$10.4.17 \quad R_{\text{II}} = (n - 1)R_B$$

$$10.4.18 \quad U = \frac{\mathcal{E}}{\left(\frac{r}{r_v} + \frac{r}{R_1} + 1\right)} = 20 \text{ B}$$

$$10.4.19 \quad U_2 = 0,1 \text{ B}$$

$$10.4.20 \quad R_{\text{II}} = \frac{U_0}{ni_0} - r \approx 2 \cdot 10^5 \text{ Ом}; \quad R_{\text{III}} = \frac{r}{\frac{I_0}{ni_0} - 1} \approx 0,0626 \text{ Ом}$$

$$10.4.21 \quad R = 261 \text{ Ом}$$

$$10.4.22 \quad V_1 = \frac{\mathcal{E}}{1 + U_2/U_1} = 7,2 \text{ B}; \quad V_2 = \mathcal{E} - V_1 = 4,8 \text{ B}$$

$$10.4.23 \quad \delta = \frac{r}{r + R} \cdot 100\% \approx 0,25\%$$

$$10.4.24 \quad S = 1,75 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$$

$$10.4.25 \quad k = \frac{mn - 1}{m + n - 2}$$

$$10.4.26 \quad R = \frac{V_2}{I_2} - \frac{V_2 - V_1}{I_1} \approx 63,4 \text{ Ом}$$

10.4.27 Увеличатся в 4 раза

$$10.4.28 \quad I'_A = 1,5 \text{ A}$$

$$10.4.29 \quad m = \frac{W}{W_0} = \left(\frac{R_1}{r + R + R_1}\right)^2 = \frac{1}{16}$$

$$10.4.30 \quad \alpha = \frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} = 1,2$$

$$10.4.31 \quad I = \frac{\varepsilon_0(\varepsilon - 1)a}{d} \mathcal{E}v \approx 3,2 \cdot 10^{-7} \text{ A}$$

$$10.4.32 \quad q = 2wdSeRC_2 = 6,4 \cdot 10^{-13} \text{ Кл}$$

$$10.4.34 \quad q_1 = q_3 = 3,6 \text{ нКл}, \quad q_2 = 1,8 \text{ нКл}$$

$$10.4.35 \quad I = \frac{\varepsilon_0 S \alpha \mathcal{E}}{d_0} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ A}$$

$$10.4.36 \quad Q = CIR_1 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$$

$$10.4.37 \quad q = \frac{C\mathcal{E}R}{2R + 3r} = 1,43 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}$$

$$10.4.38 \quad U_1 = \frac{2}{3} \mathcal{E} \frac{C_2}{C_1 + C_2}; \quad U_2 = \frac{2}{3} \mathcal{E} \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

$$10.4.39 \quad \varphi_a - \varphi_b = \frac{\mathcal{E}(C_1R_1 - C_2R_2)}{(R_1 + R_2 + r)(C_1 + C_2)}$$

$$10.4.40 \quad q_1 = \frac{2C\mathcal{E}}{9}; \quad q_2 = \frac{10C\mathcal{E}}{9}; \quad q_3 = \frac{4C\mathcal{E}}{3}$$

$$10.4.41 \quad q = \frac{11C\mathcal{E}}{6}$$

$$10.4.42 \quad r = \frac{r_1r_2}{r_1 + r_2}; \quad \mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}_1r_2 + \mathcal{E}_2r_1}{r_1 + r_2}$$

$$10.4.43 \quad I = \frac{U - \mathcal{E}}{r} = 2 \text{ A}$$

$$10.4.44 \quad U_1 = 2,6 \text{ В}, \quad U_2 = 6,6 \text{ В}, \quad U_3 = 4,0 \text{ В}$$

$$10.4.45 \quad \mathcal{E} = 6,6 \text{ В}; \quad r = 1,2 \text{ Ом}$$

$$10.4.46 \quad U_{AB} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 - I(r_1 + r_2 + R_1) = 1 \text{ В}$$

$$10.4.47 \quad I = \frac{R_1 - R}{R + 3R_1} \cdot \frac{U}{R} = 2,5 \text{ mA}$$

$$10.4.48 \quad R = \frac{\mathcal{E}_2r_1}{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}$$

$$10.4.49 \quad I_1 \approx 0,23 \text{ A}, \quad I_2 \approx 0,44 \text{ A}, \quad I_3 \approx 0,65 \text{ A}, \quad I_4 \approx 0,42 \text{ A}, \quad \mathcal{E}_4 \approx 100 \text{ B}$$

$$10.4.50 \quad \mathcal{E}_2 = \frac{\mathcal{E}_1 R_2}{R_1} = 20 \text{ B}$$

$$10.4.51 \quad R = \frac{\mathcal{E}_1 r_2 - \mathcal{E}_2 r_1}{3(\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1)}$$

$$10.4.52 \quad r = R = 0,5 \text{ Ом}$$

$$10.4.53 \quad r_1 = \left(\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} - 1 \right) R_1 - R = 0,5 \text{ Ом}$$

$$10.4.54 \quad Q_2 = Q_1 \frac{r + R/2}{r + 2R} \approx 5,4 \text{ КДж}$$

$$10.4.55 \quad R = \frac{2\mathcal{E}_2 r}{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2} = 1 \text{ Ом}$$

$$10.4.56 \quad R = \frac{(R_1 + R_2)R_3 + 2R_1 R_2}{R_1 + R_2 + 2R_3}$$

$$10.4.57 \quad I = \frac{1}{2R + 3r} (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + 2\mathcal{E})$$

$$10.4.58 \quad U = I_2 R_2 = \frac{\mathcal{E}_2(R_1 + R) - \mathcal{E}_1 R}{R_1 R_2 + R(R_1 + R_2)} R_2$$

$$10.4.59 \quad U_2 = 8,6 \text{ B}$$

$$10.4.60 \quad \mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}_1 R_2 + \mathcal{E}_2 R_1}{R_1 + R_2}$$

$$10.4.61 \quad 1 \text{ A}$$

$$10.4.65 \quad \mathcal{E} = \sqrt{W} (\sqrt{R_1} + \sqrt{R_2}) = 9 \text{ B}$$

$$10.4.66 \quad P_{\text{н}} = \frac{(U_0 - U_1)U_1}{U_0^2} \cdot P \approx 434 \text{ Вт}$$

$$10.4.67 \quad P_2 = I_2^2 \left(\frac{r I_1^2 + P_1}{I_1 I_2} - r \right) = 11 \text{ Вт}$$

$$10.4.68 \quad R = 2r = 2 \text{ Ом}$$

$$10.4.69 \quad P_{\text{полн}} = \frac{\mathcal{E}^2}{R+r}, \quad P_{\text{полез}} = \mathcal{E}^2 \frac{R}{(R+r)^2}, \quad P_{\text{пот}} = \mathcal{E}^2 \frac{r}{(R+r)^2}, \quad \eta = \frac{R}{R+r}$$

$$10.4.70 \quad M \approx 2,1 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

$$10.4.71 \quad N = \mathcal{E}I - \mathcal{E}I^2/I_0 = 8 \text{ Вт}$$

$$10.4.72 \quad \eta = \left(1 - \frac{I}{I_0}\right) \cdot 100\% = 40\%$$

$$10.4.73 \quad W = \left(\frac{\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2}{r_1 + r_2 + U^2/W}\right)^2 \cdot \frac{U^2}{W} = 4 \text{ Вт}$$

