

П. И. Самойленко

**СБОРНИК ЗАДАЧ
по ФИЗИКЕ
С РЕШЕНИЯМИ**

для техникумов

Москва
«ОНИКС 21 век»
«Мир и Образование»
2003

УДК 53(075.32)
ББК 22.3
С17

Самойленко П. И.

С17 Сборник задач по физике с решениями для техникумов / П. И. Самойленко. — М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 256 с.: ил.

ISBN 5-329-00831-X (ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»)
ISBN 5-94666-096-9 (ООО «Издательство «Мир и Образование»)

В сборник включены задачи по всем разделам курса физики, изучаемого в средних профессиональных учебных заведениях.

В первой части пособия предлагаются решения типовых задач и примеры записи решений. Это поможет учащимся развить самостоятельный навык в решении задач по физике.

Вторая часть содержит задачи для самостоятельного решения и ответы к ним. Эти задачи могут применяться для подготовки и проведения контрольных работ, а также при повторении пройденного материала.

Сборник может быть полезен учащимся средних школ, лицеев и гимназий.

УДК 53(075.32)
ББК 22.3

ISBN 5-329-00831-X
(ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»)
ISBN 5-94666-096-9
(ООО «Издательство «Мир и Образование»)

© Самойленко П. И., 2003
© ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век».
Оформление переплета, 2003

Предисловие

Пособие содержит задачи по всем разделам курса физики, изучаемого в средних профессиональных учебных заведениях. Они подобраны по тематическому принципу, что позволяет применять их на занятиях, которые непосредственно следуют после изучения соответствующих учебных тем.

Важным этапом процесса обучения является проверка знаний учащихся. Она позволяет осуществлять обратную связь между преподавателем и учащимися, дает конкретный материал для анализа полноты и качества их знаний. Проверая и анализируя знания учащихся, преподаватель имеет возможность судить о завершенности или незавершенности процесса обучения по отдельным разделам учебной программы.

Наиболее эффективным методом оперативного контроля является самостоятельная работа учащихся. Учитывая большое образовательное и воспитательное значение физических задач, без которых невозможно сознательное усвоение физических понятий, процессов и законов, необходимо постоянно обучать учащихся умению их решать и контролировать это умение.

В сборнике даны расчетные, графические и качественные задачи. Большинство расчетных задач предназначено для проверки правильности понимания учащимися физических законов и их математических выражений, устанавливающих функциональные зависимости между физическими величинами. При решении качественных задач учащиеся должны прибегать к исследованию физических процессов и давать мотивированные ответы.

Пособие состоит из двух частей.

В первой части предлагаются решения типовых задач и примеры записи решений. Учащиеся, приступив к решению, записывают исходные (заданные и табличные) и искомые (неизвестные) величины; затем решают задачу в общем виде и находят числовые значения искомых величин, выражая их в единицах СИ.

Вторая часть содержит задачи для самостоятельного решения и ответы к ним. Эти задачи могут применяться для письменного контроля знаний, при завершении изучения раздела учебной программы, для выдачи домашних заданий всей группе или отдельным учащимся, для проверки навыков решения задач в период подготовки к экзаменам в техникуме или училище, а также при подготовке к вступительным экзаменам в вузы.

Глубокое знание физики, умение решать физические задачи необходимы при изучении специальных дисциплин в техникумах, колледжах, лицеях.



Часть I.

ЗАДАЧИ СРЕШЕНИЯМИ

Основы механики

1. Равномерное движение

1.1. Первую половину пути турист шел пешком со скоростью 5 км/ч, а вторую половину пути проехал на велосипеде со скоростью 20 км/ч. С какой средней скоростью двигался турист на протяжении всего пути?

Дано:

$$v_1 = 5 \text{ км/ч},$$

$$v_2 = 20 \text{ км/ч},$$

$$s_1 = s_2 = \frac{s}{2}.$$

Найти

$$v_{\text{ср}}.$$

Решение.

Обозначим весь путь через s . Средняя скорость переменного движения равна отношению всего пути ко вре-

мени движения, т. е. $v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}$. Время

движения туриста складывается из времени пешего перехода (t_1) и времени езды на велосипеде (t_2). Вычисляем:

$$t_1 = \frac{s}{v_1}; t_2 = \frac{s}{v_2}; v_{\text{ср}} = \frac{s}{t_1 + t_2} = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2};$$

$$v_{\text{ср}} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 20}{5 + 20} \text{ км/ч} = 8 \text{ км/ч}.$$

Ответ: 8 км/ч.

1.2. Пешеход выходит из пункта A и идет со скоростью 4 км/ч. Спустя 30 мин из этого же пункта выезжает велосипедист со скоростью 12 км/ч. Определить, на каком расстоянии от пункта A и через какой промежуток времени после выхода пешехода велосипедист его догонит.

Дано: $v_1 = 4 \text{ км/ч};$ $v_2 = 12 \text{ км/ч};$ $t_1 = \frac{1}{2} \text{ ч.}$	Решение. Путь, пройденный пешеходом до встречи, $l_1 = v_1 t.$
Найти: $t_{\text{встр}}; l_{\text{встр}}.$	Велосипедист выезжает позже, поэтому едет до встречи в течение времени $t_2 = t_{\text{встр}} - t_1.$

Следовательно, путь, который проезжает велосипедист до встречи,

$$l_2 = v_2(t_{\text{встр}} - t_1).$$

В момент встречи

$$l_1 = l_2, \quad v_1 t_{\text{встр}} = v_2(t_{\text{встр}} - t_1),$$

откуда находим

$$t_{\text{встр}} = \frac{v_2 t_1}{v_2 - v_1}; \quad l_1 = l_{\text{встр}} = \frac{v_1 v_2 t_1}{v_2 - v_1}.$$

Вычисляем:

$$t_{\text{встр}} = \frac{12 \cdot 0,5}{8} \text{ с} = 0,75 \text{ с}; \quad l_{\text{встр}} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 0,5}{8} \text{ км} = 3 \text{ км}.$$

Ответ: $t_{\text{встр}} = 0,75 \text{ с}; \quad l_{\text{встр}} = 3 \text{ км}.$

1.3. Эскалатор метро поднимает неподвижно стоящего на нем пассажира в течение 1 мин. По неподвижному эскалатору пассажир поднимается за 3 мин. За какое время поднимается идущий вверх пассажир по движущемуся эскалатору?

Дано: $t_1 = 1$ мин; $t_2 = 3$ мин.	Решение. Обозначим буквой s длину эскалатора. Тогда скорость его движения
Найти t .	$v_э = s/t_1,$ а скорость пассажира
	$v_п = s/t_2.$

Следовательно, скорость пассажира, идущего по движущемуся эскалатору в том же направлении, равна

$$v_{п+э} = \frac{s}{t_1} + \frac{s}{t_2} = s \left(1 + \frac{1}{3} \right) (1/\text{мин}),$$

а время подъема

$$t = \frac{s}{v_{п+э}} = \frac{3}{4} \text{ мин} = 45 \text{ с.}$$

Ответ: $t = 45$ с.

1.4. В течение какого времени пассажир, сидящий у окна поезда, идущего со скоростью 72 км/ч, будет видеть проходящий мимо него встречный поезд, идущий со скоростью 36 км/ч и имеющий длину $l = 150$ м?

Дано: $v_1 = 72$ км/ч = = 20 м/с, $v_2 = 36$ км/ч = = 10 м/с, $l = 150$ м.	Решение. Промежуток времени, в течение которого пассажир будет видеть поезд, равен $t = \frac{l}{v'}$, где v' — скорость встречного поезда относительно пассажира. Из закона сложения скоростей следует, что
Найти t .	

$$v' = v_1 + v_2,$$

откуда находим

$$t = \frac{l}{v_1 + v_2}, \quad t = \frac{150}{20 + 10} \text{ с} = 5 \text{ с.}$$

Ответ: $t = 5$ с.

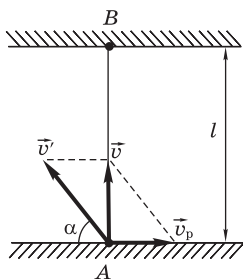


Рис. 1

1.5. Лодочник перевозит пассажиров с одного берега на другой за 10 мин по траектории AB (рис. 1). Скорость течения реки 0,3 м/с, ширина реки 240 м. С какой скоростью относительно воды и под каким углом к берегу должна двигаться лодка, чтобы достичь другого берега за указанное время?

Дано:

$$v_p = 0,3 \text{ м/с}, \\ l = 240 \text{ м}, \\ t = 10 \text{ мин} = \\ = 600 \text{ с}.$$

Найти:

$$v'; \alpha.$$

Решение.

Относительно берега (неподвижной системы отсчета) скорость лодки равна $v = \frac{l}{t}$.

Эта скорость является суммой двух скоростей: скорости лодки относительно воды v' (скорости относительно подвижной системы отсчета)

и скорости реки v_p (скорости подвижной системы отсчета относительно неподвижной), т. е.

$$v = v' + v_p.$$

Так как по условию задачи скорость лодки относительно берега направлена вдоль AB , то скорость лодки относительно воды

$$v' = \sqrt{v^2 + v_p^2}; \quad v' = 0,5 \text{ м/с}.$$

Искомый угол находим из выражения:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{v_p t}, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{240}{0,3 \cdot 600} = \frac{4}{3}, \quad \alpha = 53^\circ.$$

Ответ: $v' = 0,5 \text{ м/с}$, $\alpha = 53^\circ$.

1.6. Две лодки движутся навстречу друг другу: первая – по течению реки, вторая — против. Скорости лодок относительно воды 4 м/с и 6 м/с, скорость течения реки 2 м/с. Определить скорости лодок относительно берега и относительно друг друга.

Дано:	Решение.
$v'_1 = 4 \text{ м/с},$	Скорость лодки относительно берега (неподвижной системы отсчета) равна
$v'_2 = 6 \text{ м/с},$	
$v_p = 2 \text{ м/с}.$	
Найти:	
$v_1; v_2; v_{\text{отн}}.$	откуда

$$v = v_p + v'_p,$$

$$v_1 = v'_1 + v_p, v_2 = -v'_2 + v_p.$$

Относительная скорость лодок

$$v_{\text{отн}} = v_1 - v_2.$$

Вычисляя, находим

$$v_1 = 6 \text{ м/с}; v_2 = -4 \text{ м/с}; v_{\text{отн}} = 10 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v_1 = 6 \text{ м/с}; v_2 = -4 \text{ м/с}; v_{\text{отн}} = 10 \text{ м/с}.$

2. Равнопеременное движение

2.1. Скорость электропоезда возросла с 18 км/ч до 108 км/ч на пути 875 м. Определить ускорение движения поезда и время ускорения, считая движение равноускоренным.

Дано:	Решение.
$v_1 = 18 \text{ км/ч} =$	Используя формулы ускорения при равноускоренном движении, находим
$= 5 \text{ м/с};$	
$v_2 = 108 \text{ км/ч} =$	
$= 30 \text{ м/с};$	
$s = 875 \text{ м}.$	
Найти:	
$a; t.$	

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2s};$$

$$a = \frac{900 - 25}{1750} \text{ м/с}^2 = 0,5 \text{ м/с}^2;$$

$$t = \frac{v_2 - v_1}{a}; t = \frac{30 - 5}{0,5} \text{ с} = 50 \text{ с}.$$

Ответ: $a = 0,5 \text{ м/с}^2, t = 50 \text{ с}.$

2.2. Построить график пути переменного движения, если тело начало двигаться из состояния покоя и прошло 6 м за первые 4 с, следующие 3 с находилось в покое и, наконец, прошло еще 8 м за последние 3 с. Найти по графику среднюю скорость движения тела за 10 с.

Дано:

$$s_1 = 6 \text{ м};$$

$$t_1 = 4 \text{ с};$$

$$s_2 = 0;$$

$$t_2 = 3 \text{ с};$$

$$s_3 = 8 \text{ м};$$

$$t_3 = 3 \text{ с}.$$

Найти

$$v_{\text{ср}}.$$

Решение.

Принимаем ось абсцисс за ось времени t , ось ординат — за ось пути s .

Для построения графика пути (рис. 2) находим точки по их координатам: $O(0; 0)$, $A(4; 6)$, $B(7; 6)$ и $C(10; 14)$ и соединяем эти точки отрезками прямых.

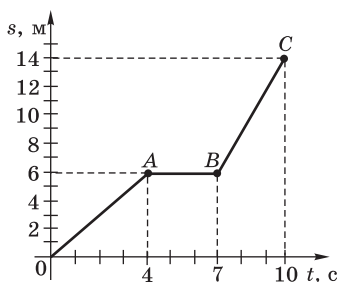


Рис. 2

Средняя скорость движения тела за время

$$t_1 + t_2 + t_3 = 10 \text{ с}$$

равна

$$v_{\text{ср}} = \frac{14 \text{ м}}{10 \text{ с}} = 1,4 \text{ м/с}.$$

Ответ: 1,4 м/с.

2.3. За время торможения 5 с скорость автомобиля уменьшилась с 72 км/ч до 36 км/ч. Определить ускорение автомобиля при торможении и длину пути торможения.

Дано: $v_0 = 72 \text{ км/ч} =$ $= 20 \text{ м/с};$ $v_1 = 36 \text{ км/ч} =$ $= 10 \text{ м/с};$ $t = 5 \text{ с}.$	Решение. Используя формулы ускорения и пути при равноускоренном движении, находим $a = \frac{v_1 - v_0}{t};$ $a = \frac{10 - 20}{5} \text{ м/с}^2 = -2 \text{ м/с}^2;$ $s = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2a}; \quad s = \frac{100 - 400}{-4} \text{ м} = 75 \text{ м}.$
Найти: $a; s.$	Ответ: $a = -2 \text{ м/с}^2; s = 75 \text{ м}.$

2.4. Дано уравнение движения тела $s = 12t - t^2$ (м).
 Определить скорость тела в конце пятой секунды движения ($t = 5 \text{ с}$).

Дано: $s = 12t - t^2;$ $t = 5 \text{ с}.$	Решение. Из уравнения движения находим, что $v_0 = 12 \text{ м/с}$; ускорение равно $a = -2 \text{ м/с}^2$. Из уравнения скорости движения $v_t = v_0 + at$ имеем $v_t = 12 - 2t.$
Найти $v_t.$	

Отсюда при $t = 5 \text{ с}$ мгновенная скорость

$$v_t = 12 - 10 = 2 \text{ (м/с)}.$$

Ответ: $v_t = 2 \text{ м/с}.$

2.5. Автомобиль, движущийся со скоростью $28,8 \text{ км/ч}$, при торможении останавливается в течение 4 с . Считая движение автомобиля равнопеременным, найти уравнение мгновенной скорости, построить график скорости и по графику определить скорость автомобиля в конце третьей секунды от начала отсчета времени. Написать уравнение движения автомобиля.

Дано:

$$v_0 = 8 \text{ м/с};$$

$$v_t = 0;$$

$$t = 4 \text{ с.}$$

Найти

$$v_3.$$

Решение.

Из условия задачи следует, что $v_0 = 8 \text{ м/с}$, $v_t = 0$ и $t = 4 \text{ с}$. Найдем ускорение автомобиля при торможении:

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{0 - 8}{4} \text{ м/с}^2 = -2 \text{ м/с}^2.$$

Запишем уравнение мгновенной скорости движения автомобиля:

$$v = 8 - 2t.$$

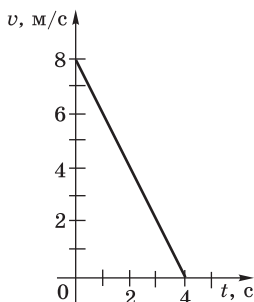


Рис. 3

Пользуясь уравнением скорости, найдем координаты двух произвольных точек (например, при $t = 0$ $v = 8$; при $t = 4 \text{ с}$ $v = 0$) и по найденным точкам построим прямую, которая является графиком скорости равнопеременного движения (рис. 3). Из графика следует, что скорость автомобиля в конце третьей секунды $v_3 = 2 \text{ м/с}$. Уравнение движения автомобиля:

$$s = 8t - t^2.$$

Ответ: $v_3 = 2 \text{ м/с}$, $s = 8t - t^2$.

2.6. Через сколько секунд от начала отсчета времени тело остановится, если уравнение движения тела $s = 40t - 0,1t^2$ (м)?

Дано:

$$s = 40t - 0,1t^2;$$

$$v_t = 0.$$

Найти

$$t.$$

Решение.

Тело остановится, если скорость его окажется равной нулю. Из уравнения движения найдем начальную скорость и ускорение: $v_0 = 40 \text{ м/с}$, $a = -0,2 \text{ м/с}^2$. Запишем уравнение скорости: $v = 40 - 0,2t$. Положим $v = 0$ и решим уравнение относительно t : $0,2t = 40$; $t = 200 \text{ с}$. Через 200 с тело остановится.

Ответ: $t = 200 \text{ с}$.

3. Свободное падение

3.1. В свободно падающей кабине свободно падает шарик. С каким ускорением падает шарик относительно кабины? относительно поверхности Земли?

Решение. Относительно кабины шарик падает с нулевым ускорением, так как при одинаковых физических условиях в случае свободного падения все тела имеют одинаковое ускорение. Шарик и кабина падают с ускорениями, равными $9,8 \text{ м/с}^2$, и разность ускорений равна нулю. Относительно поверхности Земли шарик падает с ускорением $9,8 \text{ м/с}^2$.

3.2. Какую начальную скорость надо сообщить ракете, расположенной на поверхности Луны, чтобы она при вертикальном подъеме удалилась от Луны на 200 км ? Ускорение свободного падения на Луне $1,6 \text{ м/с}^2$.

Дано: $H = 200 \text{ км} =$ $= 200\,000 \text{ м};$ $g_{\text{Л}} = 1,6 \text{ м/с}^2.$	Решение. Из формулы $v_0 = \sqrt{2g_{\text{Л}}H}$ находим $v_0 = \sqrt{2 \cdot 1,6 \cdot 200\,000} \text{ м/с} = 800 \text{ м/с}.$
Найти $v_0.$	

Ответ: $v_0 = 800 \text{ м/с}.$

3.3. С высоты 80 м над поверхностью Луны тело свободно падает в течение 10 с . Определить ускорение свободного падения на Луне.

Дано: $H = 80 \text{ м};$ $t = 10 \text{ с}.$	Решение. Высота, с которой свободно падает тело, вычисляется по формуле $H = \frac{g_{\text{Л}} t^2}{2},$ откуда
Найти $g_{\text{Л}}.$	

$$g_{\text{Л}} = \frac{2H}{t^2}, \quad g_{\text{Л}} = \frac{2 \cdot 80}{100} \text{ м/с}^2 = 1,6 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $g_{\text{Л}} = 1,6 \text{ м/с}^2.$

4. Кинематика вращательного движения

4.1. Ведущее колесо электровоза диаметром 1,2 м делает 300 об/мин. С какой скоростью движется поезд, ведомый электровозом?

Дано: $D = 1,2 \text{ м};$ $f = 300 \text{ об/мин} = 5 \text{ с}^{-1}.$	Решение. Согласно формуле скорости вращательного движения находим
Найти $v.$	$v = 2\pi Rf = \pi Df;$ $v = 3,14 \cdot 1,2 \text{ м} \cdot 5 \text{ с}^{-1} =$ $= 18,9 \text{ м/с}.$

Ответ: $v = 18,9 \text{ м/с}.$

4.2. Искусственный спутник совершает облет Земли по круговой орбите за 1 ч 30 мин. С какой угловой скоростью движется спутник?

Дано: $T = 5400 \text{ с}.$	Решение. Из формулы периода вращения
Найти $\omega.$	$T = \frac{2\pi}{\omega}$ находим
$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2}{5400} \frac{\text{рад}}{\text{с}} \approx 0,0012 \text{ рад/с}.$	

Ответ: $\omega \approx 0,0012 \text{ рад/с}.$

4.3. Шкив электромотора диаметром 0,2 м делает 12 000 оборотов за 10 мин. Определить период и частоту вращения, линейную и угловую скорости точек, лежащих на ободе шкива.

Дано: $R = 0,1 \text{ м};$ $n = 12\,000;$ $t = 600 \text{ с}.$	Решение. Запишем формулы, описывающие движение точек (тела) по окружности:
Найти: $T; f; v; \omega.$	$T = \frac{t}{n}$ и $f = \frac{n}{t}$ — период и частота вращения, $v = 2\pi Rf$ и $\omega = 2\pi f$ — линейная и угловая скорости.

Находим:

$$T = \frac{600 \text{ с}}{12\,000} = 0,05 \text{ с}; f = \frac{12\,000}{600 \text{ с}} = 20 \text{ с}^{-1};$$

$$v = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \text{ м} \cdot 20 \text{ с}^{-1} = 12,56 \text{ м/с};$$

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 20 \text{ с}^{-1} = 125,6 \text{ рад/с}.$$

Ответ: $T = 0,05 \text{ с}; f = 20 \text{ с}^{-1}; v = 12,56 \text{ м/с}; \varphi = 125,6 \text{ рад/с}.$

4.4. Угол поворота колеса радиусом 20 см изменяется по закону $\varphi = 3t$ (рад). Найти угловую и линейную скорости вращения окружности колеса.

Дано: $R = 0,2 \text{ м};$ $\varphi = 3t \text{ рад}.$	Решение. Воспользуемся формулами угловой и линейной скоростей вращения:
Найти: $\omega; v.$	$\omega = \frac{\varphi}{t} \text{ и } v = \omega R.$
Находим	

$$\omega = \frac{3t \text{ рад}}{t \text{ с}} = 3 \text{ рад/с} = 3 \text{ с}^{-1};$$

$$v = 3 \text{ с}^{-1} \cdot 0,2 \text{ м} = 0,6 \text{ м/с}.$$

Ответ: $\omega = 3 \text{ с}^{-1}; v = 0,6 \text{ м/с}.$

4.5. Определить орбитальную скорость движения Земли вокруг Солнца, если Земля удалена от Солнца на расстояние $15 \cdot 10^{10} \text{ м}$, а продолжительность года на Земле $3,14 \cdot 10^7 \text{ с}$.

Дано: $R = 15 \cdot 10^{10} \text{ м},$ $T = 3,14 \cdot 10^7 \text{ с}.$	Решение. Орбитальную скорость находим по формуле $v = \frac{2\pi R}{T}$, где T — период вращения Земли вокруг Солнца;
Найти $v.$	

$$v = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 15 \cdot 10^{10} \text{ м}}{3,14 \cdot 10^7 \text{ с}} = 30\,000 \text{ м/с},$$

$$\text{или } v = 30 \text{ км/с}.$$

Ответ: $v = 30 \text{ км/с}.$

5. Динамика поступательного движения.

Второй закон Ньютона

5.1. Под действием силы 50 Н вагонетка массой 400 кг движется с ускорением $0,1 \text{ м/с}^2$. Определить силу сопротивления.

Дано: $F = 50 \text{ Н};$ $m = 400 \text{ кг};$ $a = 0,1 \text{ м/с}^2.$	Решение. По второму закону Ньютона составим уравнение движения тела: $F - F_{\text{сопр}} = ma,$
Найти $F_{\text{сопр}}.$	отсюда $F_{\text{сопр}} = F - ma.$

Вычислим силу сопротивления:

$$F_{\text{сопр}} = 50 \text{ Н} - 400 \text{ кг} \cdot 0,1 \text{ м/с}^2 = 10 \text{ Н}.$$

Ответ: $F_{\text{сопр}} = 10 \text{ Н}.$

5.2. Определить силу, под действием которой тело массой 500 кг движется на прямолинейном участке пути по уравнению: $s = 3t + 0,4t^2$ (м).