$$10.4.74 \quad W'_2 = \frac{W_1^2}{W_2} = 10 \text{ Вт}$$

$$10.4.75 \quad W = \frac{(\mathcal{E}_2 r_1 - \mathcal{E}_1 r_2)(\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2)}{(r_1 - r_2)^2} = 24 \text{ Вт}$$

$$10.4.76 \quad r = \left(\frac{100\%}{\eta} - 1\right) \cdot R = \frac{1}{3} \text{ Ом}$$

$$10.4.77 \quad P_2 = P_1 \frac{R_2 R_3^2}{R_1 (R_2 + R_3)^2} = 18 \text{ Вт}$$

$$10.4.78 \quad \frac{W_2}{W_1} = 2 - \sqrt{2} \approx 0,586$$

$$10.4.79 \quad \beta = \frac{R + r/2}{R + 2r} = 0,5$$

$$10.4.80 \quad r = \frac{n - m}{n(n - 1)} \cdot R_1 = \frac{1}{6} \text{ Ом}$$

$$10.4.81 \quad r = R \cdot \frac{2 - \sqrt{n}}{2\sqrt{n} - 1} \approx 0,316 \text{ Ом}$$

$$10.4.82 \quad Q_1 = \frac{CU^2}{2(1 + R_1/R_2)} \approx 4 \cdot 10^{-2} \text{ Дж}$$

$$10.4.83 \quad W = \frac{C_1 C_2 (U_1 - U_2)^2}{2(C_1 + C_2)} = 0,03 \text{ Дж}$$

$$10.4.84 \quad Q = \frac{C \mathcal{E}^2 R_2^2}{2(R_1 + R_2)^2} = 0,2 \text{ Дж}$$

$$10.4.85 \quad Q = 2C \mathcal{E}^2 = 3,6 \text{ Дж}$$

$$10.4.86 \quad \alpha = 2k - 1 \pm 2\sqrt{k^2 - k} = 3 \pm 2\sqrt{2}; \quad \alpha_1 \approx 0,17; \quad \alpha_2 \approx 5,83$$

$$10.4.87 \quad \alpha = \frac{P_2}{P_1} = 0,6$$

$$10.4.88 \quad \mathcal{E} = \sqrt{\frac{W_2 r}{2(2 - \sqrt{W_2/W_1})(\sqrt{W_2/W_1} - 1)}} = 12 \text{ В}$$

$$10.4.89 \quad R = 2r \cdot \frac{\sqrt{W_2/W_1} - 1}{2 - \sqrt{W_2/W_1}} = 1 \text{ Ом}$$

$$10.4.90 \quad R = r \cdot \frac{2 - \sqrt{W_2/W_1}}{2(\sqrt{W_2/W_1} - 1)} = 0,9 \text{ Ом}$$

$$10.4.91 \quad \mathcal{E} = \sqrt{\frac{W_2 r}{2(2 - \sqrt{W_2/W_1})(\sqrt{W_2/W_1} - 1)}} = 3 \text{ В}$$

$$10.4.92 \quad \eta = 2 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{W_1}{W_2}}\right) \approx 33\%$$

$$10.4.93 \quad R = \frac{r_2 \sqrt{W_2} - r_1 \sqrt{W_1}}{\sqrt{W_1} - \sqrt{W_2}} = 0,3 \text{ Ом}$$

$$11.1.1 \quad \ell = \frac{m(v/t + g)}{BI \sin \alpha}$$

$$11.1.2 \quad \alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{BI\ell}{mg} \right)$$

$$11.1.3 \quad I_2 = 3 \text{ А}$$

$$11.1.4 \quad B = \frac{mg(\mu \cos \alpha \pm \sin \alpha)}{I\ell}; \quad 0,5 \text{ Тл для движения вверх; } 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл для движения вниз}$$

$$11.1.5 \quad \text{По окружности радиусом } R = \frac{mv}{qB}, \text{ период обращения } T = \frac{2\pi m}{qB}$$

$$11.1.6 \quad \varphi = \begin{cases} \arcsin \left(\frac{B|e|d}{mv} \right) & \text{при } mv \leq B|e|d; \\ 180^\circ & \text{при } mv > B|e|d \end{cases} \quad \text{Для данных задачи } \varphi \approx 73^\circ$$

$$11.1.7 \quad S = \frac{\pi mv}{Be \cdot 180} = 0,01 \text{ мм}$$

11.1.8

11.1.9 Траектория — винтовая линия, частица движется по поверхности цилиндра радиусом $R = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$, шаг винтовой линии (расстояние, на которое смещается частица в направлении оси цилиндра за время одного оборота по окружности) $H = \frac{2\pi mv \cos \alpha}{qB}$

$$11.1.10 \quad B = 2\pi k \frac{mv}{eL} \cos \alpha, \text{ где } k \text{ — произвольное целое число}$$

$$11.1.11 \quad v = \frac{qBh}{m \sin \varphi} = 10^6 \text{ м/с}$$

$$11.1.12 \quad v_k = \frac{3U}{4RB} \approx 3,8 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

$$11.1.13 \quad B = 0,1 \text{ Тл, } \vec{B} \perp \vec{v} \text{ и } \vec{B} \perp \vec{E}$$

$$11.1.14 \quad T = \frac{2\pi m}{qB} \approx 6,28 \text{ с}$$

$$11.1.15 \quad \alpha = \begin{cases} 180^\circ & \text{при } V_0 \leq \frac{q}{m}BL, \\ \arcsin \left(\frac{q}{m} \cdot \frac{BL}{V_0} \right) & \text{при } V_0 > \frac{q}{m}BL \end{cases} \quad \text{В заданных условиях } \alpha =$$

30°

$$11.1.16 \quad I = \frac{\mu mg}{B\ell} = 20 \text{ A}$$

$$11.1.17 \quad I_2 = I_1 \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1} = 3 \text{ A}$$

$$11.1.18 \quad B = \frac{2\rho Sg}{I} \cdot \operatorname{tg} \alpha \approx 0,078 \text{ Тл}$$

$$11.1.19 \quad I \geq \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{B\ell(\mu \sin \alpha + \cos \alpha)} \approx 33,2 \text{ A}$$

$$11.1.20 \quad B = \frac{\mu mg}{I\ell} = 0,03 \text{ Тл}$$

$$11.1.21 \quad \varphi = \arccos \left(1 - \frac{(IBLt)^2}{2gm^2\ell} \right) \approx 18^\circ$$

$$11.1.22 \quad \alpha = 45^\circ$$

$$11.1.23 \quad v = 8 \text{ км/с}$$

$$11.1.24 \quad q = \frac{m}{B} \left(\frac{v}{\ell \sin \alpha} - \frac{g \operatorname{tg} \alpha}{v} \right)$$

$$11.1.25 \quad \frac{m}{q} = \frac{B^2 R^2}{2U} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}$$

$$11.1.26 \quad \frac{m}{\ell} = \frac{IB \cos \alpha}{a + g \sin \alpha}$$

$$11.1.27 \quad B = \frac{F}{I\ell} = 0,4 \text{ Тл}$$

$$11.1.28 \quad B = \frac{mg}{IL} \cdot \frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \approx 0,04 \text{ Тл}$$

11.1.29 Сила уменьшится в $\sqrt{3}$ раз

$$11.1.30 \quad m = \frac{2\pi n R q B}{\mu g - 4\pi^2 n^2 R}$$

$$11.1.31 \quad m = \frac{2aBI}{g}$$

$$11.1.32 \quad I = \frac{m}{\ell} \cdot \frac{a + g \sin \alpha}{B \cos \alpha}$$

$$11.1.33 \quad I = \frac{mg}{2B\ell} = 4 \text{ A}$$

$$11.1.34 \quad I = \frac{mg \operatorname{tg} \alpha}{B\ell} \approx 1 \text{ A}$$

$$11.1.35 \quad F = \frac{B \mathcal{E} S \ell_1}{\rho} \left(\frac{2}{\ell_1 + \ell_2} + \frac{1}{\sqrt{\ell_1^2 + \ell_2^2}} \right)$$

$$11.1.36 \quad B = \frac{a \Delta p}{I} = 0,1 \text{ Тл}$$

$$11.1.37 \quad \mathcal{E}_i = v\ell \cdot B \sin \varphi$$

$$11.1.38 \quad B = \frac{\mathcal{E}_i}{v\ell \sin \alpha}$$

$$11.1.39 \quad 8 \text{ м/с; ВПРАВО}$$

$$11.1.40 \quad \sigma = \varepsilon_0 v B$$

$$11.1.41 \quad U = B_{\text{вер}} v \ell = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ В}, \quad U_{\text{max}} = v \ell \sqrt{B_{\text{вер}}^2 + B_{\text{гор}}^2} = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ В}$$

$$11.1.42 \quad U = v B \ell \sin \alpha \cos \beta$$

$$11.1.44 \quad B = \frac{m_e \omega}{|e|}$$

$$11.1.45 \quad U = \frac{BI}{|e| n h}$$

$$11.1.46 \quad U = \frac{B \ell^2 \omega}{2}$$

$$11.1.47 \quad I = \frac{Blv}{R}$$

$$11.1.48 \quad a = \frac{\mathcal{E}^2}{2B^2 \ell^2 x} = 8 \text{ м/с}^2$$

$$11.1.49 \quad W = \frac{1}{2} C \left(S \frac{\Delta B}{\Delta t} \right)^2 = 2 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}$$

$$11.1.50 \quad \frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{4q}{C\pi D^2}$$

$$11.1.51 \quad q = -\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{R}; \quad |q| = 10^{-5} \text{ Кл}$$

$$11.1.52 \quad I = \frac{B}{R} \cdot \frac{S_0 - S_k}{\tau} = 4 \text{ мкА}$$

$$11.1.53 \quad R = \frac{BS}{q} = 0,5 \text{ Ом}$$

$$11.1.54 \quad \alpha = \arccos \left(1 - \frac{QR}{BS} \right) = 120^\circ$$

$$11.1.55 \quad \alpha = \arccos \left(1 - \frac{QR}{BNS} \right) = 60^\circ$$

$$11.1.56 \quad q_{II} = -\frac{Q}{2}; \quad q_{III} = -Q$$

$$11.1.57 \quad S = \sqrt{\frac{QR}{\frac{\Delta B_1^2}{\Delta t_1} + \frac{\Delta B_2^2}{\Delta t_2}}} = 200 \text{ см}^2$$

$$11.1.58 \quad v = \frac{mgR}{B^2 \ell^2} (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

$$11.1.59 \quad S = \frac{mv_0 R}{B^2 d^2}$$

$$11.1.60 \quad v = \frac{16mgR}{\pi^2 d^4 B_0^2 \alpha^2}$$

$$11.1.61 \quad I = \frac{B(a+b)h}{2\rho t(a+b+h+\sqrt{h^2+(a-b)^2})} = 76 \text{ мА}$$

$$11.1.62 \quad P = \frac{\pi^2 r^4}{R} k^2 \cos^2 \alpha \approx 2,5 \text{ Вт}$$

$$11.1.63 \quad Q = \frac{BSn}{R}$$

$$11.1.64 \quad I = VBd \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$11.1.65 \quad V = \frac{mgR}{B^2\ell^2}$$

$$11.1.66 \quad \vec{F} = \frac{\vec{V}}{V} F; \quad F = \frac{B^2\ell^2 V}{R} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$$

$$11.1.67 \quad v_{12} = \frac{2\mu mgR}{(B\ell)^2} = 2 \text{ м/с}$$

$$11.1.68 \quad P = \frac{B^2 N^2 \omega^2 r^4}{4R} = 0,25 \text{ Вт}$$

$$11.1.69 \quad I = \sqrt{\frac{mgV \sin \alpha}{R}} \approx 0,16 \text{ А}$$

$$11.1.70 \quad Q = \left(\frac{\mathcal{E} - BV\ell}{r + R} \right)^2 Rt \approx 64 \text{ Дж}$$

$$11.1.71 \quad a = \frac{F}{m + B^2\ell^2 C}$$

$$11.1.72 \quad W = \frac{B^2\omega^2 r^4}{4R} \approx 1,96 \text{ Вт}$$

$$11.1.73 \quad I = I_0 \frac{\mu_0 abV}{2\pi x_0(x_0 + b)R}$$

$$11.1.74 \quad q = \frac{\mathcal{E}\Delta t}{NR} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}$$

$$11.1.75 \quad \Delta t = \frac{IL}{\mathcal{E}} = 1 \text{ с}$$

$$11.1.76 \quad B = \frac{LI}{SN} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$$

$$11.1.77 \quad Q = \frac{L\mathcal{E}^2}{2R_0^2} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$11.1.78 \quad C_1 = \frac{C_2 U_2}{2U - U_2}$$

$$11.1.79 \quad q = 2\mathcal{E}C - q_0$$

$$11.1.80 \quad I = \frac{n_1 S B}{L_1 + L_2}$$

$$11.1.81 \quad Q = \frac{L\mathcal{E}^2 R_1^3}{2(R + R_1)(rR + rR_1 + RR_1)^2} = 1,14 \text{ Дж}$$

$$11.1.82 \quad Q = \frac{\mathcal{E}^2(L + CR^2)}{2(r + R)^2} = 37,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$$

$$11.1.83 \quad Q = \frac{CU^2}{2} - \frac{LI^2}{2} - \frac{CR^2 I^2}{2}$$

$$11.1.84 \quad 0,115 \text{ Дж}$$

$$11.1.85 \quad \Delta q = \frac{C\mathcal{E}r}{r + R} = 10^{-5} \text{ Кл}$$

$$11.1.86 \quad U = \sqrt{\frac{L(I_0^2 - I^2)}{C}} \approx 35 \text{ В}$$

$$11.1.87 \quad Q_1 = \frac{\mathcal{E}^2 LR_1 R_2^2}{2(R_1 + R_2)(r(R_1 + R_2) + R_1 R_2)^2} = 0,3125 \text{ мДж}$$

$$11.1.88 \quad \Phi = \frac{2Q(r + R_1 + R_2)}{\mathcal{E}} = 4 \text{ Вб}$$

$$11.1.89 \quad Q = \frac{L\mathcal{E}^2}{2r^2} = 0,25 \text{ Дж}$$

$$11.1.90 \quad Q = \frac{LI^2}{2} + \frac{C\mathcal{E}^2 R_2^2}{2(R_1 + R_2 + r)^2} = 114 \text{ мкДж}$$

$$11.1.91 \quad Q_{\max} = \frac{3}{2}C\mathcal{E} = 30 \text{ мкКл}$$

$$11.1.92 \quad W = \frac{\mathcal{E}^2(L + CR^2)}{2(R + r)^2}$$

$$11.1.93 \quad W = \frac{1}{2C} \left(\frac{BNS}{R} \right)^2 = 2,5 \text{ мкДж}$$