Дано: $s = 3t + 0,4t^2;$ $m = 500 \text{ кг}.$	Решение. По второму закону Ньютона: $F = ma.$
Найти $F.$	Дифференцируя заданное уравнение движения, находим ускорение $a = 0,8 \text{ м/с}^2.$

Следовательно,

$$F = 500 \text{ кг} \cdot 0,8 \text{ м/с}^2 = 400 \text{ Н}.$$

Ответ: $F = 400 \text{ Н}.$

5.3. Подъемный кран поднимает плиту массой 1000 кг вертикально вверх с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Определить силу натяжения каната, удерживающего плиту.

Дано:

$$m = 1000 \text{ кг}, \\ a = 0,2 \text{ м/с}^2.$$

Найти

$$F_{\text{н}}.$$

Решение.

Составим уравнение движения плиты:

$$F_{\text{н}} - P = ma,$$

но $P = mg$, тогда

$$F_{\text{н}} = mg + ma \text{ или } F_{\text{н}} = m(g + a).$$

Находим

$$F_{\text{н}} = 1000 \text{ кг} \cdot (9,8 + 0,2) \text{ м/с}^2 = 10^4 \text{ Н}.$$

Ответ: $F_{\text{н}} = 10^4 \text{ Н}$.

5.4. На участке пути в 400 м скорость автобуса увеличилась от 15 до 25 м/с. Определить среднюю силу тяги двигателя, если масса автобуса 10^4 кг, а сила сопротивления при движении равна 2 кН.

Дано:

$$s = 400 \text{ м}; \\ v_1 = 15 \text{ м/с}; \\ v_2 = 25 \text{ м/с}; \\ m = 10^4 \text{ кг}; \\ F_{\text{с}} = 2 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Найти

$$F_{\text{т}}.$$

Решение.

Составим уравнение движения автобуса на данном участке пути:

$$F_{\text{т}} - F_{\text{с}} = ma;$$

$$F_{\text{т}} = F_{\text{с}} + ma.$$

При равноускоренном движении:

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2s};$$

находим силу тяги двигателя

$$F_{\text{т}} = F_{\text{с}} + \frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2s};$$

$$F_{\text{т}} = 2000 \text{ Н} + \frac{10^4 \text{ кг} \cdot 400 \text{ м}^2 / \text{с}^2}{2 \cdot 400 \text{ м}} =$$

$$= 2000 \text{ Н} + 5000 \text{ Н} = 7 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Ответ: $F_{\text{т}} = 7 \text{ кН}$.

5.5. На три одинаковых вагона массой m каждый действует постоянная сила 600 Н , приложенная к первому вагону (рис. 4). Найти силу натяжения сцепки между пер-

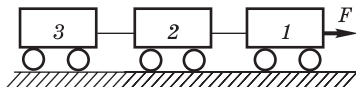


Рис. 4

вым и вторым, вторым и третьим вагонами. Силы сопротивления не учитывать.

Дано:	Решение.
$M = 3m;$	Система тел, состоящая из трех
$F = 600\text{ Н}.$	одинаковых вагонов, имеет массу
Найти:	$M = 3m$. Под действием силы
$F_{1-2}; F_{2-3}.$	$F = 600\text{ Н}$ эта система тел будет дви- гаться с ускорением

$$a = \frac{F}{M} = \frac{F}{3m}.$$

С таким же ускорением движется каждый вагон, а поэтому

$$F_{2-3} = ma, \quad F_{2-3} = \frac{mF}{3m} = \frac{F}{3}; \quad F_{2-3} = 200\text{ Н},$$

$$F_{1-2} = 2ma; \quad F_{1-2} = \frac{2mF}{3m} = \frac{2F}{3}; \quad F_{1-2} = 400\text{ Н}.$$

Ответ: $F_{1-2} = 400\text{ Н}; F_{2-3} = 200\text{ Н}.$

6. Третий закон Ньютона.

Закон сохранения импульса

6.1. Сколько времени действовала постоянная сила 40 Н на тело массой 2 кг , если скорость тела увеличилась на 2 м/с ?

Дано: $F = 40 \text{ Н},$ $m = 2 \text{ кг},$ $\Delta v = 2 \text{ м/с}.$	Решение. По закону сохранения импульса $Ft = m\Delta v$, отсюда $t = \frac{m\Delta v}{F}; t = \frac{2 \cdot 2}{40} \text{ с} = 0,1 \text{ с}.$
Найти $t.$	

Ответ: $t = 0,1 \text{ с}.$

6.2. С каким ускорением опускается тело весом 500 Н, подвешенное на канате, если сила натяжения каната 300 Н?

Дано: $P = 500 \text{ Н};$ $F_{\text{н}} = 300 \text{ Н}.$	Решение. Составим уравнение движения тела. Так как вес тела $P = mg$ больше силы натяжения каната, то
Найти $a.$	

$$P - F_{\text{н}} = \frac{Pa}{g};$$

отсюда

$$a = \frac{(P - F_{\text{н}})g}{P}, a = \frac{(500 - 300) \text{ Н} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}{500 \text{ Н}} = 3,92 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a = 3,92 \text{ м/с}^2.$

6.3. Какую скорость будет иметь ракета, стартовая масса которой 1000 кг, если в результате горения топлива выброшено 200 кг газов со скоростью 2000 м/с?

Дано: $m_{\text{р}} = 800 \text{ кг},$ $m_{\text{г}} = 200 \text{ кг},$ $v_{\text{г}} = 2000 \text{ м/с}.$	Решение. Так как импульс замкнутой механической системы есть величина постоянная, то
Найти $v_{\text{р}}.$	$m_{\text{р}}v_{\text{р}} = m_{\text{г}}v_{\text{г}};$
	отсюда

$$v_{\text{р}} = \frac{m_{\text{г}}v_{\text{г}}}{m_{\text{п}}};$$

$$v_{\text{р}} = \frac{200 \text{ кг} \cdot 2000 \text{ м/с}}{800 \text{ кг}} = 500 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v_{\text{р}} = 500 \text{ м/с}.$

6.4. Ракета массой 4000 кг летит со скоростью 500 м/с. От нее отделяется головная часть массой 1000 кг и летит со скоростью 800 м/с. С какой скоростью будет продолжаться полет оставшаяся часть ракеты?

Дано: $M = 4000$ кг, $v = 500$ м/с, $m_1 = 1000$ кг, $v_1 = 800$ м/с.	Решение. По закону сохранения импульса замкнутой системы тел имеем: Mv — импульс ракеты до отделения ее от головной части, $m_1v_1 + (M - m_1)v_2$ — импульс системы тел после отделения головной части ракеты. Следовательно,
Найти v_2 .	

$$Mv = m_1v_1 + (M - m_1)v_2.$$

Отсюда

$$v_2 = \frac{Mv - m_1v_1}{M - m_1};$$

$$v_2 = \frac{4000 \text{ кг} \cdot 500 \text{ м/с} - 1000 \text{ кг} \cdot 800 \text{ м/с}}{4000 \text{ кг} - 1000 \text{ кг}} = 400 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v_2 = 400$ м/с.

6.5. Из лодки, приближающейся к берегу со скоростью 0,5 м/с, на берег прыгнул человек со скоростью 2 м/с относительно берега. С какой скоростью будет двигаться лодка после прыжка человека, если масса человека 80 кг, а масса лодки 120 кг?

Дано: $v = 0,5$ м/с, $v_{\text{ч}} = 2$ м/с, $m_{\text{ч}} = 80$ кг, $m_{\text{л}} = 120$ кг.	Решение. Импульс замкнутой системы тел (человек — лодка) до прыжка человека на берег равен $(m_{\text{ч}} + m_{\text{л}})v$. Импульс той же системы тел после прыжка человека на берег $m_{\text{ч}}v_{\text{ч}} + m_{\text{л}}v_{\text{л}}$. По закону сохранения импульса
Найти $v_{\text{л}}$.	$m_{\text{ч}}v_{\text{ч}} + m_{\text{л}}v_{\text{л}} = (m_{\text{ч}} + m_{\text{л}})v,$

отсюда находим скорость лодки после прыжка человека:

$$v_{\text{л}} = \frac{(m_{\text{ч}} + m_{\text{л}})v - m_{\text{ч}}v_{\text{ч}}}{m_{\text{л}}};$$

$$v_{\text{л}} = \frac{200 \cdot 0,5 - 80 \cdot 2}{120} = -0,5 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v_{\text{л}} = -0,5 \text{ м/с}$.

7. Закон всемирного тяготения.

Искусственные спутники Земли

7.1. С какой линейной скоростью должен двигаться искусственный спутник Луны на высоте 740 км над ее поверхностью? Радиус Луны принять равным 1760 км, ускорение свободного падения у поверхности Луны $1,6 \text{ м/с}^2$.

Дано:

$$H = 74 \cdot 10^4 \text{ м},$$

$$R = 176 \cdot 10^4 \text{ м},$$

$$g_{\text{л}} = 1,6 \text{ м/с}^2.$$

Найти

v .

Решение.

При движении спутника вокруг Луны на него действует сила тяготения (сила тяжести). По условию:

$$mg_{\text{л}} = \frac{mv^2}{R + h}.$$

Отсюда

$$v = \sqrt{g_{\text{л}}(R + h)},$$

$$v = \sqrt{1,6 \cdot (176 + 74) \cdot 10^4} \text{ м/с} = 2 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 2 \text{ км/с}.$$

Ответ: $v = 2 \text{ км/с}$.

7.2. На какой высоте над поверхностью Земли вес тела в 9 раз меньше, чем на ее поверхности? Радиус Земли принять равным 6400 км.

Дано:

$$P = \frac{1}{9} P_0,$$

$$R = 64 \cdot 10^5 \text{ м.}$$

Найти

H .

Решение.

Исходя из закона всемирного тяготения, запишем:

$$\frac{P}{R_0} = \frac{R^2}{(R+H)^2},$$

отсюда

$$H = R \left(\sqrt{\frac{R_0}{P}} - 1 \right).$$

Находим

$$H = 64 \cdot 10^5 \text{ м} \left(\sqrt{\frac{9P}{P}} - 1 \right); H = 2 \cdot 64 \cdot 10^5 \text{ м} = 12\,800 \text{ км.}$$

Ответ: $H = 12\,800 \text{ км.}$

7.3. Вычислить первую космическую скорость у поверхности Луны. Радиус Луны принять равным 1760 км, ускорение свободного падения на поверхности Луны 1,6 м/с².

Дано:

$$R_{\text{Л}} = 176 \cdot 10^4 \text{ м,}$$

$$g_{\text{Л}} = 1,6 \text{ м/с}^2.$$

Найти

v .

Решение.

При движении спутника вокруг Луны на него действует сила тяжести (сила всемирного тяготения). По условию:

$$mg_{\text{Л}} = \frac{mv^2}{R_{\text{Л}}}.$$

Отсюда

$$v = \sqrt{g_{\text{Л}} R_{\text{Л}}};$$

$$v = \sqrt{1,6 \text{ м/с}^2 \cdot 176 \cdot 10^4 \text{ м}} = 1680 \text{ м/с} \approx 1,7 \text{ км/с.}$$

Ответ: $v \approx 1,7 \text{ км/с.}$

7.4. Найти период обращения искусственного спутника, движущегося в непосредственной близости к поверхности Луны. Радиус Луны принять равным 1760 км, ускорение свободного падения у поверхности Луны 1,6 м/с².

Дано: $R = 176 \cdot 10^4 \text{ м},$ $g = 1,6 \text{ м/с}^2,$ $H = 0.$	Решение. Период обращения искусственно- го спутника Луны
Найти $T.$	$T = \frac{2\pi R}{v}, \text{ где } v = \sqrt{gR};$ находим $T = \frac{2\pi R}{\sqrt{gR}};$

$$T = \frac{6,28 \cdot 176 \cdot 10^4 \text{ м}}{\sqrt{1,6 \text{ м/с}^2 \cdot 176 \cdot 10^4 \text{ м}}} \approx 6580 \text{ с} = 1 \text{ ч } 50 \text{ мин.}$$

Ответ: $T \approx 1 \text{ ч } 50 \text{ мин.}$

7.5. Определить силу тяготения между Луной и Землей, когда расстояние между ними 365 000 км, если Луна движется вокруг Земли со скоростью 1 км/с. Масса Луны $7,3 \cdot 10^{22} \text{ кг}.$

Дано: $R = 365 \cdot 10^6 \text{ м},$ $m = 7,3 \cdot 10^{22} \text{ кг},$ $v = 10^3 \text{ м/с}.$	Решение. Сила тяготения между Луной и Землей является центростремитель- ной силой; под ее действием проис- ходит обращение Луны вокруг Зем- ли, следовательно,
Найти $F.$	

$$F = \frac{mv^2}{R}; F = \frac{7,3 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 10^6 \text{ м}^2 / \text{с}^2}{365 \cdot 10^6 \text{ м}} = 2 \cdot 10^{20} \text{ Н.}$$

Ответ: $F = 2 \cdot 10^{20} \text{ Н.}$

8. Динамика равномерного движения тел по окружности

8.1. Какую перегрузку испытывает космонавт на центрифуге радиусом 6 м при вращении с угловой скоростью $3,14 \text{ с}^{-1}$? (Перегрузка — величина, равная отношению центростремительного ускорения к ускорению свободного падения на поверхности Земли.)

Дано:

$$R = 6 \text{ м}, \\ \omega = 3,14 \text{ с}^{-1}.$$

Найти

$$\frac{a}{g}.$$

Решение.

При вращении тела по окружности возникает центростремительное ускорение, равное $a = \omega^2 R$.

Находим искомую перегрузку, которую испытывает космонавт:

$$\frac{a}{g} = \frac{\omega^2 R}{g}; \quad \frac{a}{g} = \frac{3,14^2 \text{ с}^{-2} \cdot 6 \text{ м}}{9,8 \text{ м/с}^2} = 6.$$

Ответ: Космонавт испытывает шестикратную перегрузку.

8.2. При движении автомобиля массой 20 т со скоростью 36 км/ч мост прогибается, образуя вогнутую кривизну радиусом 100 м. Определить силу реакции моста на автомобиль в момент прохождения через его середину. Принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Дано:

$$m = 2 \cdot 10^4 \text{ кг}, \\ v = 10 \text{ м/с}, \\ R = 100 \text{ м}, \\ g = 10 \text{ м/с}^2.$$

Найти

$$F_{\text{д}}.$$

Решение.

При движении автомобиля по вогнутому мосту на него действует сила тяжести P , направленная вниз, и сила реакции моста $F_{\text{д}}$, направленная вверх. Равнодействующая этих сил является центростремительной силой, совпадающей с направлением силы реакции моста. Следовательно, $F_{\text{цс}} = F_{\text{д}} - P$, т. е.

$$F_{\text{д}} - P = ma; \quad F_{\text{д}} - mg = \frac{mv^2}{R}.$$

Вычисляем:

$$F_{\text{д}} = m \left(g + \frac{v^2}{R} \right);$$

$$F_{\text{д}} = 2 \cdot 10^4 \text{ кг} \left(10 \text{ м/с}^2 + \frac{100 \text{ м}}{100 \text{ с}^2} \right) = 22 \cdot 10^4 \text{ Н} = 220 \text{ кН}.$$

Ответ: $F_{\text{д}} = 220 \text{ кН}$.

8.3. Определить силу, под действием которой Земля движется вокруг Солнца. Принять орбиту Земли круговой. Масса Солнца $M = 2 \cdot 10^{30}$ кг, масса Земли $m = 6 \cdot 10^{24}$ кг, расстояние Земли от Солнца $R = 1,5 \cdot 10^{10}$ м.

Дано:

$$\begin{aligned} M &= 2 \cdot 10^{30} \text{ кг,} \\ m &= 6 \cdot 10^{24} \text{ кг,} \\ R &= 1,5 \cdot 10^{10} \text{ м,} \\ G &= 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2. \end{aligned}$$

Найти

F .

Решение.

Земля движется вокруг Солнца под действием постоянной силы тяготения, которую вычислим по закону всемирного тяготения:

$$F = G \frac{mM}{R^2}$$

(здесь G – гравитационная постоянная);

$$\begin{aligned} F &= \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2 \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}}{1,5^2 \cdot 10^{20} \text{ м}^2} = \\ &= 35 \cdot 10^{23} \text{ Н} = 35 \cdot 10^{20} \text{ кН.} \end{aligned}$$

Ответ: $F = 35 \cdot 10^{20}$ кН.

8.4. Мотоциклист делает поворот при постоянной скорости 72 км/ч по дуге, радиус которой равен 160 м. Найти угол наклона мотоциклиста к горизонту. Принять $g = 10$ м/с².

Дано:

$$\begin{aligned} v &= 20 \text{ м/с,} \\ R &= 160 \text{ м,} \\ g &= 10 \text{ м/с}^2. \end{aligned}$$

Найти

α .

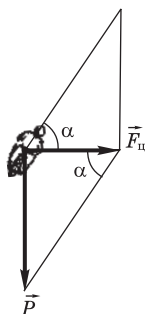


Рис. 5

Решение.

На мотоциклиста при движении по окружности действуют сила тяжести $P = mg$ и центростремительная сила $F_{\text{ц}}$ (рис. 5). Чтобы удержаться в равновесии при поворо-

те, мотоциклист должен соблюдать угол наклона к горизонту, определяемый по формуле (см. рис. 5)

$$\frac{P}{F_{ц}} = \operatorname{tg} \alpha,$$

где $F_{ц} = \frac{m v^2}{R} = \frac{P v^2}{gR}$. Отсюда

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{gR}{v^2}; \operatorname{tg} \alpha = \frac{10 \cdot 160}{400} = 4; \alpha = 76^\circ.$$

Ответ: $\alpha = 76^\circ$.

9. Механическая работа. Мощность

9.1. Под действием постоянной силы 5 Н тело начинает двигаться с ускорением 0,2 м/с². Какую работу совершит эта сила за первые 20 с действия?

Дано: $F = 5 \text{ Н},$ $a = 0,2 \text{ м/с}^2,$ $t = 20 \text{ с}.$	Решение. Работа силы F при перемещении тела на расстояние $s = \frac{at^2}{2}$ равна $A = Fs;$ отсюда
Найти А.	

$$A = \frac{Fat^2}{2}; A = \frac{5 \text{ Н} \cdot 0,2 \text{ м/с}^2 \cdot 400 \text{ с}^2}{2} = 200 \text{ Дж}.$$

Ответ: $A = 200 \text{ Дж}.$

9.2. Снаряд, вылетевший из орудия в горизонтальном направлении с начальной скоростью 600 м/с, достиг цели со скоростью 400 м/с. Определить работу по преодолению сопротивления, если масса снаряда 10 кг.

Дано: $v_0 = 600 \text{ м/с},$ $v_t = 400 \text{ м/с},$ $m = 10 \text{ кг}.$	Решение. Работа как мера изменения энергии вычисляется по формуле
Найти $A.$	$A = \frac{mv_t^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = \frac{m(v_t^2 - v_0^2)}{2};$

$$A = \frac{10 \text{ кг} (400^2 - 600^2) \text{ м}^2 / \text{с}^2}{2} = -10^6 \text{ Дж}.$$

Ответ: $A = -10^6 \text{ Дж}.$ Силы сопротивления совершают отрицательную работу.

9.3. Какую работу должен совершить космонавт на Луне, чтобы равномерно поднять камень массой 50 кг на высоту 0,5 м? Ускорение свободного падения на Луне 1,6 м/с².

Дано: $m = 50 \text{ кг},$ $H = 0,5 \text{ м},$ $g_{\text{л}} = 1,6 \text{ м/с}^2.$	Решение. При равномерном подъеме сила тяги равна весу тела, следовательно,
Найти $A.$	$A = mg_{\text{л}}H;$ $A = 50 \text{ кг} \cdot 1,6 \text{ м/с}^2 \cdot 0,5 \text{ м} = 40 \text{ Дж}.$

Ответ: $A = 40 \text{ Дж}.$

9.4. Какую работу совершает двигатель автомобиля массой 200 кг при равномерном горизонтальном движении на пути в 1 км, если коэффициент трения равен 0,05?

Дано: $m = 200 \text{ кг},$ $s = 1000 \text{ м},$ $k = 0,05.$	Решение. При равномерном горизонтальном движении $F_{\text{тяги}} = F_{\text{тр}},$ где $F_{\text{тр}} = kmg.$ Тогда
Найти $A.$	$A = F_{\text{тяги}}s; A = kmg s;$

$$A = 0,05 \cdot 9,8 \cdot 200 \cdot 1000 \text{ Дж} =$$

$$= 9800 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 9800 \text{ кДж}.$$

Ответ: $A = 9800 \text{ кДж}.$

9.5. Определить мощность двигателя подъемного крана, равномерно поднимающего груз массой 300 кг на высоту 10 м за 49 с, если КПД крана 75%.

Дано: $m = 300$ кг, $h = 10$ м, $t = 49$ с, $\eta = 0,75$. Найти N.	Решение. КПД двигателя вычисляется по формуле $\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} = \frac{mgh}{Nt},$ где $A_{\text{п}}$ — полезная работа, $A_{\text{з}}$ — затраченная работа. Находим мощность
---	--

$$N = \frac{mgh}{\eta t}; N = \frac{9,8 \cdot 300 \text{ Н} \cdot 10 \text{ м}}{0,75 \cdot 49 \text{ с}} = 800 \text{ Вт} = 0,8 \text{ кВт}.$$

Ответ: $N = 0,8$ кВт.

9.6. При выполнении маневра космического корабля была включена на некоторое время двигательная система. Определить мощность двигательной системы, если при силе выброса продуктов горения в 200 Н скорость корабля увеличилась с 3 до 4 км/с.

Дано: $F_{\text{т}} = 200$ Н, $v_1 = 3000$ м/с, $v_2 = 4000$ м/с. Найти N.	Решение. Так как сила выброса продуктов горения равна 200 Н, то на основании третьего закона Ньютона можно заключить, что сила тяги двигательной системы космического корабля также равна 200 Н. Используя формулу мощности
--	--

$$N = F_{\text{т}} v_{\text{ср}}; v_{\text{ср}} = \frac{v_1 + v_2}{2}, \text{ находим } N = \frac{F_{\text{т}}(v_1 + v_2)}{2};$$

$$N = \frac{200 \text{ Н} \cdot 7000 \text{ м/с}}{2} = 700 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 700 \text{ кВт}.$$

Ответ: $N = 700$ кВт.

9.7. Электровоз при движении со скоростью 72 км/ч потребляет мощность 600 кВт. Определить силу тяги электровоза, если его КПД равен 80%.

Дано: $v = 20 \text{ м/с},$ $N_3 = 6 \cdot 10^5 \text{ Вт},$ $\eta = 0,8.$	Решение. Полезная мощность электровоза $N_{\text{п}} = F_{\text{т}} v$, где $F_{\text{т}}$ — сила тяги. Зная КПД электровоза и его потребляемую мощность, можем найти силу тяги:
Найти $F_{\text{т}}.$	$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N_3}; \eta = \frac{F_{\text{т}} v}{N_3}; F_{\text{т}} = \frac{\eta N_3}{v};$

$$F = \frac{0,8 \cdot 600\,000 \text{ Вт}}{20 \text{ м/с}} = 24 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 24 \text{ кВт}.$$

Ответ: $F = 24 \text{ кВт}.$

9.8. Моторная лодка с двигателем мощностью 5 кВт развивает силу тяги 1 кН. С какой скоростью движется лодка?