$$11.1.94 \quad E = \frac{B}{B_0} E_0$$

$$11.1.95 \quad S = -\frac{qR}{\Delta B_x}$$

$$11.1.96 \quad R = \frac{2B^2 v b^3}{A} = 0,1 \text{ Ом}$$

$$11.1.97 \quad \Delta Q = \frac{BSNvT \cos \alpha}{Rl} = 10^{-3} \text{ Кл}$$

$$11.1.98 \quad N = \frac{qR}{S\Delta B} = 10$$

$$11.1.99 \quad B = \frac{4U}{3lv}$$

$$11.1.100 \quad P_1 = \left(\frac{ka^2}{R_1 + R_2} \right)^2 R_1 = 50 \text{ мкВт}$$

$$11.1.101 \quad U_x = \frac{IB}{enb} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ В}$$

$$11.1.102 \quad Q = Q_1 + Q_2 = \frac{\ell^4}{R} \left[\frac{(\Delta B_1)^2}{\Delta t_1} + \frac{(\Delta B_2)^2}{\Delta t_2} \right] = 0,155 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$$

$$11.2.7 \quad x_{\max} = \frac{2mg}{k}; \quad v_{\max} = g\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$11.2.15 \quad v = A\sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$11.2.22 \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k_1 + \frac{4k_2k_3}{k_2 + k_3}}{m}} \approx 47 \text{ рад/с}$$

11.2.28

(a) $x = x_0 \cos(\omega_0 t)$

(b) $x = \frac{v_0}{\omega_0} \sin(\omega_0 t)$

(c) $x = x_0 \cos(\omega_0 t) + \frac{v_0}{\omega_0} \sin(\omega_0 t)$

11.2.29 $1/3$ периода

$$11.2.30 \quad v_{\text{cp}_1} = \frac{6A}{T} = 6 \text{ см/с}; \quad v_{\text{cp}_2} = \frac{3A}{T} = 3 \text{ см/с}$$

$$11.2.31 \quad T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g+a}}; \quad T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g-a}}$$

$$11.2.32 \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{\sqrt{g^2+a^2}}}$$

$$11.2.33 \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g+F/m}} \approx 1,6 \text{ с}$$

$$11.2.34 \quad T_2 \approx 1,4 \text{ с}$$

$$11.2.35 \quad (1) T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g+qE/m}}; \quad (2) T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g-qE/m}} \text{ при } g > \frac{qE}{m};$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{qE/m-g}} \text{ при } g < \frac{qE}{m}$$

$$11.2.36 \quad T = \pi\sqrt{\ell/g} \cdot (1 + \sqrt{2}/2)$$

$$11.2.37 \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m(k_1+k_2)}{k_1k_2}}$$

$$11.2.38 \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_1+k_2}}$$

$$11.2.39 \quad T = \frac{4a}{v_0} + 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$11.2.40 \quad \frac{T_1}{T} = 1 - \frac{1}{\pi} \arccos \frac{\beta}{\alpha}$$

$$11.2.41 \quad T = \frac{4}{3}\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$11.2.42 \quad T = \frac{4}{3}\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \text{ или } T = \frac{2}{3}\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$11.2.43 \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\rho g S}}$$

$$11.2.44 \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$$

$$11.2.45 \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2\rho S g}}$$

$$11.2.46 \quad A > \frac{\mu g T^2}{4\pi^2}$$

$$11.2.47 \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g(1 + m/M)}}$$

$$11.2.48 \quad T = 2\pi\frac{1}{\sqrt{g/\ell + k/m}}$$

$$11.2.49 \quad T = 2\pi\frac{1}{\sqrt{g/\ell + k/4m}}$$

$$11.2.50 \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{\Delta\ell}{g}}$$

$$11.2.51 \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m + C(B\ell)^2}{k}}$$

$$11.2.52 \quad A < 0,1 \text{ м}$$

$$11.2.53 \quad T = 2\pi A \left(\frac{M + m}{mv} \right)$$

$$11.2.54 \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_1 + k_2}}; \quad A = \frac{|k_2\ell_2 - k_1\ell_1|}{k_1 + k_2}$$

$$11.2.55 \quad T_1 = \left(1 + \frac{h}{R} \right) T_0 = 1,001 \text{ с}$$

$$11.2.56 \quad A = F/2k$$

$$11.2.57 \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}; \quad A = v_0\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$11.2.58 \quad F = m \left(g + \frac{4\pi^2 A}{T^2} \right) \approx 11,8 \text{ Н}$$

$$11.2.59 \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g \pm qU/(md)}} \quad (\text{знак “+”, когда нижняя обкладка заряжена отрицательно})$$

$$11.2.60 \quad T = 2\pi \frac{m + M}{mV} A$$

$$11.2.61 \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{h_1 h_2}{g(h_1 + h_2)}}$$

$$11.2.62 \quad E = \frac{1}{2} m A a_{\max}$$

$$11.2.63 \quad V_{\text{ср}} = \frac{3x_0}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \approx 0,48 \text{ м/с}$$

$$11.2.64 \quad \ell = 36g \left(\frac{\tau}{\pi} \right)^2 = 3,6 \text{ м}$$

$$11.2.65 \quad \tau = \pi \left(\sqrt{\frac{m}{k_1}} + \sqrt{\frac{m}{k_2}} \right) + \frac{2L}{\Delta\ell} \sqrt{\frac{m}{k_1}} \approx 9 \text{ с}$$

$$11.2.66 \quad a_1 = \frac{1}{2} \sqrt{a_2(4g - a_2)} \approx 9,7 \text{ м/с}^2$$

$$11.2.67 \quad U = B\ell x_{\max} \sqrt{\frac{k}{m}} = 0,01 \text{ В}$$

$$11.2.68 \quad v_0 = \sqrt{\mu g \ell}; \quad \tau = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\ell}{\mu g}}$$

$$11.2.69 \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$$

$$11.2.70 \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m\ell}{2p_0 S}}$$

$$11.2.71 \quad \tau = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\ell}{g}}; \text{ не изменится.}$$

11.2.72 Заряд совершает гармонические колебания с периодом $T = 2\pi\sqrt{\frac{mR^3}{kqQ}}$

11.2.73 $\tau = \pi\sqrt{\frac{m}{2\pi R\Delta p}}$

11.2.74 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m_1m_2}{k(m_1 + m_2)}}$

11.2.75 $T = 2\pi\frac{\ell}{L}\sqrt{\frac{m}{k}}$

11.2.76 $T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$

11.3.5 1/8

11.3.6 $I_{\max} = q_0\sqrt{\frac{1}{L(C_1 + C_2)}}$

11.3.7 $I_{\max} = q_0\sqrt{\frac{1}{L(C_1 + C_2)}}$

11.3.9 $I_{\max} = q_0\sqrt{\frac{1}{C(L_1 + L_2)}}$

11.3.11 $C = \frac{T}{2\pi nr}; L = \frac{Tnr}{2\pi}$

11.3.12 $I_{\max} = U\sqrt{\frac{C}{2L}}$

11.3.13 $q_1 = \frac{C_1^2 U_0}{C_1 + C_2} \cos(\omega_0 t); q_2 = \frac{C_1 C_2 U_0}{C_1 + C_2} \cos(\omega_0 t),$ где $\omega = \sqrt{\frac{1}{L(C_1 + C_2)}}$

11.3.14 $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 6,3 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}; I_{\max} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{L}} = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ А}; I_{\text{д}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} =$
 $\mathcal{E}\sqrt{\frac{2C}{L}} = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ А};$