Дано: $N = 5000 \text{ Вт},$ $F_{\text{т}} = 1000 \text{ Н}.$	Решение. При равномерном движении мощность определяется по формуле $N = F_{\text{т}} v$, откуда
Найти $v.$	$v = \frac{N}{F_{\text{т}}}; \quad v = \frac{5000 \text{ Вт}}{1000 \text{ Н}} = 5 \text{ м/с}.$

Ответ: $v = 5 \text{ м/с}.$

10. Закон сохранения механической энергии

10.1. Автомобиль, масса которого 5 т, движется со скоростью 72 км/ч и при торможении, пройдя путь 40 м, останавливается. Определить силу торможения.

Дано: $m = 5000 \text{ кг},$ $v = 20 \text{ м/с},$ $s = 40 \text{ м}.$	Решение. Согласно закону сохранения энергии запишем
Найти $F_{\text{тор}}.$	$\frac{mv^2}{2} = F_{\text{тор}}s;$ отсюда

$$F_{\text{тор}} = \frac{mv^2}{2s};$$

$$F_{\text{тор}} = \frac{5000 \text{ кг} \cdot 400 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2 \cdot 40 \text{ м}} = 25\,000 \text{ Н} = 25 \text{ кН}.$$

Ответ: $F_{\text{тор}} = 25 \text{ кН}.$

10.2. Пуля массой 10 г влетает в доску толщиной 5 см со скоростью 800 м/с и вылетает из нее со скоростью 100 м/с. Определить среднюю силу сопротивления доски.

Дано: $m = 0,01 \text{ кг},$ $s = 0,05 \text{ м},$ $v_0 = 800 \text{ м/с},$ $v_t = 100 \text{ м/с}.$	Решение. Уменьшение кинетической энергии пули
Найти $F_{\text{сопр}}.$	$\Delta E = \frac{m}{2} (v_0^2 - v_t^2).$ Работа силы сопротивления $A = F_{\text{сопр}}s.$

По закону сохранения и превращения энергии

$$F_{\text{сопр}} = \frac{m}{2s} (v_0^2 - v_t^2);$$

$$F_{\text{сопр}} = \frac{0,01 \text{ кг}}{2 \cdot 0,05 \text{ м}} (800^2 - 100^2) \text{ м}^2/\text{с}^2 = 63 \cdot 10^3 \text{ Н} = 63 \text{ кН}.$$

Ответ: $F_{\text{сопр}} = 63 \text{ кН}.$

10.3. Определить полную энергию тела массой 500 кг, поднятого на высоту 4 м, если его скорость при этом увеличилась от нуля до 2 м/с.

Дано: $m = 500 \text{ кг},$ $H = 4 \text{ м},$ $v_0 = 0,$ $v_t = 2 \text{ м/с}.$	Решение. Согласно закону полной механической энергии $E = E_k + E_{\text{п}}.$ Находим $E = \frac{m v^2}{2} + mgH;$ $E = (500 \cdot 2 + 500 \cdot 9,8 \cdot 4) \text{ Дж} =$ $= 20\,600 \text{ Дж} = 20,6 \text{ кДж}.$
Найти $E.$	

Ответ: $E = 20,6 \text{ кДж}.$

10.4. В каком случае электровоз массой m совершит большую работу: при изменении скорости поезда от нуля до 4 м/с или при увеличении скорости поезда от 4 до 8 м/с?

Дано: $m,$ $v_0 = 0,$ $v_1 = 4 \text{ м/с},$ $v_2 = 8 \text{ м/с}.$	Решение. Так как работа есть мера изменения энергии тела, то при увеличении скорости поезда от 0 до 4 м/с совершается работа $A_{01} = \frac{m v_1^2}{2},$ т. е. $A_{01} = 8 m.$
Сравнить A_{01} и $A_{12}.$	

При увеличении скорости электровоза от v_1 до v_2 работа равна

$$A_{12} = \frac{m}{2} (v_2^2 - v_1^2); \text{ отсюда } A_{12} = \frac{m}{2} \cdot 48 = 24 m.$$

Ответ: A_{01} в 3 раза меньше $A_{12}.$

10.5. Определить полную механическую энергию космического корабля массой 2 т, движущегося на высоте 300 км над Землей со скоростью 8 км/с. Принять $g = 10 \text{ м/с}^2.$

Дано: $m = 2000 \text{ кг},$ $H = 300\,000 \text{ м},$ $v = 8000 \text{ м/с},$ $g = 10 \text{ м/с}^2.$	Решение. Согласно закону сохранения полной механической энергии $E = E_{\text{п}} + E_k.$ Находим $E = m \left(gH + \frac{v^2}{2} \right);$ $E = 2 \cdot 10^3 \text{ кг} (3 \cdot 10^6 + 32 \cdot 10^6) \text{ м}^2/\text{с}^2 = 7 \cdot 10^7 \text{ кДж}.$
Найти $E.$	

Ответ: $E = 7 \cdot 10^7 \text{ кДж}.$

10.6. Тело, масса которого 10 кг, брошено вертикально вверх со скоростью 20 м/с. Найти потенциальную энергию тела в наивысшей точке подъема, если на преодоление сопротивления расходуется 10% всей энергии.

Дано: $m = 10 \text{ кг},$ $v_0 = 20 \text{ м/с},$ $\eta = 0,9.$	Решение. Согласно закону сохранения механической энергии $E_{\text{п}} = \eta E_{\text{к}}$. Отсюда
Найти $E_{\text{п}}.$	$E_{\text{п}} = \frac{\eta m v^2}{2};$

$$E_{\text{п}} = \frac{0,9 \cdot 10 \text{ кг} \cdot 400 \text{ м}^2 / \text{с}^2}{2} = 1800 \text{ Дж} = 1,8 \text{ кДж}.$$

Ответ: $E_{\text{п}} = 1,8 \text{ кДж}.$

11. Элементы специальной теории относительности

11.1. Две ракеты движутся навстречу друг другу со скоростями $v_1 = 0,6c$ и $v_2 = 0,9c$ относительно неподвижного наблюдателя. Определить скорость сближения ракет, используя классическую и релятивистскую формулы сложения скоростей.

Дано: $v = -v_1 = -0,6c,$ $u = v_2 = 0,9c.$	Решение. По классической формуле сложения скоростей имеем
Найти: $u'_{\text{кл}}; u'_{\text{рел}}.$	$u'_{\text{кл}} = u - v = v_2 - (-v_1);$ $u'_{\text{кл}} = 0,9c + 0,6c = 1,5c.$

По релятивистской формуле сложения скоростей имеем

$$u'_{\text{рел}} = \frac{u - v}{1 - uv/c^2}; \quad u'_{\text{рел}} = \frac{0,9c + 0,6c}{1 + 0,54c^2 / c^2} = 0,974c.$$

Ответ: $u'_{\text{кл}} = 1,5c; u'_{\text{рел}} = 0,974c.$

11.2. Какое время пройдет на Земле, если в космическом корабле, движущемся со скоростью $v = 0,8c$ относительно Земли, пройдет 21 год?

Дано: $v = 0,8c$, $t_0 = 21$ год.	Решение. Промежуток времени между двумя событиями минимален в движущейся системе отсчета (t) по отношению к неподвижной (t_0):
Найти t .	

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; \quad t = \frac{21}{0,6} = 35 \text{ лет.}$$

Ответ: $t = 35$ лет.

11.3. Для наблюдателя, находящегося на Земле, линейные размеры космического корабля по направлению его движения сократились в четыре раза. Во сколько раз медленнее идут часы на корабле относительно хода часов наблюдателя?

Дано: $l = l_0/4$.	Решение. Линейные размеры тела, движущегося относительно неподвижной инерциальной системы отсчета, уменьшаются: $l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$, а промежуток времени увеличивается:
Найти $\frac{t}{t_0}$.	

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \text{ Из этого следует}$$

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{l}{l_0} = \frac{t_0}{t},$$

откуда

$$\frac{t}{t_0} = \frac{l_0}{l}; \quad \frac{t}{t_0} = \frac{4l}{l} = 4.$$

Наблюдателю будет казаться, что ход часов в космическом корабле замедлен в четыре раза.

Ответ: В четыре раза.

11.4. Частица движется со скоростью $v = 0,8c$. Во сколько раз масса движущейся частицы больше ее массы покоя?

Дано:

$$v = 0,8c, \\ c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Найти

$$\frac{m}{m_0}.$$

Решение.

Релятивистская масса в движущейся системе отсчета

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}},$$

где m_0 — масса покоя. Отсюда находим

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}; \quad \frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,64}} = \frac{1}{0,6} = 1,67.$$

Ответ: В 1,67 раз больше.

11.5. Релятивистская масса электрона в пять раз больше его массы покоя. Определить кинетическую энергию электрона и его импульс. Масса покоя электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Дано:

$$m = 5m_0, \\ m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}, \\ c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Найти:

$$E_k; p.$$

Решение.

Полная энергия свободно движущейся релятивистской частицы

$$E = mc^2 \text{ и } E = E_k + E_0,$$

где $E_0 = m_0 c^2$ — масса покоя, тогда кинетическая энергия

$$E_k = E - E_0 = (m - m_0) c^2 = 4m_0 c^2;$$

$$E_k = 4 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2 = 3,28 \cdot 10^{-14} \text{ Дж.}$$

Из соотношения энергии E и импульса p релятивистской частицы $E^2 = E_0^2 + p^2 c^2$ находим

$$p = \frac{\sqrt{E^2 - E_0^2}}{c} = \frac{\sqrt{25m_0^2 c^4 - m_0^2 c^4}}{c} = 2\sqrt{6} m_0 c;$$

$$p = 2 \cdot 2,45 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} = 1,34 \cdot 10^{-21} \text{ Н} \cdot \text{с.}$$

Ответ: $E_k = 3,28 \cdot 10^{-14}$ Дж; $p = 1,34 \cdot 10^{-21}$ Н · с.

Основы молекулярной физики и термодинамики

1. Основные понятия и положения молекулярно-кинетической теории

1.1. Определить массу одной молекулы кислорода O_2 .

Дано: $M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль},$ $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$	Решение. 1 - й способ: $m_0 = \frac{M}{N_A}$, где M — молярная масса, N_A — постоянная Авогадро;
Найти $m_0.$	

$$m_0 = \frac{32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 5,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$$

2 - й способ:

$$m_0 = 32 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 32 = 5,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$$

Ответ: $m_0 = 5,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$

1.2. Выразить массу молекулы воды в килограммах, если известно, что ее относительная молекулярная масса равна 18 а.е.м.

Решение: $m_0 = 18 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 18 = 3 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$

1.3. Сколько молекул воздуха содержится в комнате объемом 60 м^3 при нормальных условиях? Молярная масса воздуха $M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, плотность воздуха $\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3$.

Дано: $M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль},$ $\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3,$ $V_0 = 60 \text{ м}^3,$ $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$	Решение. Число молекул $N = \frac{m}{m_0}$, где m — масса воздуха в комнате; m_0 — масса одной молекулы.
Найти $N.$	Но $m = \rho_0 V_0$; $m_0 = \frac{M}{N_A}.$

Находим число молекул, содержащихся в воздухе комнаты:

$$N = \frac{\rho_0 V_0 N_A}{M};$$

$$N = \frac{1,29 \text{ кг/м}^3 \cdot 60 \text{ м}^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 1,6 \cdot 10^{27}.$$

Ответ: $N = 1,6 \cdot 10^{27}$.

1.4. Масса $14,92 \cdot 10^{25}$ молекул инертного газа составляет 5 кг. Какой это газ?

Дано: $N = 14,92 \cdot 10^{25},$ $m = 5 \text{ кг},$ $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$	Решение. Так как $N = \frac{m}{m_0}$, а $m_0 = \frac{M}{N_A}$, то $N = \frac{m N_A}{M}$. Отсюда
Найти $M.$	

$$M = \frac{m N_A}{N};$$

$$M = \frac{5 \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{14,92 \cdot 10^{25}} = 20,17 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}.$$

Ответ: $M = 20,17 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}.$

1.5. Определить среднюю длину свободного пробега молекул гелия при нормальных условиях, если молекулы, двигаясь со средней скоростью 1380 м/с, испытывают $6,9 \cdot 10^9$ столкновений в секунду.

Дано: $\bar{v} = 1380 \text{ м/с},$ $\bar{z} = 6,9 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}.$	Решение. Средняя длина свободного пробега молекул
Найти $\bar{\lambda}.$	$\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}}{\bar{z}};$

$$\bar{\lambda} = \frac{1380 \text{ м/с}}{6,9 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ мм}.$$

Ответ: $\bar{\lambda} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ мм}.$

1.6. Молекулы аргона при нормальных условиях испытывают $6 \cdot 10^9$ столкновений в секунду при средней длине свободного пробега $6,35 \cdot 10^{-8}$ м. Определить среднюю скорость поступательного движения молекул аргона.

Дано: $\bar{z} = 6 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1},$ $\bar{\lambda} = 6,35 \cdot 10^{-8} \text{ м}.$	Решение. Из формулы средней длины свободного пробега находим
Найти $\bar{v}.$	$\bar{v} = \bar{\lambda} \bar{z};$

$$\bar{v} = 6,35 \cdot 10^{-8} \text{ м} \cdot 6 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1} = 381 \text{ м/с}.$$

Ответ: $\bar{v} = 381 \text{ м/с}.$

1.7. Определить концентрацию молекул кислорода, если они при средней скорости 400 м/с испытывают в среднем $8 \cdot 10^9$ столкновений в секунду. Эффективный диаметр молекулы кислорода $3 \cdot 10^{-10}$ м.

Дано: $\bar{v} = 400 \text{ м/с},$ $\bar{z} = 8 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1},$ $d_{\text{эф}} = 3 \cdot 10^{-10} \text{ м}.$	Решение. Концентрация молекул газа
Найти $n.$	$n = \frac{\bar{z}}{\sqrt{2} \pi d_{\text{эф}}^2 \bar{v}};$ $n = \frac{8 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}}{1,41 \cdot 3,14 \cdot 9 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2 \cdot 400 \text{ м/с}} =$ $= 5 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$

Ответ: $n = 5 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$

2. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа

2.1. Определить среднюю кинетическую энергию поступательного движения одной молекулы воздуха при нормальных условиях. Концентрация молекул воздуха при нормальных условиях $n_0 = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$

Дано: $T_0 = 273 \text{ К},$ $p_0 = 10^5 \text{ Па},$ $n_0 = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$	Решение. Из основного уравнения молекулярно-кинетической теории газов
Найти $\overline{E}_k.$	$p_0 = \frac{2}{3} n_0 \overline{E}_k \text{ выразим: } \overline{E}_k = \frac{3p_0}{2n_0};$ $\overline{E}_k = \frac{3 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2}{2 \cdot 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}} = 5,6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$

Ответ: $\overline{E}_k = 5,6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$

2.2. На сколько кельвин понизилась температура 10 моль идеального газа при постоянном объеме, если его внутренняя энергия уменьшилась на 623 Дж? Молярная теплоемкость $C_m = 12,46 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$

Дано: $\nu = 10 \text{ моль},$ $C_m = 12,46 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}),$ $\Delta U = 623 \text{ Дж}.$	Решение. Так как $\Delta U = C_m \nu \Delta T$, то
Найти $\Delta T.$	$\Delta T = \frac{\Delta U}{C_m \nu};$ $\Delta T = \frac{623 \text{ Дж}}{12,46 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 10 \text{ моль}} = 5 \text{ К}.$

Ответ: $\Delta T = 5 \text{ К}.$

2.3. Определить среднюю квадратичную скорость молекул азота при нормальных условиях, т. е. при $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ и плотности $\rho_0 = 1,25 \text{ кг/м}^3.$

Дано: $p_0 = 10^5 \text{ Па},$ $\rho_0 = 1,25 \text{ кг/м}^3.$	Решение. В основном уравнении молекулярно-кинетической теории газов
Найти $\overline{v}_{\text{кв}}.$	$p_0 = \frac{1}{3} m_0 n_0 \overline{v}^2 \text{ заменим } m_0 n_0 = \rho_0 \text{ и}$ $\text{выразим } \overline{v}_{\text{кв}}: \overline{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3p_0}{\rho_0}};$ $\overline{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2}{1,25 \text{ кг/м}^3}} = 490 \text{ м/с}.$

Ответ: $\overline{v}_{\text{кв}} = 490 \text{ м/с}.$

2.4. Определить изменение внутренней энергии 5 моль одноатомного идеального газа при повышении его температуры на 50 К и при неизменном объеме. Молярная теплоемкость $C_m = 12,46$ Дж/(моль · К).

Дано: $\nu = 5$ моль, $C_m = 12,46$ Дж/(моль · К), $V = \text{const}$, $\Delta T = 50$ К.	Решение. Изменение внутренней энергии идеального газа
Найти ΔU .	$\Delta U = C_m \nu \Delta T$;

$$\Delta U = 12,46 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 5 \text{ моль} \cdot 50 \text{ К} = 3115 \text{ Дж.}$$

Ответ: $\Delta U = 3115$ Дж.

2.5. Определить внутреннюю энергию всех молекул воздуха в аудитории, объем которой 168 м³, при нормальных условиях.

Дано: $p_0 = 10^5$ Па, $V_0 = 168$ м ³ .	Решение. Внутренняя энергия молекул газа
Найти U .	$U = \frac{3}{2} p_0 V_0$;
	$U = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 \cdot 168 \text{ м}^3 =$ $= 25,2 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 25,2 \text{ МДж.}$

Ответ: $U = 25,2$ МДж.

3. Уравнение состояния идеального газа. Изопроцессы и их графики

3.1. Определить температуру идеального газа, если средняя кинетическая энергия поступательного движения его молекул равна $7,87 \cdot 10^{-21}$ Дж.

Дано: $\bar{E}_k = 7,87 \cdot 10^{-21} \text{ Дж},$ $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}.$	Решение. Так как $\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT$, где k — постоянная Больцмана, то отсюда находим
Найти $T.$	
$T = \frac{2\bar{E}_k}{3k}; \quad T = \frac{2 \cdot 7,87 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}} = 380 \text{ К}.$	

Ответ: $T = 380 \text{ К}.$

3.2. Под каким давлением находится кислород в баллоне, если при температуре 27°C его плотность $6,24 \text{ кг/м}^3$?

Дано: $M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль},$ $T = 300 \text{ К},$ $\rho = 6,24 \text{ кг/м}^3,$ $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$	Решение. Преобразуем уравнение Клапейрона – Менделеева к виду
Найти $p.$	$p = \frac{m}{VM} RT,$ но $\frac{m}{V} = \rho$; следовательно, $p = \frac{\rho RT}{M}; \quad p = \frac{6,24 \text{ кг/м}^3 \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 300 \text{ К}}{32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} =$ $= 4,86 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 4,9 \cdot 10^5 \text{ Па}.$

Ответ: $p = 4,9 \cdot 10^5 \text{ Па}.$

3.3. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул углекислого газа CO_2 равна 400 м/с ?

Дано: $\bar{v} = 400 \text{ м/с},$ $M = 44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль},$ $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$	Решение. Так как $\bar{E}_k = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$ и
Найти $T.$	$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT, \text{ то } m_0 \bar{v}^2 = 3kT. \text{ Но}$ $m_0 = \frac{M}{N_A}, \text{ тогда } \frac{M \bar{v}^2}{N_A} = 3kT,$

откуда $T = \frac{M\bar{v}^2}{3kN_A} = \frac{M\bar{v}^2}{3R}$, где $kN_A = R$. Находим

$$T = \frac{44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 16 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}^2}{3 \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}} = 282,4 \text{ К.}$$

Ответ: $T = 282,4 \text{ К.}$

3.4. Какой объем занимает 1 кг кислорода при температуре 273 К и давлении $8 \cdot 10^5 \text{ Па}$? Молярная масса кислорода $M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

Дано:

$$m = 1 \text{ кг,}$$

$$T_1 = 273 \text{ К,}$$

$$p_1 = 8 \cdot 10^5 \text{ Па,}$$

$$M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль,}$$

$$R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$$

Найти

$$V_1.$$

Решение.

Из уравнения Клапейрона – Менделеева выразим V_1 :

$$V_1 = \frac{mRT_1}{p_1 M}$$

Вычисляя, находим

$$V_1 = \frac{1 \text{ кг} \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 273 \text{ К}}{8 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 \cdot 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 0,087 \text{ м}^3.$$

Ответ: $V_1 = 0,087 \text{ м}^3.$

3.5. При изохорном нагревании идеального газа, взятого при температуре 320 К, его давление увеличилось от $1,4 \cdot 10^5$ до $2,1 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Как изменилась температура газа?

Дано:

$$T_1 = 320 \text{ К,}$$

$$p_1 = 1,4 \cdot 10^5 \text{ Па,}$$

$$p_2 = 2,1 \cdot 10^5 \text{ Па,}$$

$$T_2 = T_1 + \Delta T.$$

Найти

$$\Delta T.$$

Решение.

Так как процесс изохорный, то

$$p_1 : p_2 = T_1 : (T_1 + \Delta T);$$

отсюда

$$\Delta T = \frac{T_1 p_2}{p_1} - T_1;$$

$$\Delta T = \frac{320 \text{ К} \cdot 2,1 \cdot 10^5 \text{ Па}}{1,4 \cdot 10^5 \text{ Па}} - 320 \text{ К} = 160 \text{ К.}$$

Ответ: $\Delta T = 160 \text{ К.}$

3.6. Определить начальную и конечную температуры идеального газа, если при изобарном охлаждении на 290 К его объем уменьшился вдвое. Начертить график изопроцесса в координатных осях T , V .

Дано: $p = \text{const},$ $V_2 = 0,5V_1,$ $T_2 = T_1 - 290.$	Решение. Так как процесс изобарный, то $V_1 : V_2 = T_1 : T_2$ или $\frac{V_1}{0,5 V_1} = \frac{T_1}{T_1 - 290}; \frac{T_1}{T_1 - 290} = 2;$ $T_1 = 580 \text{ К}; T_2 = 290 \text{ К}.$
Найти: $T_1; T_2.$	

На рис. 6 изображен график изобарного процесса в координатных осях T , V .

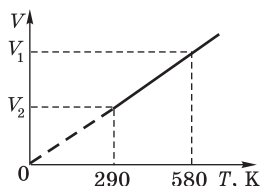


Рис. 6

Ответ: $T_1 = 580 \text{ К}; T_2 = 290 \text{ К}.$

3.7. При изохорном охлаждении идеального газа, взятого при температуре 480 К, его давление уменьшилось в 1,5 раза. Какой стала конечная температура газа?

Дано: $T_1 = 480 \text{ К},$ $p_2 = \frac{p_1}{1,5}$ или $p_1 = 1,5p_2.$	Решение. Так как процесс изохорный, то $p_1 : p_2 = T_1 : T_2;$ $T_2 = \frac{T_1 p_2}{p_1} = \frac{T_1 p_2}{1,5 p_2} = \frac{T_1}{1,5};$
Найти $T_2.$	

$$T = 480 \text{ К} : 1,5 = 320 \text{ К}.$$

Ответ: $T_2 = 320 \text{ К}.$

4. Первое начало термодинамики и применение его к изопроцессам

4.1. Как изменится внутренняя энергия 240 г кислорода O_2 при охлаждении его на 100 К?

Дано: $m = 0,24 \text{ кг},$ $\Delta T = 100 \text{ К},$ $M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль},$ $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$	Решение. Изменение внутренней энергии газа массой m при его охлаждении на ΔT равно
Найти: $\Delta U.$	$\Delta U = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R \Delta T;$

$$\Delta U = \frac{5 \cdot 0,24 \text{ кг} \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 100 \text{ К}}{2 \cdot 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 15,58 \text{ кДж}.$$

Ответ: Уменьшится на 15,58 кДж.

4.2. Один килограмм углекислого газа CO_2 изобарно нагрет от 268 до 400 К. Определить работу, совершенную над газом при увеличении его объема, и изменение внутренней энергии этого газа.

Дано: $m = 1 \text{ кг},$ $T_1 = 268 \text{ К},$ $T_2 = 400 \text{ К},$ $M = 44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль},$ $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$	Решение. Так как процесс изобарный, то $A = p \Delta U = \frac{m}{M} R \Delta T.$ Изменение внутренней энергии газа
Найти $A; \Delta U.$	$\Delta U = 3 \frac{m}{M} R \Delta T = 3A;$

$$A = \frac{1 \text{ кг} \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 132 \text{ К}}{44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 24,93 \text{ кДж};$$

$$\Delta U = 3A = 74,79 \text{ кДж}.$$

Ответ: $A = 24,93 \text{ кДж}; \Delta U = 74,79 \text{ кДж}.$

4.3. Определить начальную температуру 0,56 кг азота N_2 , если при изобарном нагревании до 370 К совершена работа 16,62 кДж на увеличение его объема.

Дано: $m = 0,56 \text{ кг},$ $T_2 = 370 \text{ К},$ $A = 16,62 \cdot 10^3 \text{ Дж},$ $M = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль},$ $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$	Решение. Работа газа при изобарном процессе $A = \frac{m}{M} R \Delta T$, отсюда $\Delta T = \frac{AM}{mR}$. Следовательно, $T_1 = T_2 - \Delta T; T_1 = T_2 - \frac{AM}{mR};$
Найти $T_1.$	

$$T_1 = 370 \text{ К} - \frac{16,62 \cdot 10^3 \text{ Дж} \cdot 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}}{0,56 \text{ кг} \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}} = 270 \text{ К}.$$

Ответ: $T_1 = 270 \text{ К}.$

4.4. Газ изобарно увеличился в объеме в три раза при давлении $3 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Определить первоначальный объем газа, если на увеличение его объема потребовалось совершить работу 12,9 кДж.

Дано: $V_2 = 3V_1,$ $p = 3 \cdot 10^5 \text{ Па},$ $A = 12,9 \cdot 10^3 \text{ Дж}.$	Решение. Работа расширения газа при изобарном процессе $A = p \Delta V = p(V_2 - V_1) = 2pV_1$; отсюда находим $V_1 = \frac{A}{2p};$
Найти $V_1.$	

$$V_1 = \frac{12,9 \cdot 10^3 \text{ Дж}}{2 \cdot 3 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2} = 2,15 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3.$$

Ответ: $V_1 = 2,15 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3.$

4.5. При изохорном процессе газу сообщено $4 \cdot 10^{10} \text{ Дж}$ теплоты. Рассчитать изменение внутренней энергии и работу по расширению газа.

Дано: $Q = 4 \cdot 10^{10} \text{ Дж},$ $V = \text{const.}$	Решение. На основании первого начала термодинамики имеем $Q = \Delta U + A.$ При изохорном процессе $\Delta V = 0$, поэтому $A = p\Delta V = 0.$ Следовательно,
Найти: $\Delta U; A.$	

$$\Delta U = Q, \Delta U = 4 \cdot 10^{10} \text{ Дж.}$$

Внутренняя энергия газа увеличится за счет подводимой теплоты на $4 \cdot 10^{10} \text{ Дж}.$

Ответ: $\Delta U = 4 \cdot 10^{10} \text{ Дж}; A = 0.$

4.6. На сколько повысится температура воды при падении с плотины Саяно-Шушенской ГЭС высотой 222 м, если считать, что 30% потенциальной энергии воды расходуется на ее нагревание? Удельная теплоемкость воды $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$

Дано: $h = 222 \text{ м},$ $\eta = 0,3,$ $c = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}),$ $g = 9,8 \text{ м}/\text{с}^2.$	Решение. Потенциальная энергия падающей воды переходит в кинетическую и внутреннюю, т. е. $E_{\text{п}} \rightarrow E_{\text{к}} + \Delta U.$ По условию задачи, $\Delta U = \eta E_{\text{п}}.$ Следовательно, $\eta mgh = cm\Delta T,$ где $cm\Delta T$ — количество теплоты, расходуемой на нагревание воды, откуда
Найти $\Delta T.$	

$$\Delta T = \frac{\eta gh}{c}, \Delta T = \frac{0,3 \cdot 9,8 \text{ м}/\text{с}^2 \cdot 222 \text{ м}}{4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})} = 0,155 \text{ К.}$$

Ответ: $\Delta T = 0,155 \text{ К.}$

4.7. Четыре моля углекислого газа CO_2 нагреты при постоянном давлении на 100 К. Определить работу расширения, изменение внутренней энергии газа и количество теплоты, сообщенное этому газу.

Дано: $\nu = 4$ моль, $p = \text{const}$, $T = 100$ К, $R = 8,31$ Дж/(моль · К).	Решение. Согласно первому закону термодинамики количество теплоты, сообщаемое газу, $Q = \Delta U + A$, где ΔU — изменение внутренней энергии, A — работа расширения. По условию
Найти: A ; ΔU ; Q .	

$$A = \nu R \Delta T; \Delta U = 3\nu R \Delta T = 3A; Q = \Delta U + A = 4A.$$

Находим:

$$\begin{aligned} A &= 4 \text{ моль} \cdot 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 100 \text{ К} = \\ &= 3324 \text{ Дж} = 3,324 \text{ кДж}; \\ \Delta U &= 3 \cdot 3,324 \text{ кДж} = 9,972 \text{ кДж}; \\ Q &= 4 \cdot 3,324 \text{ кДж} = 13,296 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Ответ: $A = 3,324$ кДж; $\Delta U = 9,972$ кДж;
 $Q = 13,296$ кДж.

4.8. При медленном изотермическом процессе газу передано $8 \cdot 10^6$ Дж теплоты. Какую работу совершил газ? Что произойдет с его объемом?

Дано: $Q = 8 \cdot 10^6$ Дж, $T = \text{const}$.	Решение. Так как температура постоянная, то $\Delta T = 0$ и, следовательно, $\Delta U = 0$. Из первого начала термодинамики $Q = \Delta U + A$ следует $A = Q = 8 \cdot 10^6$ Дж.
Найти A .	

Газ совершил работу за счет подводимой к нему теплоты при медленном изотермическом процессе, отчего его объем увеличился.

Ответ: $A = 8 \cdot 10^6$ Дж; объем газа увеличится.

4.9. Для закалки нагретую до 1073 К стальную деталь массой 0,5 кг опустили в воду массой 10 кг при температуре 288 К. До какой температуры охладится стальная деталь?

Дано:

$$\begin{aligned}T_1 &= 1073 \text{ К}, \\m_c &= 0,5 \text{ кг}, \\c_c &= 460 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}), \\m_b &= 10 \text{ кг}, \\c_b &= 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}), \\T_2 &= 288 \text{ К}.\end{aligned}$$

Найти

Θ .

Решение.

На основании закона сохранения энергии составим уравнение теплового баланса и решим его относительно Θ :

$$\Theta = \frac{c_c m_c T_1 + c_b m_b T_2}{c_c m_c + c_b m_b};$$

$$\Theta = \frac{460 \cdot 0,5 \cdot 1073 + 4200 \cdot 10 \cdot 288}{460 \cdot 0,5 + 4200 \cdot 10} \text{ К} = \frac{12\,342\,790}{42\,230} \text{ К} = 292,3 \text{ К}.$$

Ответ: $\Theta = 292,3 \text{ К}$.

4.10. При адиабатном процессе над газом совершена работа $\Delta A = -3 \cdot 10^9 \text{ Дж}$. Как изменилась при этом внутренняя энергия газа? Что произойдет с газом — охлаждение или нагревание?

Дано:

$$\begin{aligned}A &= -3 \cdot 10^9 \text{ Дж}, \\Q &= 0.\end{aligned}$$

Найти

ΔU .

Решение.

Применим первое начало термодинамики к адиабатному процессу и получим

$$0 = \Delta U + A;$$

$$\Delta U = -A = -(-3 \cdot 10^9 \text{ Дж}) = 3 \cdot 10^9 \text{ Дж}.$$

Внутренняя энергия газа увеличится на $3 \cdot 10^9 \text{ Дж}$, газ нагреется.

Ответ: $\Delta U = 3 \cdot 10^9 \text{ Дж}$.

4.11. Автомобиль массой 10 т движется со скоростью $28,8 \text{ км/ч}$ и останавливается при торможении. Сколько теплоты выделилось во время торможения, если вся кинетическая энергия его обратилась во внутреннюю?

Дано:

$$\begin{aligned}m &= 10^4 \text{ кг}, \\v &= 8 \text{ м/с}.\end{aligned}$$

Найти:

$Q; \Delta U$.

Решение.

При торможении кинетическая энергия автомобиля полностью переходит во внутреннюю энергию, т. е. $E_k = \Delta U$. Так как работа по изменению объема тела (автомобиля) не учи-

тывается, то, по первому началу термодинамики, изменение внутренней энергии соответствует количеству теплоты, полученной или отданной телом; следовательно,

$$Q = \Delta U = E_{\kappa} = \frac{mv^2}{2};$$

$$\Delta U = \frac{10^4 \text{ кг} \cdot 64 \text{ м}^2 / \text{с}^2}{2} = 320 \text{ кДж}.$$

Ответ: $Q = \Delta U = 320 \text{ кДж}$.

5. Обратимые и необратимые изопроцессы. Второе начало термодинамики

5.1. Построить в координатных осях V, p схему замкнутого цикла изменения состояния газа по координатам его промежуточных равновесных состояний:

$$\begin{aligned} 1 (V_4, p_1) &\rightarrow \text{изобара} - 2 (V_2, p_1) \rightarrow \\ &\rightarrow \text{адиабата} - 3 (V_1, p_3) \rightarrow \text{изохора} - 4 (V_1, p_4) \rightarrow \\ &\rightarrow \text{изобара} - 5 (V_3, p_4) \rightarrow \text{адиабата} - 6 (V_4, p_2) \rightarrow \\ &\rightarrow \text{изохора} \rightarrow 1 (V_4, p_1), \end{aligned}$$

если $V_1 < V_2 < V_3 < V_4$ и $p_1 < p_2 < p_3 < p_4$.

На основании построенного замкнутого цикла ответить на вопросы:

а) Какой это цикл — прямой или обратный? Почему?

б) Какие процессы происходят между каждым равновесными состояниями газа в направлениях, указанных стрелками?

в) При каких процессах газ производит положительную работу? отрицательную? не производит никакой работы?

г) Выразить через площадь общую работу всего кругового цикла.

Решение.

На рис. 7 изображена схема искомого цикла.

а) Замкнутый цикл прямой, потому что обход замкнутой кривой, изображающей последовательность изменений состояний рабочего тела, осуществлен по часовой стрелке.

б) Процессы 1–2 — изобарное охлаждение, 2–3 — адиабатное сжатие, 3–4 — изохорное нагревание, 4–5 — изобарное нагревание, 5–6 — адиабатное расширение, 6–1 — изохорное охлаждение.

в) Газ производит положительную работу в процессах 4–5, 5–6, отрицательную работу — в процессах 1–2, 2–3; не производит никакой работы в процессах 3–4 и 6–1.

г) Газ производит положительную работу по всему замкнутому циклу $A_{\text{ц}}$, и она численно равна площади, ограниченной этим контуром S , т. е. $A_{\text{ц}} = S(1-2-3-4-5-6-1)$.

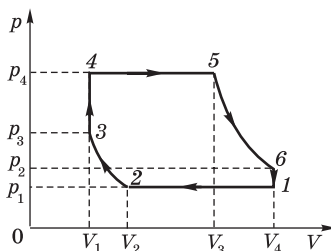


Рис. 7

6. Круговые процессы.

КПД теплового двигателя

6.1. Определить максимальный КПД тепловой машины, температуры нагревателя и холодильника которой соответственно равны 1500 К и 300 К.

Дано:

$$T_1 = 1500 \text{ К},$$

$$T_2 = 300 \text{ К}.$$

Найти

$$\eta_{\text{max}}.$$

Решение.

Коэффициент полезного действия тепловой машины по определению равен

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1};$$

$$\eta_{\text{max}} = \frac{1500 - 300}{1500} = 0,8; \eta_{\text{max}} = 80\%.$$

Ответ: $\eta_{\text{max}} = 80\%$.

6.2. Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно. За один цикл рабочее тело машины получило от нагревателя 1200 Дж теплоты, совершило механическую работу, равную 500 Дж, и отдало холодильнику 800 Дж теплоты. Может ли реально существовать такая тепловая машина? Если нет, указать, какая физическая ошибка допущена в условии задачи.

Дано: $Q_1 = 1200 \text{ Дж},$ $A = 500 \text{ Дж},$ $Q_2 = 800 \text{ Дж}.$	Решение. По закону сохранения и превращения энергии должно соблюдаться следующее равенство: $A = Q_1 - Q_2.$
Может ли существовать такая тепловая машина?	Проверим это: $500 \text{ Дж} \square 1200 \text{ Дж} - 800 \text{ Дж}.$

Ответ: Такая тепловая машина не может существовать, так как по данным условия задачи не соблюдается закон сохранения и превращения энергии.

7. Насыщенный пар и его свойства.

Влажность воздуха

7.1. Определить давление водяного пара при температуре 20 °С, если его плотность 17,3 кг/м³.

Дано: $T = 293 \text{ К},$ $\rho = 17,3 \text{ кг/м}^3,$ $M = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль},$ $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$	Решение. Преобразуем уравнение Клапейрона — Менделеева $pV = \frac{m}{M} RT$
Найти $p.$	к виду $p = \frac{\rho RT}{M}$

и вычислим p :

$$p = \frac{17,3 \text{ кг/м}^3 \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 293 \text{ К}}{18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 2,34 \text{ кПа}.$$

Ответ: $p = 2,34 \text{ кПа}.$

7.2. Насыщенный водяной пар, имевший при температуре 300 К давление $3 \cdot 10^4$ Па, отделили от жидкости и нагрели до 350 К при постоянном объеме. Определить давление пара при этой температуре.

Дано: $V = \text{const},$ $T_1 = 300 \text{ К},$ $p_1 = 3 \cdot 10^4 \text{ Па},$ $T_2 = 350 \text{ К}.$	Решение. Так как водяной пар отделили от жидкости, то он стал ненасыщенным, а ненасыщенные пары подчиняются газовым законам. Согласно условию процесс изохорный, тогда
Найти $p_2.$	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ и } p_2 = \frac{p_1 T_2}{T_1};$

$$p_2 = \frac{3 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot 350 \text{ К}}{300 \text{ К}} = 3,5 \cdot 10^4 \text{ Па}.$$

Ответ: $p_2 = 3,5 \cdot 10^4 \text{ Па}.$

7.3. Давление ненасыщенного водяного пара при температуре 300 К равно 1,5 кПа. Определить концентрацию молекул.

Дано: $T = 300 \text{ К},$ $p = 1,5 \cdot 10^3 \text{ Па},$ $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}.$	Решение. Из основного уравнения молекулярно-кинетической теории $p = knT$ выразим n :
Найти $n.$	$n = \frac{p}{kT};$

$$n = \frac{1,5 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2}{1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 300 \text{ К}} = 3,62 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}.$$

Ответ: $n = 3,62 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}.$

7.4. Относительная влажность воздуха при 20 °С равна 58%. При какой максимальной температуре выпадет роса? Плотность насыщающего пара $17,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ при 20 °С.

Дано: $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C},$ $\varphi = 0,58,$ $\rho_n = 17,3 \cdot 10^{-3}\text{ кг/м}^3.$	Решение. Определим абсолютную влажность воздуха при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$:
Найти $t_p.$	$\rho = \varphi \rho_n;$ $\rho = 0,58 \cdot 17,3 \cdot 10^{-3}\text{ кг/м}^3 =$ $= 10,034 \cdot 10^{-3}\text{ кг/м}^3.$

Роса выпадет, если абсолютная влажность воздуха будет больше плотности насыщенных паров при максимальной температуре. В данном случае абсолютная влажность воздуха $\rho = 10,034 \cdot 10^{-3}\text{ кг/м}^3$ больше плотности насыщенных водяных паров $10 \cdot 10^{-3}\text{ кг/м}^3$ при максимальной температуре $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ (берется из таблицы давлений насыщенных водяных паров). Следовательно, роса выпадет при температуре $11\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ответ: $t_p = 11\text{ }^{\circ}\text{C}$.

7.5. В комнате объемом 200 м^3 относительная влажность воздуха при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ равна 70% . Определить массу водяных паров в воздухе комнаты.

Дано: $V = 200\text{ м}^3,$ $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C},$ $\varphi = 0,7,$ $\rho_n = 17,3 \cdot 10^{-3}\text{ кг/м}^3.$	Решение. Из формулы плотности $\rho = \frac{m}{V} \text{ находим}$
Найти $m.$	$m = \rho V = \varphi \rho_n V;$ $m = 0,7 \cdot 17,3 \cdot 10^{-3}\text{ кг/м}^3 \cdot 200\text{ м}^3 = 2,422\text{ кг}.$

Ответ: $m = 2,422\text{ кг}$.

7.6. В комнате объемом 150 м^3 при температуре $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ содержится $2,07\text{ кг}$ водяных паров. Определить абсолютную и относительную влажности воздуха.

Дано:

$$V = 150 \text{ м}^3,$$

$$t = 25 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$m = 2,07 \text{ кг},$$

$$\rho_n = 23 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3.$$

Найти:

ρ ; φ .

Решение.

По формуле плотности находим абсолютную влажность:

$$\rho = \frac{m}{V};$$

$$\rho = \frac{2,07 \text{ кг}}{150 \text{ м}^3} = 13,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3.$$

Относительная влажность $\varphi = \frac{\rho}{\rho_n}$, где ρ_n — плотность насыщенных паров при данной температуре (берется из таблиц);

$$\varphi = \frac{13,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3}{23 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3} = 0,6; \varphi = 60\%.$$

Ответ: $\rho = 13,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; $\varphi = 60\%$.

8. Критическое состояние вещества

8.1. Удельная теплота парообразования воды при температуре кипения равна $2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг. Чему она равна при критической температуре 647 К? Почему?

Решение.

Удельная теплота парообразования при критической температуре любого вещества равна нулю, потому что при критической температуре исчезает граница между жидкой и паровой фазами и для перехода молекулы из одной части критического состояния в другую не требуется совершать работу.

Ответ: 0.

8.2. Какое количество теплоты необходимо сообщить 2 кг воды, взятой при 293 К, чтобы нагреть ее до кипения при нормальном давлении и полностью обратить в пар?

Дано: $m = 2 \text{ кг},$ $T = 293 \text{ К},$ $T_{\text{к}} = 373 \text{ К},$ $c = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}),$ $r = 2,26 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}.$	Решение. Согласно уравнению теплового баланса запишем $Q = cm(T_{\text{к}} - T) + rm.$
Найти $Q.$	Находим $Q = (4200 \cdot 2 \cdot 80 +$ $+ 2,26 \cdot 10^6 \cdot 2) \text{ Дж} =$ $= 5,192 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 5,2 \text{ МДж}.$

Ответ: $Q = 5,2 \text{ МДж}.$

8.3. При какой температуре закипит вода, если внешнее давление над ее поверхностью окажется равным $0,76 \text{ кПа}$? При решении задачи использовать таблицу давлений насыщенных водяных паров.

Дано: $p = 0,76 \text{ кПа}.$	Решение. Вода закипит при 3°C , т. е. при $T = 270 \text{ К}$, так как при этой температуре давление в паровоздушных пузырьках равно $0,76 \text{ кПа}$.
Найти $T.$	

Ответ: $T = 270 \text{ К}.$

8.4. Вода закипела при 160°C . Пользуясь таблицей давлений насыщенных водяных паров, определить внешнее давление над водой.

Дано: $t = 160^\circ \text{C}.$	Решение. Так как вода закипела при 160°C , т. е. при $T = 433 \text{ К}$, то внешнее давление над водой $p = 618 \text{ кПа}$.
Найти $p.$	

Ответ: $p = 618 \text{ кПа}.$

8.5. Пользуясь таблицей давлений насыщенных водяных паров, определить давление насыщенных паров, если вода закипела при 60°C .

Дано: $T = 333 \text{ К}.$	Решение. Так как вода закипела при 60°C , то давление насыщенных паров равно $19,92 \text{ кПа}$.
Найти $p_{\text{н}}.$	

Ответ: $p_{\text{н}} = 19,92 \text{ кПа}.$

9. Жидкости и их свойства

9.1. Поверхностное натяжение керосина равно $0,024 \text{ Н/м}$. Какую работу совершат силы поверхностного натяжения, если площадь поверхностного слоя керосина уменьшится на 50 см^2 ?

Дано: $\sigma = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/м}^2$, $\Delta S = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.	Решение. Работа при изменении площади поверхностного слоя равна
Найти A .	$A = \sigma \Delta S$; $A = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/м}^2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 =$ $= 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}.$

Ответ: $A = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$.

9.2. На какой глубине моря гидростатическое давление равно $4,9 \text{ МПа}$?

Дано: $p = 4,9 \cdot 10^6 \text{ Па}$, $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.	Решение. Гидростатическое давление жидкости на глубине h определяется по формуле $p = \rho gh$, откуда
Найти h .	$h = \frac{p}{\rho g}$; $h = \frac{4,9 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2}{10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2} = 500 \text{ м}.$

Ответ: $h = 500 \text{ м}$.

9.3. Под каким давлением в воде находится воздушный пузырек на глубине 2 м ? Атмосферное давление 10^5 Па . Добавочное давление, обусловленное кривой поверхностью воздушного пузырька, не учитывать.

Дано: $h = 2 \text{ м}$, $p_a = 10^5 \text{ Па}$, $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.	Решение. Давление, оказываемое на воздушный пузырек, складывается из атмосферного давления p_a и гидростатического p_r :
Найти p .	$p = p_a + p_r.$

Вычисляя, находим

$$p = p_a + \rho gh;$$

$$p = 10^5 \text{ Па} + 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 2 \text{ м} =$$

$$= 1,196 \cdot 10^5 \text{ Па} = 119,60 \text{ кПа}.$$

Ответ: $p = 119,60 \text{ кПа}$.

9.4. Для определения поверхностного натяжения воды использован метод отрыва капель. Найти поверхностное натяжение воды, если масса 200 капель воды равна 9,2 г, а диаметр шейки капли во время ее отрыва равен 2 мм.

Дано: $n = 200,$ $m = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг},$ $d = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м},$ $g = 9,8 \text{ м/с}^2.$	Решение. Исходя из условия равенства силы поверхностного натяжения и силы тяжести, при отрыве одной капли имеем $\pi \sigma d = \frac{mg}{n}$, откуда $\sigma = \frac{mg}{\pi dn};$
Найти $\sigma.$	

$$\sigma = \frac{9,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}{3,14 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot 200} = 0,072 \text{ Н/м}.$$

Ответ: $\sigma = 0,072 \text{ Н/м}$.

9.5. Определить давление воздуха в мыльном пузырьке радиусом 3 см, если атмосферное давление 10^5 Па . Поверхностное натяжение $\sigma = 0,04 \text{ Н/м}$.

Дано: $r = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м},$ $p_a = 10^5 \text{ Па},$ $\sigma = 0,04 \text{ Н/м}.$	Решение. Давление воздуха в мыльном пузырьке $p = p_a + p_d$, где p_a — атмосферное давление, p_d — добавочное (лапласовское) давление, обусловленное кривизной поверхности пузырька. В мыльной пленке две сферические поверхности, поэтому $p_d = 2\sigma \cdot 2/r = 4\sigma/r$. Тогда
Найти $p.$	

$$p = p_a + 4 \frac{\sigma}{r};$$

$$p = 10^5 \text{ Па} + \frac{4 \cdot 0,04 \text{ Н/м}}{3 \cdot 10^{-2} \text{ м}} = 100005,3 \text{ Па} \approx 100 \text{ кПа}.$$

Ответ: $p = 100 \text{ кПа}$.