11.3.15 $U(t) = \begin{cases} \frac{\mathcal{E}\tau}{\sqrt{LC}} \sin\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right) & \text{при } 0 \leq t \leq \frac{\pi}{2}\sqrt{LC}; \\ \frac{\mathcal{E}\tau}{\sqrt{LC}} & \text{при } t \leq \frac{\pi}{2}\sqrt{LC} \end{cases}$

$$11.3.16 \quad I = U_m \sqrt{\frac{3C}{4L}}.$$

$$11.3.17 \quad Q = \frac{q^2}{2C} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \approx 0,047 \text{ Дж}$$

$$11.3.18 \quad Q = \frac{\mathcal{E}^2 (L + CR^2)}{2(r + R)^2} = 37,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$$

$$11.3.19 \quad \nu_0 = \frac{I_m}{2\pi C U_m}$$

$$11.3.20 \quad T_2 = T_1/2$$

$$11.3.21 \quad I = \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot U \sin\left(\frac{t_0}{\sqrt{LC}}\right) \approx 0,71 \text{ А}$$

$$11.3.22 \quad \alpha = \frac{C_1 + C_2}{2\sqrt{C_1 C_2}} = 1,25$$

$$11.3.23 \quad U_{2\max} = \frac{2U_1 C_1}{C_1 + C_2} \approx 364 \text{ В}$$

$$11.3.24 \quad I_{\max} = U_1 \sqrt{\frac{C_1 C_2}{L(C_1 + C_2)}} = 0,75 \text{ А}$$

$$11.3.26 \quad I_1 = \frac{L_2 \mathcal{E}/r + L_1 I_0}{L_1 + L_2}; \quad I_2 = \frac{L_1 \mathcal{E}/r + L_1 I_0}{L_1 + L_2}$$

$$11.3.27 \quad I_{\max} = U_0 \frac{C}{L_1}; \quad I_{\min} = \frac{L_1 - L_2}{L_1 + L_2} U_0 \frac{C}{L_1}$$

$$11.3.28 \quad 1/75 \text{ с}$$

$$11.4.1 \quad \Delta\varphi = 2,1 \text{ рад}$$

$$11.4.2 \quad \Delta\varphi = 120^\circ$$

$$11.4.3 \quad T = 2,5 \text{ с}$$

$$11.4.4 \quad \ell = 45 \text{ м}$$

$$11.4.5 \quad \text{а) влево; б) и в) вправо}$$

11.4.6 а) вверх; б) и в) вниз

11.4.7 а) и б) поперечная бегущая; в) поперечная стоячая

11.4.8 $L_{\max} = 37,5$ км; $N = 4000$ колебаний

$$11.4.9 \quad \nu_1 = \nu \cdot \frac{c + v}{c - v}$$

$$11.4.10 \quad v = \frac{Hc}{\sqrt{H^2 - (ct)^2}}$$

11.4.11 $\lambda = 188$ м

11.4.12 $\lambda = 933$ м

$$11.4.13 \quad \Delta x \approx \frac{\lambda L}{d}$$

$$11.4.14 \quad \Delta x \approx \frac{\lambda}{\varphi}$$

$$11.4.15 \quad \Delta x = \frac{\lambda L}{D} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$11.4.16 \quad \text{На } \Delta y = \frac{(n-1)bL}{a} = 2 \text{ мм в сторону перекрытой щели}$$

11.4.17 $\nu = 10^9$ Гц

$$11.4.18 \quad \Delta = \frac{\lambda L}{4\alpha\ell}$$

$$11.4.19 \quad d = \frac{\lambda}{2n}; \quad d = 200 \text{ нм}$$

$$11.4.20 \quad d_{\min} = \frac{\lambda}{4n} = 107 \text{ нм}$$

$$11.4.21 \quad L = \frac{2F(D+d)}{D-d}$$

11.4.22 25 полос

$$11.4.23 \quad h = 2,5\lambda = 1,25 \text{ мкм}$$

11.4.24 $L = 3$ м; $N = 6 \cdot 10^2$ полос; ширина полосы $\Delta = 50$ мкм

$$11.4.25 \quad \theta \approx \operatorname{tg} \theta \approx \frac{\lambda}{2nb} \approx 10^{-4} \approx 20''$$

$$11.4.26 \quad h \approx \lambda \frac{L}{\ell} = 3,6 \text{ мм}$$

$$11.4.27 \quad d = \frac{\lambda}{\sin \alpha} \approx \frac{\lambda}{\alpha} = 50 \text{ мкм}$$

$$11.4.28 \quad d_{\min} = \frac{\lambda}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \approx 0,2 \text{ мкм}$$

$$11.4.29 \quad \varphi \approx \frac{\lambda}{2dn} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ рад}$$

11.4.31 2

11.4.32 $\lambda = d \sin \frac{\alpha}{2} = 0,7$ мкм, где $d = \ell/N = 10^{-5}$ м — период решетки

11.4.33 36

$$11.4.34 \quad k_{\max} = \frac{d}{\lambda} = 3$$

11.4.35 1

11.4.36 $d = 0,161 \cdot 10^{-5}$ м, $k_{\max} = 2$, $N = 620$

11.4.37 $d = 2 \cdot 10^{-6}$ м

11.4.38 Не будут, так как $(k+1)\lambda_{\min} > k\lambda_{\max}$ для всех $k < k_{\max}$

11.4.39 $b = F(\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_1) = 0,325$ мм

11.4.40 $\lambda = d \operatorname{arctg}(x/F) = 0,5$ мкм

11.4.41 $\lambda_2 \approx 436$ нм

11.4.42 23

$$11.5.1 \quad \beta = \frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2}$$

11.5.2 2α

11.5.4 Окружность радиуса a с центром в точке O

$$11.5.5 \quad \ell = d \sin 2\alpha \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} - \frac{1}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) \approx 1,17 \text{ см}$$

11.5.6 $1/2$ роста человека

$$11.5.7 \quad \ell = h \operatorname{ctg} \alpha = 20 \text{ м}$$

$$11.5.8 \quad x = \ell + \frac{d}{n} = 18 \text{ см}$$

11.5.9 На расстоянии $x = \ell + \frac{2d}{n} = 5,3$ см от передней поверхности пластинки

$$11.5.10 \quad h = d \sin \alpha \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right)$$

$$11.5.11 \quad d = \frac{2a \sqrt{(n_2^2 - \sin^2 \alpha) (n_1^2 - \sin^2 \alpha)}}{\sin 2\alpha (\sqrt{n_2^2 - \sin^2 \alpha} - \sqrt{n_1^2 - \sin^2 \alpha})}$$

$$11.5.12 \quad a = d \frac{\sin 2\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \approx 1,22 \text{ см}$$

$$11.5.13 \quad h = \frac{d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{\sin \alpha (\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \sqrt{1 - \sin^2 \alpha})} \approx 4,2 \text{ см}$$

$$11.5.14 \quad L = \frac{2h}{n} = 0,9 \text{ м}$$

$$11.5.15 \quad \alpha = \arcsin \left(n \frac{\sqrt{3}}{3} \right) = 60^\circ$$

$$11.5.16 \quad n = 2 \cos \alpha = \sqrt{3} \approx 1,73$$

$$11.5.17 \quad a_1 = \frac{a \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{n \cos \alpha} \approx 3,74 \text{ см}$$

$$11.5.18 \quad h = H/n$$

$$11.5.19 \quad h = n^2 H \left(\frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right)^3$$

$$11.5.20 \quad d = \frac{2h}{\sqrt{n^2 - 1}}$$

$$11.5.21 \quad t = 10 \text{ с}$$

$$11.5.22 \quad \alpha = \operatorname{arctg} n$$

$$11.5.23 \quad v = c \sin \alpha_{\text{пред}} \approx 2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$11.5.24 \quad \varphi = \arcsin(\sqrt{n^2 - 1}) = 60^\circ$$

$$11.5.25 \quad n = \sqrt{2}$$

$$11.5.26 \quad \text{Поток увеличится в } 8\ell/d^2 = 8 \cdot 10^4 \text{ раз}$$

$$11.5.27 \quad \alpha \leq \arcsin \left[n \sin \left(\varphi - \arcsin \frac{1}{n} \right) \right]$$

$$11.5.28 \quad \psi = \arcsin \left(\sin \varphi \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \varphi \sin \alpha \right);$$

$$\theta = \alpha - \varphi + \arcsin \left(\sin \varphi \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \varphi \sin \alpha \right)$$

$$11.5.29 \quad \varphi = \frac{a + d}{2L(n - 1)} = 3^\circ$$

$$11.5.30 \quad \ell = D \left| \frac{n_2}{\sqrt{2 - n_2^2}} - \frac{n_1}{\sqrt{2 - n_1^2}} \right| \approx 8,67 \text{ см}$$

$$11.5.31 \quad \sqrt{n^2 - 1} < \sin \alpha < 1; \quad 0,75 < \sin \alpha < 1; \quad 48^\circ 40' < \alpha < 90^\circ$$

$$11.5.32 \quad \alpha \leq 180^\circ - 2 \arcsin \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

$$11.5.33 \quad \alpha = \frac{5}{4}\pi - 2 \arcsin \left(\frac{n}{\sqrt{2}} \right)$$

$$11.5.34 \quad \Delta n = \frac{\varphi}{\alpha} = 0,6$$

$$11.5.35 \quad \alpha = 90^\circ$$

$$11.5.36 \quad L = \frac{d}{2\alpha(n-1)} \approx 50 \text{ см}$$

$$11.5.37 \quad \alpha > 2 \arcsin \left(\frac{1}{n} \right) = 60^\circ$$

$$11.5.38 \quad H_{\max} = Rn = 1,33 \text{ м}$$

$$11.5.39 \quad R = \ell(n-1)$$

$$11.5.40 \quad 2 \text{ см}$$

$$11.5.41 \quad \alpha = \arcsin \left(\frac{na}{R} \right) - \arcsin \left(\frac{a}{R} \right) = 15^\circ$$

$$11.5.42 \quad \alpha = \frac{\pi}{2} - \arcsin \left(\frac{1}{n} \right) = 45^\circ$$

$$11.5.43 \quad \gamma = 2\alpha - 2 \arcsin \left(\frac{1}{n} \sin \alpha \right) = 30^\circ$$

$$11.5.44 \quad n = \frac{\sin \alpha}{\sin \left(\alpha - \frac{\gamma}{2} \right)} = \sqrt{2}$$

$$11.5.45 \quad n > 2$$

$$11.5.46 \quad r = R \frac{n_2}{n_1} = 4 \text{ см}$$

$$11.5.47 \quad n = \frac{1}{2 \sin 15^\circ} = \frac{1}{\sqrt{2} - \sqrt{3}} \approx 1,93$$

$$11.5.48 \quad \varphi = 60^\circ$$

$$11.5.49 \quad n = \frac{1}{\sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}} \approx 1,15$$

$$11.5.50 \quad \ell = (L - H \operatorname{ctg} \varphi) \frac{\sqrt{1 - n^2 \cos^2 \varphi}}{n \cos \varphi}$$

$$11.5.51 \quad n > \sqrt{2}$$

$$11.5.52 \quad \ell = R \left(\frac{1}{\sqrt{n^2 - 1}} - \sqrt{n^2 - 1} \right)$$

$$11.5.53 \quad V = \frac{\pi a^2 b}{4} \cdot \frac{\sqrt{2n^2 - 1}}{\sqrt{2n^2 - 1} - 1} \approx 35,7 \text{ л}$$

$$11.5.54 \quad \sin \alpha > \sqrt{n^2 - 1} = 0,75$$

$$11.5.55 \quad \gamma = \frac{\pi}{2} - \arcsin \sqrt{n^2 - 1}$$

$$11.5.56 \quad n > \sqrt{2}$$

$$11.5.57 \quad \sin \alpha > \sin \beta \sqrt{n^2 - 1} - \cos \beta, \text{ т.е. } \sin \alpha > 0$$

$$11.5.58 \quad R = r + \frac{H}{\sqrt{n^2 - 1}} \approx 6,8 \text{ м}$$

$$11.5.59 \quad \beta = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{\pi}{2} + \varphi + \arcsin(n \sin \alpha) \right] \approx 80^\circ$$

$$11.5.60 \quad \Delta h \approx h \alpha^2 (n - 1) \approx 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ см}$$

$$11.5.61 \quad h = \frac{r}{(R - r)n} \sqrt{H^2 - (n^2 - 1)(R - r)^2} \approx 3,63 \text{ м}$$

11.5.69 Если речь идет о действительном изображении, то на бесконечности; если изображение мнимое, то $d = F/2$.

$$11.5.70 \quad f = \frac{Fd}{d - F} = -0,2 \text{ м; изображение мнимое; } H = h \frac{|f|}{|d|} = 0,08 \text{ м}$$

11.5.71 Двояковыпуклая линза может давать действительное и мнимое изображение: $d_1 = \frac{f}{Df - 1} = 0,5 \text{ м; } d_2 = \frac{f}{Df + 1} = \frac{1}{3} \text{ м}$

$$11.5.72 \quad x = 6 \text{ см}$$

$$11.5.73 \quad n = \frac{(D_1 - D_2)n_1n_2}{D_1n_1 - D_2n_2} = 1,55$$

$$11.5.74 \quad d_{\min} = 2F$$

$$11.5.75 \quad \beta = -\frac{4F^2}{4(a - F)^2 - \ell^2}, \quad \text{где } a > F + \frac{\ell}{2}$$

$$11.5.77 \quad \gamma = \frac{36}{35}$$

$$11.5.78 \quad d = \sqrt{L\ell}; \quad F = \sqrt{L\ell} - \ell$$

$$11.5.79 \quad F = \frac{L^2 - \ell^2}{4L}; \quad F = 24 \text{ см}$$

$$11.5.80 \quad F = \frac{2L}{9} = 20 \text{ см}$$

$$11.5.81 \quad 8 \text{ см}$$

$$11.5.82 \quad h = \sqrt{H_1H_2}$$

$$11.5.83 \quad h \geq \frac{H}{F}\delta = 10 \text{ м}; \quad \tau \leq \frac{H\delta}{F\sqrt{gR}} \approx 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

$$11.5.84 \quad H = 400 \text{ м}; \quad v = 180 \text{ км/ч}$$

$$11.5.85 \quad \beta = \arctg \left(\frac{a}{f} + \operatorname{tg} \alpha \right)$$

$$11.5.86 \quad \beta = \arctg \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{a}{|f|} \right) = \arctg \left(\operatorname{tg} \alpha + \frac{a}{f} \right)$$

$$11.5.87 \quad \beta = \arctg \left(\frac{a}{f} + \left(1 - \frac{\ell}{f} \right) \operatorname{tg} \alpha \right)$$

$$11.5.88 \quad \beta = \arctg \left[\left(1 + \frac{\ell}{|f|} \right) \operatorname{tg} \alpha - \frac{a}{|f|} \right] = \arctg \left[\left(1 - \frac{\ell}{f} \right) \operatorname{tg} \alpha + \frac{a}{|f|} \right]$$