9.6. Определить поверхностное натяжение спирта, если в капиллярной трубке диаметром 1 мм он поднялся на 11 мм.

Дано: $d = 10^{-3} \text{ м},$ $h = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м},$ $\rho = 7,9 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3,$ $g = 9,8 \text{ м/с}^2.$ Найти $\sigma.$	Решение. В тонкой трубке (капилляре) в случае полного смачивания жидкость понимается на высоту $h = \frac{4\sigma}{\rho g d},$ откуда
--	--

$$\sigma = \frac{\rho g h d}{4};$$

$$\sigma = \frac{7,9 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot 10^{-3} \text{ м}}{4} = 0,0213 \text{ Н/м}.$$

Ответ: 0,0213 Н/м.

9.7. Лодка, площадь поверхности подводной части которой 10 м^2 , движется со скоростью 4 м/с относительно слоя воды, удаленного от лодки на 1 см. Определить вязкость воды, если сила внутреннего трения при этом равна 4,02 Н.

Дано: $S = 10 \text{ м}^2,$ $v = 4 \text{ м/с},$ $l = 10^{-2} \text{ м},$ $F = 4,02 \text{ Н}.$ Найти $\eta.$	Решение. Согласно закону Ньютона для внутреннего трения (вязкости) $\eta = \frac{Fl}{Sv};$
---	---

$$\eta = \frac{4,02 \text{ Н} \cdot 10^{-2} \text{ м}}{10 \text{ м}^2 \cdot 4 \text{ м/с}} = 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Ответ: $\eta = 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$

9.8. Определить лапласовское давление, которое возникает под вогнутым мениском спирта в капиллярной трубке диаметром 1 мм и краевым углом 60° .

Дано: $r = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м},$ $\alpha = 60^\circ,$ $\sigma = 22 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}.$	Решение. Лапласовское давление, обусловленное кривизной поверхности жидкости,
Найти $p_{\text{л}}.$	$p_{\text{л}} = \frac{2\sigma}{r} \cos \alpha;$

$$p_{\text{л}} = \frac{2 \cdot 22 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м} \cdot 0,5}{5 \cdot 10^{-4} \text{ м}} = 44 \text{ Па}.$$

Ответ: $p_{\text{л}} = 44 \text{ Па}.$

9.9. В капиллярной трубке, находящейся на поверхности Земли, вода поднялась на 24 мм. На какую высоту поднялась бы вода в этой же трубке на Луне, если ускорение свободного падения на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле?

Дано: $h_3 = 24 \cdot 10^{-3} \text{ м},$ $g_3 = 6g_{\text{л}}.$	Решение. Так как высота подъема (опускания) жидкости в капилляре обратно пропорциональна ускорению свободного падения, то
Найти $h_{\text{л}}.$	$h_{\text{л}} : h_3 = g_3 : g_{\text{л}}.$

Отсюда находим:

$$h_{\text{л}} = \frac{h_3 g_3}{g_{\text{л}}};$$

$$h_{\text{л}} = \frac{24 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 6g_{\text{е}}}{g_{\text{е}}} = 144 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 144 \text{ мм}.$$

Ответ: $h_{\text{л}} = 144 \text{ мм}.$

10. Кристаллические тела и их свойства

10.1. Сколько атомов содержится в 20 см^3 меди при комнатной температуре?

Дано: $V = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$, $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $M = 63,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.	Решение. Так как в m килограммах вещества число молекул $N = \frac{mN_A}{M},$
Найти N .	

где M – молярная масса, $m = \rho V$, то

$$N = \frac{\rho V N_A}{M};$$

$$N = \frac{8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{63,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 1,69 \cdot 10^{24}.$$

Ответ: $N = 1,69 \cdot 10^{24}$.

10.2. Сколько молекул содержится в 100 см^3 сернистого цинка ZnS , если его плотность 3980 кг/м^3 ?

Дано: $V = 10^{-4} \text{ м}^3$, $\rho = 3980 \text{ кг/м}^3$, $M = 97,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.	Решение. Согласно решению задачи 10.1 запишем $N = \frac{\rho V N_A}{M};$
Найти N .	находим

$$N = \frac{3980 \text{ кг/м}^3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{97,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 2,46 \cdot 10^{24}.$$

Ответ: $N = 2,46 \cdot 10^{24}$.

10.3. Под действием растягивающей силы длина стержня изменилась от 80 до 80,2 см. Определить абсолютное и относительное удлинения стержня.

Дано: $l_1 = 80 \text{ см},$ $l_2 = 80,2 \text{ см}.$	Решение. Используя определения абсолютного и относительного удлинений, находим соответственно
Найти: $\Delta l; \varepsilon.$	

$$\Delta l = l_2 - l_1,$$

$$\Delta l = 80,2 \text{ см} - 80 \text{ см} = 0,2 \text{ см}$$

и

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_1}, \quad \varepsilon = \frac{0,2 \text{ см}}{80 \text{ см}} = 0,0025.$$

Ответ: $\Delta l = 0,2 \text{ см}; \varepsilon = 0,0025.$

10.4. Стальная пружина под действием силы 300 Н удлинилась на 2 см. Какой потенциальной энергией будет обладать эта пружина при растяжении на 10 см? Деформация упругая.

Дано: $F_1 = 300 \text{ Н},$ $\Delta l_1 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м},$ $\Delta l_2 = 10^{-1} \text{ м}.$	Решение. Потенциальная энергия растянутой пружины равна работе, совершенной внешней силой F по удлинению ее на Δl_2 , т. е.
Найти $W_{\text{п}}.$	

$$W_{\text{п}} = A = F \Delta l_2 =$$

$$= \frac{0 + F_2}{2} \Delta l_2 = \frac{F_2 \Delta l_2}{2}.$$

По закону Гука, абсолютные удлинения прямо пропорциональны действующим силам: $\frac{\Delta l_2}{\Delta l_1} = \frac{F_2}{F_1}$; отсюда $F_2 = \frac{F_1 \Delta l_2}{\Delta l_1}$.

Тогда

$$W_{\text{п}} = \frac{F_1 \Delta l_2^2}{2 \Delta l_1}; \quad W_{\text{п}} = \frac{300 \text{ Н} \cdot 10^{-2} \text{ м}^2}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}} = 75 \text{ Дж}.$$

Ответ: $W_{\text{п}} = 75 \text{ Дж}.$

10.5. Каким должно быть наименьшее сечение стальной проволоки длиной 4,2 м, чтобы при действии растягивающей силы 10 кН ее абсолютное удлинение не превышало 0,6 см? Модуль Юнга стали 220 ГПа.

Дано: $l = 4,2 \text{ м},$ $F = 10^4 \text{ Н},$ $\Delta l = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м},$ $E = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ Па}.$	Решение. На основании закона Гука имеем $S_{\min} = \frac{Fl}{E\Delta l};$ $S_{\min} = \frac{10^4 \text{ Н} \cdot 4,2 \text{ м}}{2,2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}} =$ $= 0,318 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 31,8 \text{ мм}^2.$
Найти $S_{\min}.$	

Ответ: $S_{\min} = 31,8 \text{ мм}^2.$

10.6. На сколько изменится длина кирпичного дома при повышении температуры на 80 К, если его первоначальная длина 100 м и коэффициент линейного расширения кирпичной кладки в данном интервале температур равен $6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$?

Дано: $\Delta T = 80 \text{ К},$ $l = 100 \text{ м},$ $\alpha = 6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}.$	Решение. Используя закон линейного расширения тел, находим $\Delta l = l\alpha\Delta T;$ $\Delta l = 100 \text{ м} \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1} \cdot 80 \text{ К} = 4,8 \text{ см}.$
Найти $\Delta l.$	

Ответ: 4,8 см.

10.7. На сколько процентов увеличится объем V нефти при изменении температуры на 50 К, если коэффициент объемного расширения в данном интервале температур равен 10^{-3} К^{-1} ?

Дано: $\Delta T = 50 \text{ К},$ $\beta = 10^{-3} \text{ К}^{-1}.$	Решение. Согласно закону объемного расширения тел $\Delta V = V\beta\Delta T;$ отсюда $\Delta V : V = \beta\Delta T;$ $\Delta V : V = 10^{-3} \text{ К}^{-1} \cdot 50 \text{ К} = 0,05 = 5\%.$
Найти $\Delta V : V.$	

Ответ: На 5%.

Основы электродинамики

1. Электрическое поле. Закон Кулона

1.1. Два тела, имеющие равные отрицательные электрические заряды, отталкиваются в воздухе ($\epsilon = 1$) с силой 0,9 Н. Определить число избыточных электронов в каждом теле, если расстояние между зарядами 8 см.

Дано: $\epsilon = 1,$ $Q_1 = Q_2 = Q,$ $F = 0,9 \text{ Н},$ $r = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м},$ $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} \text{ Кл}^2/(\text{Н} \cdot \text{м}^2),$ $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}.$	Решение. В каждом теле, имеющем заряд Q , содержится $N = \frac{Q}{e}$ электронов. Из закона Кулона $F = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$ находим
Найти $N.$	

$$Q = \sqrt{4\pi\epsilon_0 r^2 F}; N = \frac{\sqrt{4\pi\epsilon_0 r^2 F}}{e};$$

$$N = \frac{\sqrt{\frac{4\pi}{36\pi \cdot 10^9} \text{ Кл} / (\text{Н} \cdot \text{м}^2) \cdot 64 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 0,9 \text{ Н}}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 5 \cdot 10^{12}.$$

Ответ: $N = 5 \cdot 10^{12}.$

1.2. Два заряда по $4 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$, разделенные слюдой толщиной 1 см, взаимодействуют с силой $1,8 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$. Определить диэлектрическую проницаемость слюды.

Дано: $Q_1 = Q_2 = Q = 4 \cdot 10^{-8} \text{ Кл},$ $r = 10^{-2} \text{ м},$ $F = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ Н}.$	Решение. Запишем формулу закона Кулона в таком виде: $F = \frac{9 \cdot 10^9 Q_1 Q_2}{\epsilon r^2}.$
Найти $\epsilon.$	Так как $Q_1 = Q_2 = Q$, то
$\epsilon = \frac{9 \cdot 10^9 Q^2}{F r^2}, \epsilon = \frac{9 \cdot 10^9 (\overset{1}{4} \cdot \overset{2}{10^{-8}})^2 / \overset{3}{\cancel{\epsilon}} \overset{4}{\cancel{\epsilon}^2} \cdot 16 \cdot 10^{-16} \overset{5}{\cancel{\epsilon}} \overset{6}{\cancel{\epsilon}^2}}{1,8 \cdot 10^{-2} \overset{7}{4} \cdot 10^{-4} \overset{8}{10^{-4}}}$	$= 8.$

Ответ: $\epsilon = 8.$

1.3. Два электрических заряда притягиваются друг к другу в керосине с силой 7,8 Н. С какой силой они будут притягиваться, если их поместить в глицерин на расстояние, в два раза меньшее, чем в керосине? Диэлектрическая проницаемость керосина равна 2, глицерина 39.

Дано: $F_{\kappa} = 7,8 \text{ Н},$ $r_{\kappa} = 2r_{\Gamma},$ $\epsilon_{\kappa} = 2,$ $\epsilon_{\Gamma} = 39.$	Решение. По закону Кулона сила, с которой притягиваются два заряда в керосине, равна $F_{\kappa} = \frac{9 \cdot 10^9 Q_1 Q_2}{\epsilon_{\kappa} r_{\kappa}^2}$; в глицерине $F_{\Gamma} = \frac{9 \cdot 10^9 Q_1 Q_2}{\epsilon_{\Gamma} r_{\Gamma}^2}.$
Найти $F_{\Gamma}.$	

Согласно условию задачи

$$\frac{F_{\kappa}}{F_{\Gamma}} = \frac{\epsilon_{\Gamma} r_{\Gamma}^2}{\epsilon_{\kappa} r_{\kappa}^2} = \frac{\epsilon_{\Gamma} r_{\Gamma}^2}{\epsilon_{\kappa} 4r_{\Gamma}^2} = \frac{\epsilon_{\Gamma}}{4\epsilon_{\kappa}}.$$

Отсюда находим

$$F_{\Gamma} = \frac{F_{\kappa} \cdot 4\epsilon_{\kappa}}{\epsilon_{\Gamma}}, \quad F_{\Gamma} = \frac{7,8 \text{ Н} \cdot 8}{39} = 1,6 \text{ Н}.$$

Ответ: $F_{\Gamma} = 1,6 \text{ Н}.$

2. Напряженность и потенциал электрического поля

2.1. Металлическому шару радиусом 30 см сообщен заряд 6 нКл. Определить напряженность электрического поля на поверхности шара.

Дано: $r = 3 \cdot 10^{-1} \text{ м},$ $Q = 6 \cdot 10^{-9} \text{ Кл},$ $\epsilon = 1.$	Решение. Напряженность поля заряженной сферической поверхности
Найти $E.$	$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 Q}{\epsilon r^2};$

$$E = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot 6 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}}{\text{Кл}^2 \cdot 9 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2} = 600 \text{ Н/Кл}.$$

Ответ: $E = 600 \text{ Н/Кл}.$



Рис. 8

2.2. Между двумя разноименно заряженными металлическими шарами помещен свободно перемещающийся пробный положительный заряд Q , как показано на рис. 8.

Изобразить схематически линию напряженности электрического поля, проходящую через точку, в которой находится пробный заряд, и объяснить, почему она имеет такую конфигурацию.

Решение.

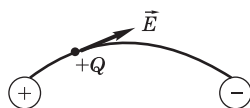


Рис. 9

Линия напряженности электрического поля показана на рис. 9. Она представляет собой кривую, касательная в каждой точке которой совпадает с направлением вектора напряженности, а его направление зависит от направления векторов напряженности суммарного электрического поля данных зарядов.

Ответ: рис. 9.

2.3. В некоторой точке поля на заряд 10^{-7} Кл действует сила $4 \cdot 10^{-3}$ Н. Найти напряженность поля в этой точке и определить заряд, создающий поле, если точка удалена от него на 0,3 м.

Дано:

$$Q_1 = 10^{-7} \text{ Кл},$$

$$F_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Н},$$

$$r = 3 \cdot 10^{-1} \text{ м},$$

$$\varepsilon = 1.$$

Найти:

$$E_1; Q.$$

Решение.

Согласно определению напряженности электрического поля

$$E_1 = \frac{F_1}{Q_1};$$

$$E_1 = \frac{4 \cdot 10^{-3} \text{ Н}}{10^{-7} \text{ Кл}} = 4 \cdot 10^4 \text{ Н/Кл}.$$

Напряженность поля, созданного точечным зарядом Q , равна

$$E_1 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2},$$

откуда $Q = 4\pi\epsilon_0\epsilon r^2 E_1$. Вычисляя, находим

$$Q = \frac{9 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 \cdot 4 \cdot 10^4 \frac{\text{В}}{\text{м}} \cdot 8 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^9 \frac{\text{В}}{\text{м}} \cdot \text{м}^2} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Кл.}$$

Ответ: $E_1 = 4 \cdot 10^4 \text{ Н/Кл}$; $Q = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$.

2.4. В однородном электрическом поле электрон движется с ускорением $a = 3,2 \cdot 10^{13} \text{ м/с}^2$. Определить напряженность поля. Масса электрона $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$.

Дано: $a = 3,2 \cdot 10^{13} \text{ м/с}^2$, $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.	Решение. На электрон действует кулоновская сила $F = eE$ и сообщает ускорение a . По второму закону Ньютона, $F = ma$, или $eE = ma$.
Найти E .	

Отсюда находим напряженность электрического поля

$$E = \frac{ma}{e}; E = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 3,2 \cdot 10^{13} \text{ м/с}^2}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 182 \text{ Н/Кл.}$$

Ответ: $E = 182 \text{ Н/Кл}$.

2.5. Два заряда $6 \cdot 10^{-7}$ и $-2 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$ расположены в керосине на расстоянии 0,4 м друг от друга. Определить напряженность поля в точке O , расположенной на середине отрезка прямой, соединяющего центры зарядов.

Дано: $Q_1 = 6 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$, $Q_2 = -2 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$, $r = r_1 = r_2 = 2 \cdot 10^{-1} \text{ м}$, $\epsilon = 2$.	Решение. Согласно принципу суперпозиции электрических полей, имеем $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. Так как векторы $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$ направлены по одной прямой и в одну сторону, то напряженность поля в точке O
Найти E .	

будет равна сумме модулей напряженностей $\left| \vec{E}_1 \right|$ и $\left| \vec{E}_2 \right|$:

$$E = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} = \frac{Q_1 + Q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 (Q_1 + Q_2)}{\epsilon r^2},$$

$$E = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 8 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-2}} \text{ Н/Кл} = 9 \cdot 10^4 \text{ Н/Кл}.$$

Ответ: $E = 9 \cdot 10^4 \text{ Н/Кл}$.

2.6. Какую скорость приобретет в электрическом поле электрон, находящийся в состоянии покоя, если ускоряющая разность потенциалов 1000 В? Масса электрона $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$.

Дано:

$$U = 10^3 \text{ В},$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг},$$

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

Найти

v .

Решение.

Электрон, двигаясь в электрическом поле, приобретает кинетическую энергию $W_k = mv^2/2$. Работа сил электрического поля по перемещению заряда (электрона) равна

$A = eU$. По закону сохранения энергии $A = W_k$, или $eU = mv^2/2$. Отсюда

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}; v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10^3 \text{ В}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} = 1,86 \cdot 10^7 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v = 1,86 \cdot 10^7 \text{ м/с}$.

2.7. Между двумя горизонтально расположенными пластинами, заряженными до 10 кВ, удерживается в равновесии пылинка массой $2 \cdot 10^{-10} \text{ кг}$. Определить заряд пылинки, если расстояние между пластинами 5 см.

Дано:

$$U = 10^4 \text{ В},$$

$$m = 2 \cdot 10^{-10} \text{ кг},$$

$$d = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м},$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2.$$

Найти

Q .

Решение.

Пылинка удерживается в равновесии, когда ее сила тяжести mg будет равна удерживающей кулоновской силе F_k , т. е. $F_k = mg$. Сила

$$F_k = QE = \frac{QU}{d},$$

так как $E = \frac{U}{d}$. Следовательно,

$$Q \frac{U}{d} = mg,$$

откуда

$$Q = \frac{mgd}{U},$$

$$Q = \frac{2 \cdot 10^{-10} \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{10^4 \text{ В}} = 9,8 \cdot 10^{-15} \text{ Кл.}$$

Ответ: $Q = 9,8 \cdot 10^{-15} \text{ Кл.}$

2.8. Электрический потенциал на поверхности шара равен 120 В. Чему равны напряженность и потенциал внутри этого шара?

Дано: $\varphi_{\text{ш}} = 120 \text{ В.}$	Решение.
Найти $E_{\text{вн}}; \varphi_{\text{вн}}.$	Так как электрическое поле внутри заряженного проводника отсутствует, то напряженность поля внутри него равна нулю. Электрические заряды на поверхности шара находятся в статическом, равновесном состоянии, т. е. разность потенциалов в любых двух точках, взятых на поверхности шара или внутри него, равна нулю, т. е. потенциалы всех точек проводника равны между собой. Следовательно, потенциал внутри металлического шара равен 120 В.

Ответ: $E_{\text{вн}} = 0; \varphi_{\text{вн}} = 120 \text{ В.}$

2.9. Металлическому шару радиусом 0,1 м сообщен заряд -5 нКл . Определить напряженность и потенциал электрического поля в центре шара.

Дано: $r = 10^{-1} \text{ м,}$ $Q = -5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл,}$ $\varepsilon = 1.$	Решение.
Найти: $E; \varphi.$	Напряженность электрического поля в центре шара равна нулю, т. е. $E = 0$, так как все заряды располагаются на поверхности шара.

Потенциал в центре шара равен потенциалу электрического поля на его поверхности, так как поверхность металлического шара эквипотенциальна. Поэтому запишем

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r} = \frac{9 \cdot 10^9 Q}{\epsilon_r r};$$

$$\varphi = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2 \cdot (-5 \cdot 10^{-9}) \text{ Кл}}{\text{Кл}^2 \cdot 10^{-1} \text{ м}} = -450 \text{ В}.$$

Ответ: $E = 0$; $\varphi = -450 \text{ В}$.

3. Электрическая емкость. Конденсаторы

3.1. Обладает ли электрической емкостью незаряженный проводник?

Решение.

Электрическая емкость проводника зависит от его формы, размеров, площади внешней поверхности и от свойств окружающей среды, но не зависит ни от массы, ни от рода вещества, ни от заряда, т. е. незаряженный (нейтральный) проводник обладает электроемкостью.

Ответ: Да.

3.2. Плоскому конденсатору электроемкостью 500 пФ сообщен заряд $2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$. Определить энергию электрического поля конденсатора.

Дано: $C = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$, $Q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$.	Решение. Энергия электрического поля заряженного конденсатора $W = \frac{QU}{2}$.
Найти W.	Согласно определению, электроемкость $C = \frac{Q}{U}$, откуда $U = \frac{Q}{C}$.

Находим:

$$W = \frac{Q^2}{2C}; W = \frac{4 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2}{2 \cdot 5 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}.$$

Ответ: $W = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$.

3.3. При сообщении конденсатору заряда $5 \cdot 10^{-6}$ Кл его энергия оказалась равной 0,01 Дж. Определить напряжение на обкладках конденсатора.

Дано: $Q = 5 \cdot 10^{-6}$ Кл, $W = 0,01$ Дж.	Решение. Энергия электрического поля заряженного конденсатора
Найти U .	$W = \frac{QU}{2},$ отсюда напряжение на обкладках конденсатора

$$U = \frac{2W}{Q}; U = \frac{2 \cdot 10^{-2} \text{ Дж}}{5 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}} = 4 \cdot 10^3 \text{ В} = 4 \text{ кВ}.$$

Ответ: $U = 4$ кВ.

3.4. Напряженность электрического поля конденсатора электроемкостью 0,8 мкФ равна 1000 В/м. Определить энергию электрического поля конденсатора, если расстояние между его обкладками равно 1 мм.

Дано: $C = 0,8 \cdot 10^{-6}$ Ф, $E = 10^3$ В/м, $d = 10^{-3}$ м.	Решение. Так как энергия электрического поля конденсатора $W = \frac{CU^2}{2}$, а потенциал и напряженность связаны соотношением $U = Ed$, получим
Найти W .	

$$W = \frac{Cd^2 E^2}{2}; W = \frac{0,8 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot 10^6 \text{ В}^2}{2 \text{ м}^2} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}.$$

Ответ: $W = 4 \cdot 10^{-7}$ Дж.

3.5. Определить электроемкость батареи конденсаторов, изображенной на рис. 10, если электроемкости конденсаторов одинаковы и равны 600 мкФ каждая.

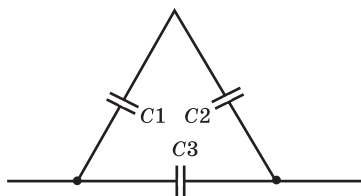


Рис. 10

Дано: $C_1 = C_2 =$ $= C_3 = C =$ $= 600 \text{ мкФ.}$	Решение. Конденсаторы C_1 и C_2 соединены последовательно, поэтому
Найти $C_6.$	$C_{1-2} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$ Конденсаторы C_{1-2} и C_3 соединены параллельно, поэтому

$$C_6 = C_{1-2} + C_3 = \frac{C^2}{2C} + C = 1,5 C;$$

$$C_6 = 600 \text{ мкФ} \cdot 1,5 = 900 \text{ мкФ.}$$

Ответ: $C_6 = 900 \text{ мкФ.}$

4. Постоянный электрический ток.