$$11.5.89 \quad d = \frac{L}{2} - \sqrt{\frac{L^2}{4} - LF} = 0,5 \text{ м}$$

$$11.5.90 \quad F = \frac{n\Delta\ell}{n^2 - 1} = \frac{32}{9} \text{ см}$$

$$11.5.91 \quad F = \sqrt{\ell_1\ell_2} = 0,6 \text{ м}$$

$$11.5.92 \quad d = \frac{|F|}{2}$$

$$11.5.93 \quad \ell = f \cdot \frac{(m+1)^2}{m} = 90 \text{ см}$$

$$11.5.94 \quad f = \frac{\ell m}{(m+1)^2} = 15 \text{ см}$$

$$11.5.95 \quad m_{1,2} = \frac{\ell}{2f} - 1 \pm \sqrt{\left(\frac{\ell}{2f}\right)^2 - \frac{\ell}{f}}; \quad m_1 = 3; \quad m_2 = \frac{1}{3}$$

$$11.5.96 \quad \ell = \sqrt{\ell_1\ell_2} = 4 \text{ см}$$

$$11.5.97 \quad x(t) = f + \frac{f^2}{vt}; \quad y(t) = \frac{af}{vt}$$

$$11.5.98 \quad \alpha = \frac{(m_2+1)^2 m_1}{(m_1+1)^2 m_2} \approx 1,19$$

$$11.5.99 \quad n = \frac{d-F}{F} = 4$$

$$11.5.100 \quad x(t) = f + \frac{f^2}{vt \cos \alpha}; \quad y(t) = f \operatorname{tg} \alpha$$

$$11.5.101 \quad \ell = F \sqrt{F^2 + d^2} \left(\frac{1}{a-F} - \frac{1}{b-F} \right)$$

$$11.5.102 \quad \ell = \frac{F^2}{\cos \alpha} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)$$

$$11.5.103 \quad b = \frac{L}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4F}{L}} \right) = 56 \text{ см}$$

$$11.5.104 \quad F = \sqrt{ab \cos \alpha} = 5 \text{ см}$$

$$11.5.105 \quad d = f\sqrt{k^2 - 1} = f\sqrt{3} \approx 5,2 \text{ см}$$

$$11.5.106 \quad F = \frac{abc}{(b-a)^2} = 90 \text{ см}$$

$$11.5.107 \quad |F| = \frac{abc}{(a-b)^2} = 60 \text{ см, линза рассеивающая}$$

$$11.5.108 \quad F = \frac{abc}{(a+b)^2} \approx 8,9 \text{ см}$$

$$11.5.109 \quad H = h(M+1) = 5 \text{ мм}$$

$$11.5.110 \quad \ell = \frac{f}{a \cos \alpha} \sqrt{f^2 + a^2 \sin^2 \alpha} = 10\sqrt{7} \text{ см} \approx 24,6 \text{ см}$$

$$11.5.111 \quad H = \frac{hL}{f} = 5 \text{ мм}$$

$$11.5.112 \quad x = \frac{a\Delta}{f} = 10 \text{ мм}$$

$$11.5.113 \quad x = \frac{4F(1 - \cos \alpha)}{2 \cos \alpha - 1} = \frac{2 - \sqrt{3}}{\sqrt{3} - 1} \cdot F \approx 51,3 \text{ см}$$

$$11.5.114 \quad d = D \left(1 + \frac{\ell\Delta}{f(f-\Delta)} \right) = 10 \text{ см}$$

$$11.5.115 \quad \ell > 2f \left(1 + \frac{f}{\Delta} \right) = 60 \text{ см}$$

$$11.5.116 \quad r = R \left(\frac{b}{f} - \frac{b}{a} - 1 \right) = 1 \text{ см}$$

$$11.5.117 \quad a = \frac{(2b-d)f}{2b-d-2f} = 30 \text{ см}$$

$$11.5.118 \quad |f| = \frac{2(\ell_1 + \ell_2)\ell_1\ell_2}{(\ell_1 - \ell_2)^2} = 120 \text{ см}$$

11.5.119

11.5.120

$$11.5.121 \quad D = \frac{2Lr}{F} + d = 2,6 \text{ м}$$

$$11.5.122 \quad D = \sum_i D_i$$

$$11.5.124 \quad b = F_1 + F_2$$

$$11.5.125 \quad b = |F_1| - |F_2|$$

$$11.5.126 \quad L = 4F$$

$$11.5.127 \quad D = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2}$$

11.5.128 Действительное изображение будет находиться справа от второй линзы на расстоянии $F/3$, увеличение $r = 2/3$

11.5.129 Действительное изображение источника будет находиться на расстоянии $f_2 = 30$ см справа от рассеивающей линзы

$$11.5.130 \quad f = \frac{|f_1|f_2}{|f_1| - f_2} = \frac{f_1f_2}{f_1 + f_2} = 1,5 \text{ м}$$

$$11.5.131 \quad f = \frac{(f_1 - L)|f_2|}{|f_2| - f_1 + L} = \frac{(f_1 - L)f_2}{f_1 + f_2 - L}$$

$$11.5.132 \quad b = 2f - a$$

$$11.5.133 \quad b = 2f + \frac{f^2}{a} = 25 \text{ см}$$

$$11.5.134 \quad M = \frac{b}{f} = 1,5$$

11.5.135 На расстоянии $F/2$ слева от плоскости линзы

$$11.5.136 \quad D = -8/3 \text{ дптр}$$

$$11.5.137 \quad \Delta D = 4 \text{ дптр}$$

11.5.138 11 и 20 см от глаз

11.5.139 $k + 1$, предмет нужно разместить ближе к лупе, чтобы мнимое изображение предмета располагалось на расстоянии наилучшего зрения

$$\mathbf{11.5.140} \quad D = \frac{\delta(d-f)^2}{df(df+f\delta-d\delta)} \approx 5 \text{ дптр}$$

11.5.141 $\delta = \frac{fd}{d-|D|fd-f} - \frac{fd}{d-f} \approx 2,2 \text{ мм}$, изображение смещено в сторону хрусталика

$$\mathbf{11.5.142} \quad D = \frac{F_2 d}{F_1} = 3 \text{ см}$$

$$\mathbf{11.5.143} \quad r = \frac{|F_2|R}{F_1} = 0,25 \text{ см}$$

$$\mathbf{11.5.144} \quad x = L - F = 5 \text{ см}$$

11.5.145 $F = \frac{R}{2n}$, где n — показатель преломления воды

$$\mathbf{11.6.13} \quad T = \frac{2hc}{3k\lambda} \approx 10^8 \text{ К}$$

$$\mathbf{11.6.14} \quad r = \sqrt{\frac{P\lambda}{4\pi n h c^2}}$$

$$\mathbf{11.6.15} \quad R = \frac{d}{4} \sqrt{\frac{P\lambda}{hcn}} = 0,8 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$$\mathbf{11.6.16} \quad p = \frac{4}{\pi d^2} (1 + \rho) \frac{E}{\tau c} = 5 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

$$\mathbf{11.6.17} \quad F = \frac{2PS \cos \alpha}{c} = 4,7 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$$

$$\mathbf{11.6.18} \quad \varphi = \frac{hc/\lambda - A_{\text{ВЫХ}}}{|e|} = 0,75 \text{ В}$$

$$\mathbf{11.6.19} \quad A_{\text{ВЫХ}} = hc \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) = 0,6 \text{ эВ}$$