Закон Ома для участка цепи

4.1. Определить скорость дрейфа электронов проводимости в медном проводнике, по которому проходит ток 5 А, если площадь его поперечного сечения 20 мм², концентрация электронов проводимости $n_0 = 9 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$. За какое время электрон переместится по проводнику на 1 см? Электрический ток постоянный.

Дано: $I = 5 \text{ А,}$ $S = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2,$ $n_0 = 9 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3},$ $l = 10^{-2} \text{ м,}$ $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$	Решение. Скорость дрейфа электронов проводимости определим из формулы $I = en_0 S v$:
Найти: v ; $t.$	$v = \frac{I}{en_0 S};$

$$v = \frac{5 \text{ А}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 9 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2} =$$

$$= 1,74 \cdot 10^{-5} \text{ м/с} = 0,0174 \text{ мм/с.}$$

Принимая среднюю скорость дрейфа электронов проводимости постоянной в постоянном токе, получим

$$t = \frac{l}{v}; t = \frac{10^{-2} \text{ м}}{1,74 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}} = 575 \text{ с} = 9 \text{ мин } 35 \text{ с.}$$

Ответ: $v = 0,0174 \text{ мм/с}; t = 9 \text{ мин } 35 \text{ с.}$

4.2. Определить концентрацию электронов проводимости (число электронов в 1 м^3) в цинке, если плотность цинка $\rho = 7,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ и его молярная масса $M = 65,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Число электронов проводимости равно числу атомов в металле.

Дано: $V = 1 \text{ м}^3$, $\rho = 7,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $M = 65,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$. Найти n.	Решение. Число атомов в металле $n = \frac{m}{M} N_A$, но $m = \rho V$, поэтому $n = \frac{\rho V N_A}{M};$
---	---

$$n = \frac{7,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 1 \text{ м}^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{65,4 \cdot 10^{-3} \text{ моль}^{-1} \cdot \text{кг} \cdot \text{моль}} = 6,5 \cdot 10^{28}.$$

Ответ: $n = 6,5 \cdot 10^{28}$.

4.3. Является ли источник тока источником электрических зарядов в цепи? Объяснить.

Решение.

В источнике тока под действием сторонних сил происходит непрерывное разделение электрических зарядов, в результате чего на его полюсах поддерживается разность потенциалов. Таким образом, источник тока не создает заряды: заряды невозможно ни создать, ни уничтожить. Заряды могут только перемещаться. Источник тока можно сравнить с насосом, который, подавая жидкость по трубам на некоторую высоту, создает разность потенциальных уровней. Как насос не создает жидкость, так и источник тока не создает электрических зарядов.

Ответ: Нет.

4.4. Через лампочку накаливания течет ток 0,8 А. Сколько электронов проводимости (свободных электронов) проходит через поперечное сечение волоска лампы в 1 с?

Дано: $I = 0,8 \text{ А},$ $t = 1 \text{ с},$ $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}.$	Решение. Сила тока, по определению, $I = \frac{Q}{t},$ откуда $Q = It.$ Тогда $N = \frac{Q}{e} = \frac{It}{e};$
Найти $N.$	

$$N = \frac{0,8 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 5 \cdot 10^{18}.$$

Ответ: $N = 5 \cdot 10^{18}.$

4.5. Определить разность потенциалов на концах резистора сопротивлением 50 Ом, по которому идет ток 2 А. Построить вольт-амперную характеристику этого резистора.

Дано: $R = 50 \text{ Ом},$ $I = 2 \text{ А}.$	Решение. Согласно закону Ома $\varphi_1 - \varphi_2 = IR;$
Найти $\varphi_1 - \varphi_2.$	$\varphi_1 - \varphi_2 = 2 \text{ А} \cdot 50 \text{ Ом} = 100 \text{ В}.$

На рис. 11 дана вольт-амперная характеристика проводника.

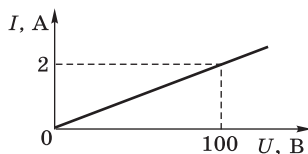


Рис. 11

Ответ: $\varphi_1 - \varphi_2 = 100 \text{ В}.$

5. Закон Ома для полной цепи

5.1. ЭДС источника электрической энергии равна 100 В. При внешнем сопротивлении 49 Ом сила тока в цепи 2 А. Найти падение напряжения внутри источника и его внутреннее сопротивление.

Дано: $\mathcal{E} = 100 \text{ В},$ $R = 49 \text{ Ом},$ $I = 2 \text{ А}.$	Решение. Закон Ома для полной цепи $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$ откуда получим $\mathcal{E} = IR + Ir$, или
Найти: $U_{\text{внутр}}; r.$	$U_{\text{внутр}} = \mathcal{E} - IR;$ $U_{\text{внутр}} = 100 \text{ В} - 2 \text{ А} \cdot 49 \text{ Ом} = 2 \text{ В};$ $r = \frac{U_{\text{внутр}}}{I}; \quad r = \frac{2 \text{ В}}{2 \text{ А}} = 1 \text{ Ом}.$

Ответ: $U_{\text{внутр}} = 2 \text{ В}; r = 1 \text{ Ом}.$

5.2. Какую работу должна совершить сторонняя сила при разделении зарядов +10 и -10 Кл, чтобы ЭДС источника тока была 3,3 В?

Дано: $Q_1 = 10 \text{ Кл},$ $Q_2 = -10 \text{ Кл},$ $\mathcal{E} = 3,3 \text{ В}.$	Решение. При разделении зарядов Q_1 и Q_2 сторонняя сила совершила работу по перемещению заряда $ Q_1 = Q_2 = 10 \text{ Кл}$, потому что электроны, общий заряд которых -10 Кл, были переброшены от положительного полюса источника тока на отрицательный. Эта работа
Найти $A.$	

$$A = Q\mathcal{E}, \quad A = 10 \text{ Кл} \cdot 3,3 \text{ В} = 33 \text{ Дж}.$$

Ответ: $A = 33 \text{ Дж}.$

5.3. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока, если при внешнем сопротивлении 3,9 Ом сила тока в цепи равна 0,5 А, а при внешнем сопротивлении 1,9 Ом — 1 А.

Дано:

$$R_1 = 3,9 \text{ Ом},$$

$$I_1 = 0,5 \text{ А},$$

$$R_2 = 1,9 \text{ Ом},$$

$$I_2 = 1 \text{ А}.$$

Найти:

$$\mathcal{E}; r.$$

Решение.

Используя закон Ома для полной цепи, составим систему уравнений:

$$\begin{cases} \mathcal{E} = I_1 (R_1 + r), \\ \mathcal{E} = I_2 (R_2 + r). \end{cases}$$

Решив систему уравнений, получим

$$\mathcal{E} = \frac{I_1 I_2 (R_1 - R_2)}{I_2 - I_1}; \quad r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1};$$

$$\mathcal{E} = \frac{0,5 \text{ А} \cdot 1 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом}}{0,5 \text{ А}} = 2 \text{ В};$$

$$r = \frac{0,5 \text{ А} \cdot 3,9 \text{ Ом} - 1 \text{ А} \cdot 1,9 \text{ Ом}}{0,5 \text{ А}} = 0,1 \text{ Ом}.$$

Ответ: $\mathcal{E} = 2 \text{ В}; r = 0,1 \text{ Ом}.$

5.4. Определить силу тока при коротком замыкании батареи с ЭДС 12 В, если при замыкании ее на внешний резистор сопротивлением 4 Ом сила тока в цепи равна 2 А. Почему при коротком замыкании падение напряжения на внешнем участке цепи близко к нулю, хотя в этом случае в цепи существует наибольший ток?

Дано:

$$\mathcal{E} = 12 \text{ В},$$

$$R = 4 \text{ Ом},$$

$$I = 2 \text{ А}.$$

Найти

$$I_{\text{к.з.}}$$

Решение.

Используя закон Ома для полной цепи и учитывая, что при коротком замыкании $R = 0$, находим

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{\mathcal{E}}{r}; \quad r = \frac{\mathcal{E} - IR}{I};$$

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{\mathcal{E} I}{\mathcal{E} - IR}; \quad I_{\text{к.з.}} = \frac{12 \text{ В} \cdot 2 \text{ А}}{12 \text{ В} - 2 \text{ А} \cdot 4 \text{ Ом}} = 6 \text{ А}.$$

Ответ: $I_{\text{к.з.}} = 6 \text{ А}.$ При коротком замыкании $R \rightarrow 0$, поэтому и $U \rightarrow 0$, так как $U = IR$, и работа сил электрического поля по перемещению зарядов практически равна нулю.

5.5. Разность потенциалов на клеммах разомкнутого источника тока 24 В. При включении внешней цепи разность потенциалов на клеммах источника тока стала равной 22 В, а сила тока 4 А. Определить внутреннее сопротивление источника тока, сопротивление внешнего участка цепи и полное сопротивление цепи.

Дано: $\mathcal{E} = 24 \text{ В},$ $U = 22 \text{ В},$ $I = 4 \text{ А}.$	Решение. Используя закон Ома для участка цепи и для полной цепи, находим
Найти: $R; r; R_{\text{полн}}.$	$R = \frac{U}{I}; R = \frac{22 \text{ В}}{4 \text{ А}} = 5,5 \text{ Ом};$

$$r = \frac{\mathcal{E} - U}{I}; r = \frac{24 \text{ В} - 22 \text{ В}}{4 \text{ А}} = 0,5 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{полн}} = R + r; R_{\text{полн}} = 6 \text{ Ом}.$$

Ответ: $R = 5,5 \text{ Ом}; r = 0,5 \text{ Ом}; R_{\text{полн}} = 6 \text{ Ом}.$

6. Сопротивление проводника

6.1. Сопротивление вольфрамовой нити лампы накаливания при температуре 20 °С равно 20 Ом, а при 3000 °С равно 250 Ом. Определить температурный коэффициент сопротивления вольфрама.

Дано: $t_1 = 20 \text{ °С},$ $R_1 = 20 \text{ Ом},$ $t_2 = 3000 \text{ °С},$ $R_2 = 250 \text{ Ом}.$	Решение. Сопротивления проводников при разных температурах определяем по формулам: $R_1 = R_0(1 + \alpha t_1); R_2 = R_0(1 + \alpha t_2).$
Найти $\alpha.$	Согласно условию задачи находим $\frac{R_1}{R_2} = \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2}; \alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1};$

$$\alpha = \frac{250 - 20}{20 \cdot 3000 - 250 \cdot 20} \text{ К}^{-1} = 0,0042 \text{ К}^{-1}.$$

Ответ: $\alpha = 0,0042 \text{ К}^{-1}.$

6.2. Сопротивление волоска лампы накаливания 50 Ом, сопротивление подводящих проводов 0,4 Ом. Определить падение напряжения на лампе накаливания и напряжение в подводящих проводах, если по ним проходит ток 2 А.

Дано: $R_1 = 50 \text{ Ом},$ $R_2 = 0,4 \text{ Ом},$ $I = 2 \text{ А}.$	Решение. Напряжение (падение напряжения) равно произведению силы тока на сопротивление проводника: $U_{\text{пад}} = IR_1 = 2 \text{ А} \cdot 50 \text{ Ом} = 100 \text{ В};$ $U_{\text{пр}} = IR_2 = 2 \text{ А} \cdot 0,4 \text{ Ом} = 0,8 \text{ В}.$
Найти: $U_{\text{пад}}; U_{\text{пр}}.$	

Ответ: $U_{\text{пад}} = 100 \text{ В}; U_{\text{пр}} = 0,8 \text{ В}.$

6.3. Допустимый ток для изолированного медного провода площадью поперечного сечения 1 мм² при продолжительной работе электродвигателя равен 11 А. Сколько метров такой проволоки можно включить в сеть с напряжением 110 В без дополнительного сопротивления?

Дано: $S = 10^{-6} \text{ м}^2,$ $I = 11 \text{ А},$ $U = 110 \text{ В},$ $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$	Решение. Из закона Ома для участка цепи находим сопротивление проводника $R = \frac{U}{I}$ и $R = \frac{\rho l}{S},$
Найти $l.$	откуда

$$\frac{U}{I} = \frac{\rho l}{S} \text{ и } l = \frac{US}{\rho I}; l = \frac{110 \text{ В} \cdot 10^{-6} \text{ м}^2}{1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 11 \text{ А}} = 588,2 \text{ м}.$$

Ответ: $l = 588,2 \text{ м}.$

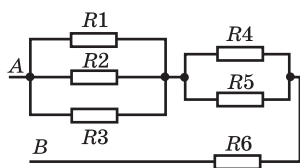


Рис. 12

6.4. На рис. 12 дана схема соединения шести одинаковых резисторов сопротивлением по 60 Ом. Определить силу тока в каждом резисторе, если напряжение между точками А и В равно 220 В.

Дано: $R_1 = R_2 = \dots = R_6 =$ $= R = 60 \text{ Ом},$ $U_{AB} = 220 \text{ В}.$	Решение. При параллельном соединении n одинаковых резисторов общее сопротивление $R_{06} = R/n$. Следовательно,
Найти: $I_1 = I_2 = I_3;$ $I_4 = I_5; I_6.$	$R_{1-3} = \frac{R}{3} = 20 \text{ Ом};$

$$R_{4-5} = \frac{R}{2} = 30 \text{ Ом}.$$

Общее сопротивление цепи

$$R_{AB} = R_{1-6} = R_{1-3} + R_{4-5} + R_6;$$

$$R_{AB} = 20 \text{ Ом} + 30 \text{ Ом} + 60 \text{ Ом} = 110 \text{ Ом}.$$

При последовательном соединении резисторов R_{1-3} , R_{4-5} и R_6 имеем

$$U_{1-3} [U_{4-5} [U_6 = R_{1-3} : R_{4-5} : R_6 = 2 [3 [6.$$

Так как $U_{1-3} + U_{3-4} + U_6 = 220 \text{ В}$, то

$$U_{1-3} = 220 \text{ В} \cdot \frac{2}{11} = 40 \text{ В}; U_{3-4} = 220 \text{ В} \cdot \frac{3}{11} = 60 \text{ В};$$

$$U_6 = 220 \text{ В} \cdot \frac{6}{11} = 120 \text{ В}.$$

Силу тока в каждом резисторе определим по закону Ома для цепи без ЭДС:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \frac{U_{1-3}}{3R_{1-3}} = \frac{40 \text{ В}}{3 \cdot 20 \text{ Ом}} = 0,67 \text{ А};$$

$$I_4 = I_5 = \frac{U_{4-5}}{2R_{4-5}} = \frac{60 \text{ В}}{2 \cdot 30 \text{ Ом}} = 1 \text{ А};$$

$$I_6 = \frac{U_6}{R_6} = \frac{120 \text{ В}}{60 \text{ Ом}} = 2 \text{ А}.$$

Ответ: $I_1 = I_2 = I_3 = 0,67 \text{ А}; I_4 = I_5 = 1 \text{ А}; I_6 = 2 \text{ А}.$

6.5. Найти защитное сопротивление проводника, который надо включить последовательно с лампой, рассчитанной на напряжение 110 В и силу тока 2 А, в сеть с напряжением 220 В.

Дано: $U = 110 \text{ В},$ $I_0 = 2 \text{ А},$ $U_0 = 220 \text{ В}.$	Решение. Напряжение на защитном сопротивлении $U_{\text{защ}} = U_0 - U$. При силе тока I_0 имеем
Найти $R_{\text{защ}}.$	$R_{\text{защ}} = \frac{U_0 - U}{I_0};$

$$R_{\text{защ}} = \frac{220 \text{ В} - 110 \text{ В}}{2 \text{ А}} = 55 \text{ Ом}.$$

Ответ: $R_{\text{защ}} = 55 \text{ Ом}.$

7. Соединение источников тока

7.1. Как надо соединить два элемента в батарею — последовательно или параллельно, — чтобы во внешней цепи сопротивлением 8 Ом получить наибольшую силу тока? ЭДС элемента 24 В, его внутреннее сопротивление 2 Ом.

Дано: $R = 8 \text{ Ом},$ $\mathcal{E} = 24 \text{ В},$ $r = 2 \text{ Ом}.$	Решение. Чтобы ответить на вопрос задачи, надо сравнить силы токов при разных соединениях. При последовательном соединении двух одинаковых элементов в батарею $I_1 = \frac{2\mathcal{E}}{R + 2r}$, при параллельном
Найти $I_1[I_2.$	

соединении $I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R + \frac{r}{2}}$. Сравним I_1 и I_2 :

$$I_1[I_2 = (2R + r)[(R + 2r);$$

$$I_1[I_2 = (2 \cdot 8 + 2)[(8 + 2 \cdot 2) = 18[12 = 1,5.$$

При последовательном соединении элементов в батарее сила тока будет в 1,5 раза больше, чем при параллельном соединении.

Ответ: $I_1 | I_2 = 1,5$.

7.2. Четыре аккумулятора с ЭДС 20 В и внутренним сопротивлением 0,2 Ом каждый соединены параллельно одноименными полюсами. Каково должно быть сопротивление внешней цепи, чтобы сила тока в ней не превышала 2 А?

Дано:

$$\mathcal{E} = 20 \text{ В},$$

$$r = 1,2 \text{ Ом},$$

$$m = 4,$$

$$I = 2 \text{ А}.$$

Найти

R .

Решение.

Так как аккумуляторы соединены параллельно, то согласно закону Ома для полной цепи

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r/m};$$

$$R = \frac{\mathcal{E}}{I} - \frac{r}{m};$$

$$R = \frac{20 \text{ В}}{2 \text{ А}} - \frac{1,2 \text{ Ом}}{4} = 10 \text{ Ом} - 0,3 \text{ Ом} = 9,7 \text{ Ом}.$$

Ответ: Чтобы сила тока не превышала 2 А, необходимо соблюдать условие $R \geq 9,7 \text{ Ом}$.

7.3. Три источника тока с ЭДС 1,1 В и внутренним сопротивлением 0,9 Ом каждый соединены последовательно разноименными полюсами и замкнуты на внешнюю цепь сопротивлением 3,9 Ом. Определить силу тока в цепи.

Дано:

$$\mathcal{E} = 1,1 \text{ В},$$

$$r = 0,9 \text{ Ом},$$

$$R = 3,9 \text{ Ом},$$

$$n = 3.$$

Найти

I .

Решение.

При последовательном соединении n одинаковых источников тока сила тока батареи равна

$$I = \frac{n\mathcal{E}}{R + nr};$$

$$I = \frac{3 \cdot 1,1 \text{ В}}{3,9 \text{ Ом} + 0,9 \text{ Ом} \cdot 3} = 0,5 \text{ А}.$$

Ответ: $I = 0,5 \text{ А}$.



Рис. 13

рис. 13. Определить силу тока короткого замыкания батареи.

7.4. Два аккумулятора с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 60$ В и $\mathcal{E}_2 = 40$ В и внутренними сопротивлениями $r_1 = 4$ Ом и $r_2 = 1$ Ом соединены в батарею, как показано на

Дано:

$$\mathcal{E}_1 = 60 \text{ В},$$

$$\mathcal{E}_2 = 40 \text{ В},$$

$$r_1 = 4 \text{ Ом},$$

$$r_2 = 1 \text{ Ом}.$$

Найти

$$I_{\text{к.з.}}$$

Решение.

Согласно определению $I_{\text{к.з.}} = \mathcal{E}_6 / r_6$.

Так как ЭДС аккумуляторов имеют противоположные направления, то (см. рис. 13) $\mathcal{E}_6 = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2$; $r_6 = r_1 + r_2$. Тогда

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{r_1 + r_2}, \quad I_{\text{к.з.}} = \frac{20 \text{ В}}{5 \text{ Ом}} = 4 \text{ А}.$$

Ответ: $I_{\text{к.з.}} = 4 \text{ А}.$

7.5. Два гальванических элемента с ЭДС $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E} = 10$ В и внутренними сопротивлениями $r_1 = 0,6$ Ом и $r_2 = 0,3$ Ом соединены параллельно, как показано на рис. 14. Определить силу тока, проходящего через резистор сопротивлением $4,8$ Ом, и напряжение на зажимах батареи.

Дано:

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 =$$

$$= \mathcal{E} = 10 \text{ В},$$

$$r_1 = 0,6 \text{ Ом},$$

$$r_2 = 0,3 \text{ Ом},$$

$$R = 4,8 \text{ Ом}.$$

Найти:

$$I; U.$$

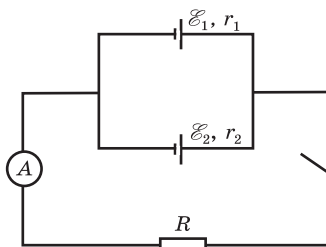


Рис. 14

Решение.

Так как гальванические элементы имеют одинаковые ЭДС и соединены параллельно одноименными полюса-

ми, то $\mathcal{E}_6 = \mathcal{E} = 10$ В; $r_6 = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$.

По закону Ома для полной цепи сила тока

$$I = \frac{\mathcal{E}_6}{R + r_6} = \frac{\mathcal{E}}{R + \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}}; I = \frac{10 \text{ В}}{4,8 \text{ Ом} + \frac{0,6 \text{ Ом} \cdot 0,3 \text{ Ом}}{0,6 \text{ Ом} + 0,3 \text{ Ом}}} = 2 \text{ А}.$$

Напряжение на зажимах батареи

$$U = IR, U = 2 \text{ А} \cdot 4,8 \text{ Ом} = 9,6 \text{ В}.$$

Ответ: $I = 2 \text{ А}$; $U = 9,6 \text{ В}$.

8. Закон Кирхгофа для разветвленной цепи

8.1. На рис. 15 дана схема сложной электрической цепи постоянного тока. Определить силу тока в каждой ветви цепи и его направление, а также падение напряжения на резисторе R , если ЭДС и внутренние сопротивления источников тока соответственно равны $\mathcal{E}_1 = 20 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 42 \text{ В}$,

$r_1 = 2 \text{ Ом}$, $r_2 = 4 \text{ Ом}$, сопротивление резистора $R = 26 \text{ Ом}$.

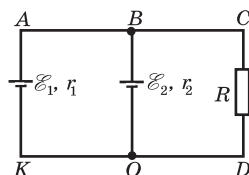


Рис. 15

Дано:

$$\mathcal{E}_1 = 20 \text{ В},$$

$$\mathcal{E}_2 = 42 \text{ В},$$

$$r_1 = 2 \text{ Ом},$$

$$r_2 = 4 \text{ Ом},$$

$$R = 26 \text{ Ом}.$$

Найти:

$$I_1; I_2; I_3; U_3.$$

Решение.

Выберем условно направления токов в цепи: I_1 — от K к A , I_2 — от B к O и I_3 — от D к C .