$$\mathbf{11.6.20} \quad \ell = \frac{hc}{E|e|} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right) = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$11.6.21 \quad D = d + 4L\sqrt{\frac{hc/\lambda - A}{eU}} = 1,4 \text{ мм}$$

$$11.6.22 \quad \lambda_1 = 1,25 \text{ \AA}; \quad \lambda_2 = 2,39 \cdot 10^{-24} \text{ \AA}$$

$$11.6.23 \quad \text{а) } p = 6,6 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \text{м/с}; \quad W = 1,24 \cdot 10^4 \text{ эВ}$$

$$\text{б) } p = 6,6 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \text{м/с}; \quad W = 1,51 \cdot 10^2 \text{ эВ}$$

$$11.6.24 \quad N = N_0 \cdot 2^{-t/\tau}$$

$$11.6.25 \quad 1,41$$

$$11.6.26 \quad N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

$$11.6.27 \quad T = -\frac{\tau}{\log_2 \left(1 - \frac{c\mu\Delta t}{N_A m W} \right)} = 5738 \text{ с}$$

$$11.6.28 \quad E = \frac{Qhc}{\lambda|e|} \approx 7 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$$

$$11.6.29 \quad I = \frac{W\lambda|e|}{hc} = 0,5 \text{ мА}$$

$$11.6.30 \quad N = \frac{\eta}{100\%} \cdot \frac{P\tau\lambda}{hc} \approx 7,1 \cdot 10^{19}$$

$$11.6.31 \quad Q = \frac{C_0}{|e|} \left(\frac{hc}{\lambda} - A \right) \approx 1,2 \cdot 10^{-11} \text{ Кл}$$

$$11.6.32 \quad N_{\max} = \frac{4\pi\varepsilon_0 hrc}{e^2 \lambda_1 \lambda_2} (\lambda_1 - \lambda_2) \approx 4,3 \cdot 10^6$$

$$11.6.33 \quad \lambda_{\max} = \frac{hc}{hc/\lambda - |e|U} \approx 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$11.6.34 \quad \lambda_{\max} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 U_1 - \lambda_2 U_2} (U_1 - U_2) \approx 0,65 \text{ мкм}$$

$$11.6.35 \quad \approx 6 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$$

$$11.6.36 \quad N = 2 \cdot 10^{20}$$

$$11.6.37 \quad \nu_{24} \approx 4,3 \cdot 10^{14}$$

$$11.6.38 \quad \beta = 4$$

$$11.6.39 \quad p_{\max} \approx 6 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$$

$$11.6.40 \quad N \approx 500$$

$$11.6.41 \quad v_{\max} \approx 1,65 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

$$11.6.42 \quad \nu \approx 4 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$$

$$11.6.43 \quad A_{\text{ВЫХ}} = 2 \text{ эВ}$$

$$11.6.44 \quad E_{\text{к}} = 15,9 \text{ эВ}$$

$$11.6.45 \quad \nu = 10^{15} \text{ Гц}$$

$$11.6.46 \quad \nu = 10^{15} \text{ Гц}$$

$$11.6.47 \quad S = 5,5 \cdot 10^4 \text{ м}^2$$

$$11.6.48 \quad B = \frac{1}{2er} \cdot \sqrt{\frac{2m_{\alpha}\Delta E}{1 + \frac{m_{\alpha}}{M}}}$$

$$11.6.49 \quad \approx 23 \text{ МИН}$$

$$11.6.50 \quad 2,3 \cdot 10^{-19}$$

$$11.6.51 \quad p = 3,6 \cdot 10^{-20} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$$

$$11.6.52 \quad V \approx 1,43 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

$$11.6.53 \quad V \approx 10^{-19} \text{ м/с}$$

$$11.6.54 \quad \lambda = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$11.6.55 \quad V_0 \approx 1 \text{ см}^3$$

$$11.6.56 \quad m \approx 1,4 \text{ кг}$$

$$11.6.57 \quad E < 300 \text{ В/м}$$

11.6.58 $m \approx 1,2 \text{ г}$

11.6.59 $\approx 1 \text{ мин}$

11.6.60 5 МэВ

11.6.61 $E \approx 4,2 \cdot 10^{14} \text{ Дж}$

11.6.62 $m \approx 3,2 \text{ кг}$

11.6.63 $\approx 18,63 \text{ МэВ}$

11.6.64 $m \approx 10^3 \text{ кг}; \Delta m \approx 0,92 \text{ кг}$

11.6.65 $q_{\text{ядра}} = \frac{mv^2r}{4k|e|} = 4 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}$

11.6.66 $\lambda \approx 1,24 \cdot 10^{-14} \text{ м}$

11.6.67 $A_{\text{ВЫХ}} = 2,8 \text{ эВ}$

11.6.68 $n = \frac{p\lambda}{hc} \approx 1,3 \cdot 10^{-13} \text{ м}^{-3}$

11.6.69 $\lambda = 330 \text{ нм}$

11.6.70 $\nu = 4,1 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$

11.6.71 $n_{\text{min}} = 3$

11.6.72 $P = \frac{50I_{\text{H}}hc}{|e|\lambda}$

11.6.73 $E = \frac{E_{\text{Ф}}^2}{2mc^2} \approx 8,81 \cdot 10^{-27} \text{ Дж}$

11.6.74 $\sin \alpha \approx 0,77$

11.6.75 $r = \sqrt{\frac{P\lambda}{4\pi hc^2 n}} \approx 2 \text{ м}$

11.6.76 $C \approx 2,7 \text{ кВт/м}^2$

$$11.6.77 \quad v \approx \sqrt{\frac{2(h\nu - E_{\text{ион}})}{m}} \approx 7,6 \cdot 10^5 \text{ м/с}$$

$$11.6.78 \quad \text{На } 5 \cdot 10^{-10} \% \text{ или на } 1 \text{ с за } 10\,000 \text{ лет}$$

$$11.6.79 \quad \ell_0 = c\sqrt{(\Delta t')^2 - (\Delta t)^2}$$

$$11.6.80 \quad 0,2 \text{ м}$$

$$11.6.81 \quad v = \frac{2\ell_0}{\Delta t (1 + \ell_0/c\Delta t)^2}$$

$$11.6.82 \quad \ell_0 = \ell \sqrt{\frac{1 - \beta^2 \sin^2 \alpha}{1 - \beta^2}}$$

$$11.6.83 \quad p = \ell_0 \left(1 + \sqrt{4 + \frac{3u^2}{c^2}} \right)$$

$$11.6.84 \quad v' = 0,5c$$

$$11.6.85 \quad v = c\sqrt{1 - \left(\frac{m_0c^2}{m_0c^2 + W_K} \right)^2}; \quad p = \frac{1}{c}\sqrt{W_K(W_K + 2m_0c^2)}$$

$$11.6.86 \quad v \approx 2,9 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$11.6.87 \quad v = 2,75 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$11.6.88 \quad v_{\text{max}} = 2,6 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$11.6.89 \quad \lambda = \frac{h}{m_0c} \cdot \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{1 - \sqrt{1 - \beta^2}} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ м}$$

$$11.6.90 \quad p = \frac{1}{c}\sqrt{W_K(W_K + 2m_0c^2)}; \quad W_{K1} = (W_K + 2m_0c^2) - c\sqrt{2m_0(W_K + 2m_0c^2)};$$

$$v_1 = c\sqrt{\frac{W_K}{W_K + 2m_0c^2}}; \quad M_0 = \frac{1}{c}\sqrt{2m_0(W_K + 2m_0c^2)}$$