Запишем уравнение токов по правилу узлов:

$$I_2 - I_1 - I_3 = 0 \text{ (узел } O\text{)}.$$

Составим уравнения падений напряжений в замкнутых контурах:

контур $АВОКА$

$$I_2 r_2 - \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_1 + I_1 r_1 = 0,$$

$$4I_2 - 42 + 20 + 2I_1 = 0,$$

$$I_1 + 2I_2 = 11;$$

контур $BCDOB$

$$\begin{aligned} -I_2 r_2 + \mathcal{E}_1 - I_3 R &= 0, \\ -4I_2 + 42 - 26I_3 &= 0, \\ 2I_2 + 13I_3 &= 21. \end{aligned}$$

Составим систему уравнений и решим ее:

$$\begin{cases} I_1 + I_3 = I_2, \\ I_1 + 2I_2 = 11, \\ 2I_2 + 13I_3 = 21. \end{cases}$$

Силы токов и их направления: $I_1 = 3$ А (от K к A), $I_2 = 4$ А (от B к O), $I_3 = 1$ А (от D к C), падение напряжения на резисторе R равно

$$U_3 = I_3 R = 1 \text{ А} \cdot 26 \text{ Ом} = 26 \text{ В}.$$

Ответ: $I_1 = 3$ А; $I_2 = 4$ А; $I_3 = 1$ А; $U_3 = 26$ В.

8.2. На рис. 16 дана схема сложной электрической цепи постоянного тока. Определить значения и направления токов, проходящих через резисторы, сопротивления которых $R_1 = R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $R_4 = 4$ Ом и ЭДС источников тока $\mathcal{E}_1 = 30$ В, $\mathcal{E}_2 = 4$ В, $\mathcal{E}_3 = 8$ В и $\mathcal{E}_4 = 6$ В. Внутреннее сопротивление источников тока не учитывать.

Дано:

$$\begin{aligned} R_1 &= R_2 = 2 \text{ Ом}, \\ R_3 &= 6 \text{ Ом}, \\ R_4 &= 4 \text{ Ом}, \\ \mathcal{E}_1 &= 30 \text{ В}, \\ \mathcal{E}_2 &= 4 \text{ В}, \\ \mathcal{E}_3 &= 8 \text{ В}, \\ \mathcal{E}_4 &= 6 \text{ В}. \end{aligned}$$

Найти:

$$I_1; I_3; I_4.$$

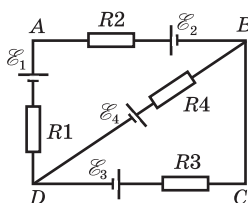


Рис. 16

Решение.

Электрическая цепь состоит из двух узлов (B и D) и трех ветвей (BAD , BD и DCD). В каждой ветви ток может идти только в одном направлении.

Выберем условно направления токов в каждой ветви: I_1 — от B к A и D , I_3 — от D к C и B , I_4 — от D к B через R_4 .

Запишем уравнение токов по правилу узлов:

$$I_3 + I_4 = I_1.$$

Составим уравнения падений напряжений в замкнутых контурах:

контур $ABDA$

$$-I_1 R_2 - \mathcal{E}_2 - I_4 R_4 - \mathcal{E}_4 - I_1 R_1 + \mathcal{E}_1 = 0,$$

$$-I_1(R_1 + R_2) - \mathcal{E}_2 - I_4 R_4 - \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_1 = 0,$$

$$-4I_1 - 4 - 4I_4 - 6 + 30 = 0,$$

$$I_1 + I_4 = 5;$$

контур $BCDB$

$$-I_3 R_3 - \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 + I_4 R_4 = 0,$$

$$-6I_3 - 8 + 6 + 4I_4 = 0,$$

$$-3I_3 + 2I_4 = 1.$$

Составим систему уравнений и решим ее:

$$\begin{cases} I_3 + I_4 = I_1, \\ I_1 + I_4 = 5, \\ -3I_3 + 2I_4 = 1; \end{cases} \quad \begin{cases} I_1 = 3 \text{ A}, \\ I_3 = 1 \text{ A}, \\ I_4 = 2 \text{ A}. \end{cases}$$

Направления токов совпадают с условно выбранными направлениями, так как полученные силы токов положительные.

Ответ: $I_1 = 3 \text{ A}$; $I_3 = 1 \text{ A}$; $I_4 = 2 \text{ A}$.

9. Работа и мощность постоянного электрического тока

9.1. Какую работу совершает электрическое поле по перемещению $5 \cdot 10^{18}$ электронов на участке цепи с разностью потенциалов 20 В ?

Дано:

$$N = 5 \cdot 10^{18},$$

$$U = 20 \text{ В},$$

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

Найти

A .

Решение.

Работа электрического поля по перемещению зарядов

$$A = QU, \text{ где } Q = eN.$$

Отсюда

$$A = eNU;$$

$$A = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 5 \cdot 10^{18} \cdot 20 \text{ В} = 16 \text{ Дж.}$$

Ответ: $A = 16 \text{ Дж.}$

9.2. Источник тока с ЭДС 120 В и внутренним сопротивлением 2 Ом замкнут на внешнее сопротивление 58 Ом. Определить полную и полезную мощности источника тока.

Дано:

$$\mathcal{E} = 120 \text{ В},$$

$$r = 2 \text{ Ом},$$

$$R = 58 \text{ Ом}.$$

Найти:

$$P_{\text{полн}}; P_{\text{полезн}}.$$

Решение.

Полная мощность источника тока

$$P_{\text{полн}} = I\mathcal{E}, \text{ полезная мощность}$$

$$P_{\text{полезн}} = I^2 R. \text{ По закону Ома для пол-}$$

$$\text{ной цепи } I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}. \text{ Тогда}$$

$$P_{\text{полн}} = \frac{\mathcal{E}^2}{R + r}; P_{\text{полн}} = \frac{120 \cdot 120 \text{ В}^2}{60 \text{ Ом}} = 240 \text{ Вт};$$

$$P_{\text{полезн}} = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R + r)^2}, P_{\text{полезн}} = \frac{120 \cdot 120 \text{ В}^2 \cdot 58 \text{ Ом}}{60 \cdot 60 \text{ Ом}} = 232 \text{ Вт}.$$

Ответ: $P_{\text{полн}} = 240 \text{ Вт}; P_{\text{полезн}} = 232 \text{ Вт}.$

9.3. Две электрические лампы сопротивлениями 200 и 300 Ом параллельно включены в сеть. Какая из ламп потребляет большую мощность и во сколько раз?

Дано:

$$R_1 = 200 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 300 \text{ Ом}.$$

Найти

$$P_1; P_2.$$

Решение.

При параллельном соединении потребителей электрической энергии напряжения на каждой из ветвей и между узлами разветвления одинаковы; следовательно,

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1}; P_2 = \frac{U^2}{R_2};$$

$$P_1; P_2 = R_2; R_1; P_1; P_2 = 3; 2 = 1,5; P_1 = 1,5 P_2.$$

При параллельном включении лампа с меньшим сопротивлением потребляет бо́льшую мощность. В данном случае лампа сопротивлением 200 Ом потребляет мощность в 1,5 раза бо́льшую, чем лампа сопротивлением 300 Ом.

Ответ: $P_1 = 1,5 P_2$.

9.4. Телевизор, потребляемая мощность которого 150 Вт, работает от сети напряжением 220 В. Какой плавкий предохранитель следует установить в телевизоре, если в наличии имеются предохранители на 0,5, 1 и 2 А?

Дано: $P = 150 \text{ Вт},$ $U = 220 \text{ В}.$	Решение. Мощность, потребляемая телевизором, определяется по формуле $P = IU.$ Отсюда
Найти $I.$	$I = \frac{P}{U}; \quad I = \frac{150 \text{ Вт}}{220 \text{ В}} = 0,68 \text{ А}.$

Ответ: $I = 0,68 \text{ А}.$ Необходимо поставить предохранитель на 1 А.

9.5. В жилом доме одновременно включены 50 ламп по 40 Вт, 80 ламп по 60 Вт и 10 ламп по 100 Вт. Определить силу тока во внешней цепи, если напряжение в сети 220 В.

Дано: $P_1 = 40 \text{ Вт},$ $m = 50,$ $P_2 = 60 \text{ Вт},$ $n = 80,$ $P_3 = 100 \text{ Вт},$ $k = 10,$ $U_{\text{об}} = 220 \text{ В}.$	Решение. Сила тока в общей (неразветвленной) части цепи $I_{\text{об}} = \frac{P_{\text{ia}}}{U_{\text{ia}}}.$ Потребляемая мощность цепи $P_{\text{об}} = mP_1 + nP_2 + kP_3.$ Находим
Найти $I_{\text{об}}.$	$I_{\text{об}} = \frac{mP_1 + nP_2 + kP_3}{U_{\text{об}}};$

$$I_{\text{об}} = \frac{40 \text{ Вт} \cdot 50 + 60 \text{ Вт} \cdot 80 + 100 \text{ Вт} \cdot 10}{220 \text{ В}} = 35,5 \text{ А}.$$

Ответ: $I_{\text{об}} = 35,5 \text{ А}.$

10. Тепловое действие тока

10.1. Сколько времени будут нагреваться 2 л воды от 20 °С до кипения (100 °С) в электрическом чайнике мощностью 600 Вт, если его КПД составляет 80%? Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг · К).

Дано: $m = 2 \text{ кг},$ $\Delta T = 80 \text{ К},$ $P = 600 \text{ Вт},$ $\eta = 0,8,$ $c = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$	Решение. Количество теплоты, полученное водой при нагревании, $Q_1 = cm\Delta T$. Количество теплоты, выделенное током и израсходованное только на нагревание воды, $Q_2 = \eta Pt$. Составим уравнение теплового баланса и решим его относительно t : $cm\Delta T = \eta Pt,$
Найти $t.$	

откуда время, за которое нагревается вода от 20 °С до кипения,

$$t = \frac{cm\Delta T}{\eta P},$$

$$t = \frac{4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \cdot 2 \text{ кг} \cdot 80 \text{ К}}{0,8 \cdot 600 \text{ Вт}} = 1400 \text{ с} = 23 \text{ мин } 20 \text{ с}.$$

Ответ: $t = 23 \text{ мин } 20 \text{ с}.$

10.2. Два резистора сопротивлениями $R_1 = 20 \text{ Ом}$ и $R_2 = 30 \text{ Ом}$ включены в сеть: а) последовательно; б) параллельно. В каком случае и во сколько раз выделится больше теплоты в этих резисторах за одно и то же время?

Дано: $R_1 = 20 \text{ Ом},$ $R_2 = 30 \text{ Ом}.$	Решение. Так как резисторы включаются в одну и ту же электрическую сеть, то напряжения на их концах независимо от способа соединения одинаковы. Общее сопротивление резисторов: при последовательном соединении $R_{\text{пос}} = R_1 + R_2$, при
Найти $Q_{\text{пос}} \mid Q_{\text{пар}}.$	

параллельном соединении $R_{\text{пар}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$. За одно и то же

время в случаях а) и б) выделится количество теплоты:

$$Q_{\text{пос}} = \frac{U^2 t}{R_1 + R_2};$$

$$Q_{\text{пар}} = \frac{U^2 (R_1 + R_2)}{R_1 R_2}.$$

Находим:

$$\frac{Q_{\text{пос}}}{Q_{\text{пар}}} = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2};$$

$$\frac{Q_{\text{пос}}}{Q_{\text{пар}}} = \frac{20 \cdot 30}{(20 + 30)^2} = \frac{6}{25}.$$

При параллельном соединении данных резисторов выделяется количество теплоты в 4,2 раза больше, чем при последовательном.

Ответ: $Q_{\text{пар}} / Q_{\text{пос}} = 4,2$.

10.3. Через поперечное сечение спирали нагревательного элемента паяльника каждую секунду проходит $0,5 \cdot 10^{19}$ электронов проводимости. Определить мощность тока, выделяемую в паяльнике, если он подключен в сеть с напряжением 220 В.

Дано:

$$N = 0,5 \cdot 10^{19},$$

$$t = 1 \text{ с},$$

$$U = 220 \text{ В},$$

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

Найти

P .

Решение.

Мощность тока $P = IU$, сила

тока $I = \frac{Q}{t}$. Находим

$$P = \frac{QU}{t} = \frac{eNU}{t};$$

$$P = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,5 \cdot 10^{19} \cdot 220 \text{ В}}{1 \text{ с}} = 176 \text{ Вт}.$$

Ответ: $P = 176 \text{ Вт}$.

11. Электронная проводимость металлов

11.1. Работа выхода электронов у платины 5,29 эВ, у никеля 4,84 эВ. Как будут переходить электроны при контакте этих металлов? Построить график зависимости потенциальной энергии свободных электронов этих металлов от расстояния x при их контакте. Определить контактную разность потенциалов между металлами.

Дано:

$$A_{\text{Pt}} = 5,29 \text{ эВ},$$

$$A_{\text{Ni}} = 4,84 \text{ эВ},$$

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

Найти

$$\varphi_{\text{Pt}} - \varphi_{\text{Ni}}.$$

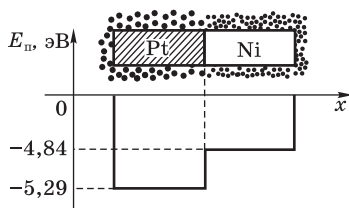


Рис. 17

Решение.

При контакте металлов свободные электроны одного металла переходят в другой металл и наоборот. Легче они переходят из металла, работа выхода которого меньше. Следовательно, свободные электроны преимущественно будут переходить из никеля в платину. Никель будет положительно заряжен, а платина — отрицательно. На рис. 17 дан график зависимости потенциальной энергии электронов при контак-

те платины и никеля от расстояния x . Контактная разность потенциалов

$$\varphi_{\text{Pt}} - \varphi_{\text{Ni}} = \frac{A_{\text{Pt}} - A_{\text{Ni}}}{e};$$

$$\varphi_{\text{Pt}} - \varphi_{\text{Ni}} = \frac{(5,29 - 4,84) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 0,45 \text{ В}.$$

Ответ: $\varphi_{\text{Pt}} - \varphi_{\text{Ni}} = 0,45 \text{ В}.$

11.2. Возникнет ли термоэлектродвижущая сила в кольце, состоящем из алюминиевого и медного полуколец, как показано на рис. 18, если: а) $T_1 = T_2$; б) $T_1 > T_2$ или $T_1 < T_2$?

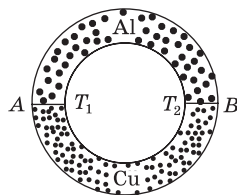


Рис. 18

Решение.

Обозначим поверхностные потенциалы алюминия и меди соответственно через φ_{Al} и φ_{Cu} , а термо-ЭДС — через $\mathcal{E}_T$.

а) Если $T_1 = T_2$, то разность потенциалов в контакте А равна $U_A = \varphi_{\text{Al}} - \varphi_{\text{Cu}}$, а в контакте В равна $U_B = -(\varphi_{\text{Al}} - \varphi_{\text{Cu}})$;

$$\mathcal{E}_T = \varphi_{\text{Al}} - \varphi_{\text{Cu}} - \varphi_{\text{Al}} + \varphi_{\text{Cu}} = 0.$$

Разности потенциалов в контактах А и В равны по модулю и противоположны по знаку, поэтому термо-ЭДС равна нулю.

б) Если $T_1 > T_2$ или $T_1 < T_2$, то $|U_A| \neq |U_B|$ и $\mathcal{E}_T = U_A + U_B \neq 0$. Разности потенциалов в точках А и В будут различны по знаку и по модулю, вследствие чего возникает термоэлектродвижущая сила, равная алгебраической сумме скачков потенциалов в обоих контактах.

Ответ: а) нет; б) да.

11.3. Может ли эмиттировать из урана электрон, летящий перпендикулярно его поверхности со скоростью 2000 км/с, если работа выхода электронов из урана 3,74 эВ?

Дано:

$$\begin{aligned} v &= 2 \cdot 10^6 \text{ м/с}, \\ m_e &= 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}, \\ A_{\text{вых}} &= 3,74 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}. \end{aligned}$$

Найти

$E_{\text{к}}$.

Решение.

Электрон будет эмиттироваться, если его кинетическая энергия $E_{\text{к}} \geq A_{\text{вых}}$;

$$E_{\text{к}} = mv^2/2,$$

$$E_{\text{к}} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 4 \cdot 10^{12} \text{ м}^2/\text{с}^2}{2} =$$

$$= 18,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}; A_{\text{вых}} = 5,98 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Ответ: Так как кинетическая энергия электрона значительно больше работы выхода, то электрон эмиттирует из урана.

11.4. В каком случае в месте спая платины и железа (рис. 19, *а*, *б*) будет выделяться теплота, а в каком —

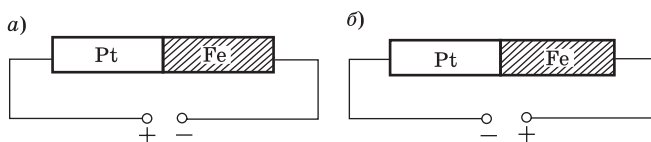


Рис. 19

поглощаться, если работа выхода электронов у платины 5,29 эВ, а у железа 4,36 эВ?

Решение.

При контакте железа и платины свободные электроны будут переходить от железа к платине, так как работа выхода у железа меньше, чем у платины. Платина зарядится отрицательно, а железо — положительно. Линии напряженности контактного электрического поля направлены от железа к платине. Если через пограничную область между двумя соприкасающимися разнородными металлами пропустить электрический ток, то электроны, проходя через эту область, будут ускоряться или замедляться контактным полем. Если в месте соединения разнородных металлов электроны движутся ускоренно, то в нем выделяется теплота, т. е. место соединения нагревается. Это объясняется тем, что электроны, получившие дополнительную кинетическую энергию при столкновениях с атомами металла, будут передавать им часть ее. Если в месте соединения разнородных металлов электроны движутся замедленно, то в нем будет происходить поглощение теплоты, т. е. место соединения будет охлаждаться. Это объясняется тем, что электроны, потерявшие скорость, будут при столкновениях с атомами металла получать от них энергию.

Ответ: На рис. 19, *а* место спая платины и железа будет охлаждаться, так как контактное поле замедляет движение электронов, а на рис. 19, *б* место спая будет нагреваться, так как контактное поле ускоряет движение электронов.

11.5. Определить коэффициент термо-ЭДС термопары железо — константан, если при температуре 373 К ЭДС $\mathcal{E}_1 = 5$ мВ, а при температуре 1773 К ЭДС $\mathcal{E}_2 = 15,5$ мВ.

Дано:

$$\begin{aligned} T_1 &= 373 \text{ К}, \\ \mathcal{E}_1 &= 5 \cdot 10^{-3} \text{ В}, \\ T_2 &= 1773 \text{ К}, \\ \mathcal{E}_2 &= 15,5 \cdot 10^{-3} \text{ В}. \end{aligned}$$

Найти

α .

Решение.

Термо-ЭДС определяется по формуле $\Delta \mathcal{E} = \alpha \Delta T$, откуда

$$\alpha = \frac{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1}{T_2 - T_1},$$

$$\alpha = \frac{(15,5 - 5) \cdot 10^{-3} \text{ В}}{(1773 - 373) \text{ К}} = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ В/К}.$$

Ответ: $\alpha = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ В/К}$.

12. Электрический ток в электролитах

12.1. Покрытие стальных деталей производится двухвалентным никелем при плотности тока в электролитической ванне 400 А/м². Сколько времени потребуется для покрытия детали слоем никеля толщиной 60 мкм?

Дано:

$$\begin{aligned} j &= 400 \text{ А/м}^2, \\ M &= 58,71 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}, \\ n &= 2, \\ \rho &= 8,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, \\ h &= 6 \cdot 10^{-5} \text{ м}, \\ F &= 96\,500 \text{ Кл/моль}, \\ k &= 3,04 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}. \end{aligned}$$

Найти

t .

Решение.

Выразим массу выделившегося никеля через его плотность: $m = \rho Sh$. На основании закона электролиза Фарадея

$$m = \frac{MI t}{Fn}$$

(F — постоянная Фарадея), тогда

$$\frac{MI t}{Fn} = \rho Sh,$$

$$\text{откуда } t = \frac{\rho ShFn}{MI}.$$

Так как $I/S = j$, то

$$t = \frac{\rho h F n}{M j};$$

$$t = \frac{8,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 6 \cdot 10^{-5} \text{ м} \cdot 96\,500 \text{ Кл/моль} \cdot 2}{58,71 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 400 \text{ А/м}^2} =$$

$$= 4340 \text{ с} = 1 \text{ ч } 12 \text{ мин } 20 \text{ с}.$$

Если воспользоваться табличным значением электрохимического эквивалента k двухвалентного никеля и формулой $m = kIt$, то

$$t = \frac{\rho h}{k j}, t = \frac{8,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 6 \cdot 10^{-5} \text{ м}}{3,04 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл} \cdot 400 \text{ А/м}^2} =$$

$$= 4340 \text{ с} = 1 \text{ ч } 12 \text{ мин } 20 \text{ с}.$$

Ответ: $t = 1 \text{ ч } 12 \text{ мин } 20 \text{ с}.$

12.2. При электролизе водного раствора CuSO_4 была совершена работа $200 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Определить массу полученной меди, если напряжение на зажимах ванны 6 В .

Дано:

$$A = 200 \text{ кВт} \cdot \text{ч} =$$

$$= 72 \cdot 10^7 \text{ Дж},$$

$$U = 6 \text{ В},$$

$$M = 63,54 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль},$$

$$n = 2,$$

$$F = 96\,500 \text{ Кл/моль}.$$

Найти

m .

Решение.

На основании закона электролиза Фарадея найдем массу выделившейся меди:

$$m = \frac{MQ}{Fn} = \frac{MA}{FnU};$$

так как $Q = \frac{A}{U}$, то

$$m = \frac{63,54 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 72 \cdot 10^7 \text{ Дж}}{96\,500 \text{ Кл/моль} \cdot 2 \cdot 6 \text{ В}} = 39,5 \text{ кг}.$$

Ответ: $m = 39,5 \text{ кг}.$

12.3. Через раствор серной кислоты прошел заряд $2 \cdot 10^5$ Кл. Определить массу и объем выделившегося водорода при нормальных условиях. Плотность водорода $9 \cdot 10^{-2}$ кг/м³.

Дано: $Q = 2 \cdot 10^5$ Кл, $M = 10^{-3}$ кг/моль, $n = 1$, $\rho_0 = 9 \cdot 10^{-2}$ кг/м³, $F = 96\,500$ Кл/моль.	Решение. Из закона электролиза Фарадея находим $m = \frac{MQ}{Fn};$ $m = \frac{10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 2 \cdot 10^5 \text{ Кл}}{96\,500 \text{ Кл/моль} \cdot 1} =$ $= 2,07 \cdot 10^{-3} \text{ кг}.$
Найти: m; V_0.	

Из формулы плотности определяем

$$V_0 = \frac{m}{\rho_0};$$

$$V_0 = \frac{2,07 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{9 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3} = 0,023 \text{ м}^3.$$

Ответ: $m = 2,07 \cdot 10^{-3}$ кг; $V_0 = 0,023$ м³.

13. Химические источники тока

13.1. Какой источник тока называется химическим? Перечислить типы химических источников тока.

Ответ: Химические источники тока — это устройства, в которых энергия протекающих в них химических реакций непосредственно превращается в электрическую. Типы химических источников тока — гальванические элементы, аккумуляторы и др.

13.2. Емкость батареи аккумуляторов 150 А · ч. За какое время израсходуется весь заряд аккумулятора при среднем разрядном токе 0,3 А?

Дано: $Q = 150 \text{ А} \cdot \text{ч},$ $I = 0,3 \text{ А}.$	Решение. Заряд, который может отдать аккумуляторная батарея при разрядке, — емкость батареи $Q = It$, откуда
Найти $t.$	$t = \frac{Q}{I}; t = \frac{150 \text{ А} \cdot \text{ч}}{0,3 \text{ А}} = 500 \text{ ч}.$

Ответ: $t = 500 \text{ ч}.$

13.3. Емкость аккумуляторной батареи $80 \text{ А} \cdot \text{ч}$ при ЭДС $\mathcal{E} = 2 \text{ В}$. Сколько энергии потребуется для зарядки этой батареи, если ее КПД $\eta = 60\%$?

Дано: $Q = 80 \text{ А} \cdot \text{ч},$ $\mathcal{E} = 2 \text{ В},$ $\eta = 0,6.$	Решение. КПД аккумулятора определяется по формуле $\eta = \frac{A_p}{A_z}$, где $A_p = Q\mathcal{E}$ — полезная энергия, выделенная при разрядке; A_z — затраченная энергия.
Найти $A_z.$	

Отсюда находим

$$A_z = \frac{Q\mathcal{E}}{\eta}, A_z = \frac{80 \cdot 3600 \text{ Кл} \cdot 2 \text{ В}}{0,6} = 960 \text{ кДж}.$$

Ответ: $A_z = 960 \text{ кДж}.$

13.4. Какая энергия «запасена» в аккумуляторе емкостью $50 \text{ А} \cdot \text{ч}$? ЭДС аккумулятора 2 В . Выразить емкость аккумулятора в кулонах.

Дано: $Q = 50 \text{ А} \cdot \text{ч},$ $\mathcal{E} = 2 \text{ В}.$	Решение. Так как $1 \text{ А} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ А} \cdot \text{с} = 3600 \text{ Кл}$, то емкость данного аккумулятора
Найти $W.$	$Q = 50 \text{ А} \cdot \text{ч} = 50 \cdot 3600 \text{ Кл} = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Кл} = 180 \text{ кКл}.$

Энергия аккумулятора

$$W = Q\mathcal{E}; W = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Кл} \cdot 2 \text{ В} = 3,6 \cdot 10^5 \text{ Дж} = 360 \text{ кДж}.$$

Ответ: $W = 360 \text{ кДж}.$

14. Электрический ток в газах и вакууме

14.1. Какой минимальной скоростью должен обладать электрон, чтобы ионизировать молекулу кислорода, работа ионизации которой 13,5 эВ?

Дано:

$$\begin{aligned} A_{\text{и}} &= 13,5 \text{ эВ} = \\ &= 2,16 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}, \\ m_e &= 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}. \end{aligned}$$

Найти

$$v_{\min}.$$

Решение.

Электрон должен обладать кинетической энергией не меньше чем работа ионизации. Минимальная скорость электрона будет в том случае, когда его кинетическая энергия рав-

на работе ионизации, т. е. $\frac{m_e v_{\min}^2}{2} = A_{\text{и}}$, откуда

$$\begin{aligned} v_{\min} &= \sqrt{\frac{2A_{\text{и}}}{m_e}}; v_{\min} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,16 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ м/с} = \\ &= 2200 \text{ км/с}. \end{aligned}$$

Ответ: $v_{\min} = 2200 \text{ км/с}$.

14.2. С какой скоростью ударяется электрон об анод катодной трубки (двухэлектродная трубка), если между ее электродами поддерживается напряжение 220 В?

Дано:

$$\begin{aligned} U &= 220 \text{ В}, \\ m_e &= 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}, \\ e &= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}. \end{aligned}$$

Найти

$$v.$$

Решение.

Работа электрического поля по перемещению электрона равна $A = eU$. Кинетическая энергия электрона в момент удара об анод равна работе электрического поля

по перемещению электрона, т. е. $\frac{m_e v^2}{2} = eU$, откуда

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}; v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 220 \text{ В}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} = 8,79 \cdot 10^6 \text{ м/с} = \\ &= 8790 \text{ км/с}. \end{aligned}$$

Ответ: $v = 8790 \text{ км/с}$.

14.3. При каком напряжении между двумя металлическими электродами в форме острия, расстояние между которыми 16 см, наступит пробой в воздухе при нормальном давлении, если пробой наступает при напряженности электрического поля $1,25 \cdot 10^5$ В/м?

Дано: $d = 16 \cdot 10^{-2}$ м, $E = 1,25 \cdot 10^5$ В/м.	Решение. Напряженность и потенциал электрического поля связаны соотношением $E = \frac{U}{d}$,
Найти U .	откуда

$$U = Ed; U = 1,25 \cdot 10^5 \text{ В/м} \cdot 16 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 20 \text{ кВ.}$$

Ответ: $U = 20$ кВ.

14.4. При облучении ультрафиолетовым излучением воздушного промежутка между электродами получен ток насыщения 4 А. Сколько пар ионов (или положительных ионов и электронов) образует ионизатор в 1 с?

Дано: $I_n = 4$ А, $t = 1$ с, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.	Решение. Согласно определению, сила тока насыщения $I_n = \frac{Q}{t} = \frac{eN}{t}$;
Найти N .	отсюда

$$N = \frac{I_n t}{e};$$

$$N = \frac{4 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 2,5 \cdot 10^{19}.$$

Ответ: $N = 2,5 \cdot 10^{19}$.

14.5. С какой скоростью ударяется электрон, эмиттировавший из катода, об анод вакуумного диода, если напряжение между анодом и катодом 45,5 В?

Дано:

$$U = 45,5 \text{ В},$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл},$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}.$$

Найти

v .

Решение.

Так как кинетическая энергия электрона в момент удара об анод равна работе электрического поля по перемещению его от катода к аноду, то

$$\frac{mv^2}{2} = eU, \text{ откуда}$$

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}; v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 45,5 \text{ В}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} =$$
$$= 4 \cdot 10^6 \text{ м/с} = 4000 \text{ км/с}.$$

Ответ: $v = 4000 \text{ км/с}$.

14.6. Между анодом и катодом диода приложено напряжение 100 В. Какую работу совершит электрическое поле по перемещению электронов от катода к аноду за 1 ч, если каждую секунду из катода эмиттирует 10^{16} электронов? В анодной цепи существует ток насыщения.

Дано:

$$U = 100 \text{ В},$$

$$t = 3600 \text{ с},$$

$$N = 10^{16},$$

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

Найти

A .

Решение.

Работа, совершаемая электрическим полем по перемещению зарядов:

$$A = QU = eNtU;$$

$$A = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10^{16} \cdot 3600 \text{ с} \cdot 100 \text{ В} = 576 \text{ Дж}.$$

Ответ: $A = 576 \text{ Дж}$.

14.7. Определить число электронов, проходящих через поперечное сечение электронного пучка в 1 с, в электроннолучевой трубке при анодном токе в ней 0,32 А.

Дано:

$$t = 1 \text{ с},$$

$$I = 0,32 \text{ А},$$

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

Найти

N .

Решение.

Согласно определению, сила

$$\text{анодного тока } I = \frac{Q}{t} = \frac{eN}{t},$$

откуда

$$N = \frac{It}{e}; N = \frac{0,32 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 2 \cdot 10^{18}.$$

Ответ: $N = 2 \cdot 10^{18}$.

15. Электрический ток в полупроводниках

15.1. Энергия, необходимая для перехода электрона из зоны валентности в зону проводимости, в атомах полупроводников: у германия — 0,72 эВ, у кремния — 1,1 эВ, в углероде — 5,2 эВ. В каком из этих полупроводников будет наибольшая концентрация электронов проводимости?

Ответ: Наибольшая концентрация свободных электронов будет у германия, наименьшая — у углерода, так как для перехода электрона из зоны валентности в зону проводимости у германия требуется меньшая энергия, чем у кремния и углерода.

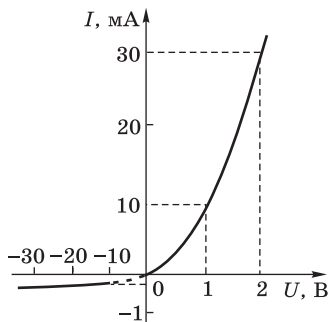


Рис. 20

15.2. На рис. 20 дана вольт-амперная характеристика полупроводникового диода. Определить прямой ток при напряжении 2 В, обратный ток при напряжении -20 В и внутреннее сопротивление диода при напряжении 1 В в пропускном направлении.

Решение.

Из рисунка находим: прямой ток при напряжении 2 В равен 30 мА, обратный ток при напряжении –20 В равен –0,25 мА. Внутреннее сопротивление диода при напряжении 1 В

$$R = \frac{U}{I} = 1 \frac{\text{В}}{10^{-2}} \text{ А} = 100 \text{ Ом.}$$

15.3. На рис. 21 дана схема полупроводникового диода с p - n -переходом. В каком направлении будет проходить ток через диод? Почему?

Решение.

Полупроводниковый диод работает в пропускном режиме, если к полупроводнику p -типа применен положительный потенциал, а к полупроводнику n -типа — отрицательный потенциал.

При приложении напряжения в обратном направлении полупроводниковый диод работает в непропускном (запирающем) режиме.

Ответ: Через диод будет проходить ток, если к A приложить положительный потенциал, а к B — отрицательный, и не будет проходить, если приложить к A — отрицательный, а к B — положительный потенциал.

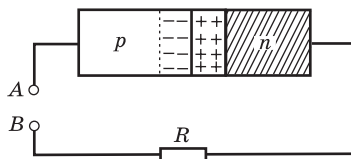


Рис. 21

16. Магнитное поле.

Закон Ампера

16.1. Определить индукцию однородного магнитного поля, в котором на прямой провод длиной 10 см, расположенный под углом 30° к линиям индукции, действует сила 0,2 Н, если по проводнику проходит ток 8 А.

Дано: $l = 0,1 \text{ м},$ $\alpha = 30^\circ,$ $F = 0,2 \text{ Н},$ $I = 8 \text{ А}.$	
Найти $B.$	

Решение.
 Используя закон Ампера
 $F = BIl \sin \alpha,$
 находим

$$B = \frac{F}{Il \sin \alpha};$$

$$B = \frac{0,2 \text{ Н}}{8 \text{ А} \cdot 0,1 \text{ м} \cdot 0,5} = 0,5 \text{ Тл}.$$

Ответ: $B = 0,5 \text{ Тл}.$

16.2. Прямолинейный проводник, активная длина которого $0,2 \text{ м}$, помещен перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Определить силу тока, проходящего по проводнику, если магнитное поле с индукцией 4 Тл действует на него с силой $2,4 \text{ Н}$.

Дано: $l = 0,2 \text{ м},$ $\alpha = 90^\circ,$ $B = 4 \text{ Тл},$ $F = 2,4 \text{ Н}.$	
Найти $I.$	

Решение.
 Из закона Ампера $F = BIl \sin \alpha$
 находим

$$I = \frac{F}{B l \sin \alpha};$$

$$I = \frac{2,4 \text{ Н}}{4 \text{ Тл} / (\text{А} \cdot \text{м}) \cdot 0,2 \text{ м} \cdot 1} = 3 \text{ А}.$$

Ответ: $I = 3 \text{ А}.$

16.3. В прямолинейном проводе, расположенном в воздухе, сила тока равна 10 А . Определить индукцию магнитного поля этого тока на расстоянии 20 см от проводника. Магнитная постоянная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$.

Дано: $I = 10 \text{ А},$ $r = 0,2 \text{ м},$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ или $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А},$ $\mu = 1.$	
Найти $B.$	

Решение.
 Индукция магнитного поля, создаваемого прямолинейным проводником с током,

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r};$$

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А} \cdot 10 \text{ А}}{2\pi \cdot 0,2 \text{ м}} =$$

$$= 10^{-5} \text{ Тл}.$$

Ответ: $B = 10^{-5} \text{ Тл}.$

16.4. Определить индукцию магнитного поля на оси соленоида, состоящего из 200 витков, если сила тока в нем равна 10 А. Длина соленоида 15,7 см.

Дано: $n = 200,$ $I = 10 \text{ А},$ $l = 0,157 \text{ м},$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А},$ $\mu = 1.$	Решение. Индукция магнитного поля на оси соленоида, по которому течет ток, равна $B = \frac{\mu_0 \mu I n}{l};$
Найти $B.$	$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А} \cdot 1 \cdot 10 \text{ А} \cdot 200}{0,157 \text{ м}} =$ $= 16 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} = 0,016 \text{ Тл}.$

Ответ: $B = 0,016 \text{ Тл}.$

16.5. Определить индукцию магнитного поля в центре кругового провода, радиус которого 3 см, если сила тока в нем 4,8 А.

Дано: $r = 0,03 \text{ м},$ $I = 4,8 \text{ А},$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А},$ $\mu = 1.$	Решение. Индукция магнитного поля в центре кругового тока $B = \frac{\mu_0 \mu I}{2r};$
Найти $B.$	$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А} \cdot 4,8 \text{ А}}{2 \cdot 0,03 \text{ м}} =$ $= 32\pi \cdot 10^{-6} \text{ Тл} = 100,48 \cdot 10^{-6} \text{ Тл} \approx 10^{-4} \text{ Тл}.$

Ответ: $B \approx 10^{-4} \text{ Тл}.$

16.6. С какой силой взаимодействуют два параллельных проводника длиной 0,5 м каждый, по которым текут токи 10 и 40 А в одном направлении, если они находятся в воздухе на расстоянии 0,5 м друг от друга?

Дано: $l = 0,5 \text{ м},$ $I_1 = 10 \text{ А},$ $I_2 = 40 \text{ А},$ $r = 0,5 \text{ м},$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ или $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2,$ $\mu = 1.$	Решение. Сила взаимодействия двух проводников с токами, расположенных на расстоянии r друг от друга, равна $F = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 l}{2\pi r};$ $F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2 \cdot 1 \cdot 400 \text{ А}^2 \cdot 0,5 \text{ м}}{2\pi \cdot 0,5 \text{ м}} =$ $= 8 \cdot 10^{-5} \text{ Н}.$
Найти $F.$	
Ответ: $F = 8 \cdot 10^{-5} \text{ Н}.$	

17. Магнитный поток.

Работа при перемещении проводника с током в магнитном поле

17.1. Определить магнитный момент кольцевого проводника диаметром 20 см, если по нему проходит ток 10 А.

Дано: $d = 0,2 \text{ м},$ $I = 10 \text{ А}.$	Решение. Магнитный момент кольцевого проводника с током равен
Найти $p_m.$	$p_m = IS = \frac{\pi d^2 I}{4};$ $p_m = \frac{3,14 \cdot 0,04 \text{ м}^2 \cdot 10 \text{ А}}{4} = 0,314 \text{ А} \cdot \text{м}^2.$
Ответ: $p_m = 0,314 \text{ А} \cdot \text{м}^2.$	

17.2. В однородном магнитном поле индукцией 15 Тл проводник переместился перпендикулярно линиям магнитной индукции на 10 см. Какую работу совершил при этом электрический ток, если длина активной части проводника $l = 40 \text{ см}$, а сила тока в нем 2 А?

Дано: $B = 15 \text{ Тл},$ $r = 0,1 \text{ м},$ $l = 0,4 \text{ м},$ $I = 2 \text{ А},$ $\alpha = 90^\circ$	Решение. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле равна $A = F_A r = BIlr \sin \alpha \ (\sin 90^\circ = 1);$ $A = 15 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \cdot 2 \text{ А} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot 0,1 \text{ м} = 1,2 \text{ Дж}.$
Найти $A.$	

Ответ: $A = 1,2 \text{ Дж}.$

17.3. Определить вращающий момент плоского контура площадью $0,04 \text{ м}^2$, помещенного в однородное магнитное поле индукцией 20 Тл , если по контуру проходит ток 10 А и если вектор магнитного момента перпендикулярен вектору индукции магнитного поля.

Дано: $S = 0,04 \text{ м}^2,$ $I = 10 \text{ А},$ $B = 20 \text{ Тл},$ $\alpha = 90^\circ.$	Решение. На плоский замкнутый контур с током, помещенный в однородное магнитное поле, действует вращающий момент, модуль которого равен $M = BIS \sin \alpha;$ $M = 20 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \cdot 10 \text{ А} \cdot 0,04 \text{ м}^2 \cdot 1 = 8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$
Найти $M.$	

Ответ: $M = 8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

17.4. Какую работу совершит ток 4 А , протекающий по проводнику, если он пересечет магнитный поток, равный $1,5 \text{ Вб}$?

Дано: $I = 4 \text{ А},$ $\Delta\Phi = 1,5 \text{ Вб}.$	Решение. Работа, совершаемая током, $A = I\Delta\Phi;$ $A = 4 \text{ А} \cdot 1,5 \text{ Вб} = 6 \text{ А} \cdot \text{В} \cdot \text{с} =$ $= 6 \text{ Дж}.$
Найти $A.$	

Ответ: $A = 6 \text{ Дж}.$

17.5. Как изменится магнитный момент кольцевого проводника, если его радиус уменьшить в два раза, а силу тока увеличить в пять раз?

Дано: $r_2 = 0,5r_1,$ $I_2 = 5I_1.$	Решение. Магнитный момент контура $p_m = IS = \pi r^2 I.$
Найти $p_{m2} [p_{m1}.$	Следовательно, $p_{m2} [p_{m1} = \pi r_2^2 I_2 [\pi r_1^2 I_1 =$ $= (0,5r_1)^2 \cdot 5I_1 [r_1^2 I_1 = 0,25 \cdot 5 = 1,25.$

Ответ: $p_{m2} [p_{m1} = 1,25.$ Магнитный момент увеличится в 1,25 раза.

18. Действие магнитного и электрического полей на движущийся заряд

18.1. Электрон и протон, двигаясь с одинаковыми скоростями, влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Сравнить радиусы кривизны траекторий протона и электрона, если масса протона $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, а масса электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Решение.

Радиусы кривизны траекторий движения электрона и протона прямо пропорциональны их массам:

$$r_p [r_e = m_p [m_e = 1,67 \cdot 10^{-27} [9,1 \cdot 10^{-31} = 1835; r_p = 1835r_e.$$

Ответ: $r_p = 1835r_e.$

18.2. Электрон влетает в однородное магнитное поле со скоростью 16 000 км/с перпендикулярно его линиям индукции. Определить модуль магнитной индукции поля, если электрон движется в магнитном поле по окружности радиусом 1 см.

Дано:

$$\begin{aligned}v &= 1,6 \cdot 10^7 \text{ м/с}, \\ \alpha &= 90^\circ, \\ r &= 10^{-2} \text{ м}, \\ m_e &= 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}, \\ e &= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}.\end{aligned}$$

Найти

B .

Решение.

На электрон, влетающий в однородное магнитное поле, действует центростремительная сила — сила Лоренца, поэтому можем записать

$$Bev \sin \alpha = \frac{m_e v^2}{r},$$

откуда магнитная индукция поля

$$B = \frac{m_e v}{er \sin \alpha};$$

$$\begin{aligned}B &= \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 1,6 \cdot 10^7 \text{ м/с}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10^{-2} \text{ м}} = 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м} / (\text{Кл} \cdot \text{с} \cdot \text{м}) = \\ &= 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} / (\text{А} \cdot \text{м}) = 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}.\end{aligned}$$

Ответ: $B = 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$.

18.3. Электрон влетает в однородное электрическое поле вдоль линии напряженности со скоростью 1000 км/с. Какое напряжение электрического поля требуется создать, чтобы скорость электрона увеличилась до 5000 км/с?

Дано:

$$\begin{aligned}v_1 &= 10^6 \text{ м/с}, \\ v_2 &= 5 \cdot 10^6 \text{ м/с}, \\ e &= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}, \\ m_e &= 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}.\end{aligned}$$

Найти

U .

Решение.

Изменение кинетической энергии электрона равно работе электрического поля по его

$$\text{перемещению: } \frac{m_e}{2} (v_2^2 - v_1^2) = eU.$$

Отсюда

$$U = \frac{m_e}{2e} (v_2^2 - v_1^2);$$

$$U = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot (25 - 1) \cdot 10^{12} \text{ м}^2 / \text{с}^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 68,25 \text{ В}.$$

Ответ: $U = 68,25 \text{ В}$.

18.4. Протон влетает в однородное космическое магнитное поле с индукцией 10^{-20} Тл со скоростью 500 км/с под углом 30° к линиям индукции. Определить радиус винтовой траектории протона. Выполнить рисунок и вывести формулу для этого радиуса.

Дано:

$$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг},$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл},$$

$$B = 10^{-20} \text{ Тл},$$

$$v = 5 \cdot 10^5 \text{ м/с},$$

$$\alpha = 30^\circ.$$

Найти

r .

Решение.

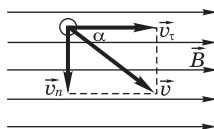


Рис. 22

На рис. 22 показано разложение вектора скорости $\vec{v}$ протона на две составляющие: $\vec{v}_n$ — перпендикулярно линиям магнитной индукции; $\vec{v}_t$ — параллельно линиям индукции. При движении протона со скоростью v_n возникает сила Лоренца, под действием которой протон совершает вращение по окружности радиусом r . Так как $v_n = v \sin \alpha$, то сила Лоренца $F_{\text{Л}} = Bev_n = Bev \sin \alpha$. По второму закону Ньютона,

$$F_{\text{Л}} = \frac{mv_n^2}{r} = \frac{mv^2 \sin^2 \alpha}{r} \text{ или}$$

$$Bev \sin \alpha = \frac{mv^2 \sin^2 \alpha}{r}; Be = \frac{m v \sin \alpha}{r},$$

откуда

$$r = \frac{mv \sin \alpha}{Be}; r = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 5 \cdot 10^5 \text{ м/с} \cdot 0,5}{10^{-20} \text{ Н/(А} \cdot \text{м)} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 2,6 \cdot 10^{17} \text{ м}.$$

Ответ: $r = 2,6 \cdot 10^{17} \text{ м}$.

18.5. Радиус винтовой траектории заряженной частицы, попавшей в геомагнитное поле, оказался равным 10^7 м. Попадет ли эта частица в радиационный пояс Земли? Радиус Земли $6,37 \cdot 10^6$ м.

Решение.

Так как радиус винтовой траектории частицы больше радиуса Земли ($10^7 > 6,37 \cdot 10^6$), то частица в радиационный пояс не попадет.

Ответ: Нет.

19. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца

19.1. С какой скоростью надо перемещать проводник, длина активной части которого 0,5 м, под углом 50° к вектору магнитной индукции, модуль которого равен 0,8 Тл, чтобы в проводнике возбудилась ЭДС индукции 2 В?

Дано:

$$l = 0,5 \text{ м},$$

$$\alpha = 50^\circ,$$

$$B = 0,8 \text{ Тл},$$

$$\mathcal{E} = 2 \text{ В}.$$

Найти

v .

Решение.

ЭДС индукции, возникающая в прямолинейном проводнике, движущемся в магнитном поле,

$$\mathcal{E} = Blv \sin \alpha,$$

откуда

$$v = \frac{\mathcal{E}}{B/\sin \alpha};$$

$$v = \frac{2 \text{ В}}{0,8 \text{ Н} / (\text{А} \cdot \text{м}) \cdot 0,5 \text{ м} \cdot 0,766} = 6,53 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v = 6,53 \text{ м/с}$.

19.2. Проводник, активная длина которого 0,4 м, движется со скоростью 10 м/с под углом 30° к линиям индукции однородного магнитного поля. Определить индукцию магнитного поля, если на концах проводника возникла ЭДС, равная 2 В.

Дано:

$$\begin{aligned}l &= 0,4 \text{ м}, \\v &= 10 \text{ м/с}, \\ \alpha &= 30^\circ, \\ \mathcal{E} &= 2 \text{ В}.\end{aligned}$$

Найти

B .

Решение.

В проводнике, движущемся в магнитном поле, возникает ЭДС индукции $\mathcal{E} = Blv \sin \alpha$, откуда

$$B = \frac{\mathcal{E}}{lv \sin \alpha};$$

$$B = \frac{2 \text{ В}}{0,4 \text{ м} \cdot 10 \text{ м/с} \cdot 0,5} = 1 \text{ Тл}.$$

Ответ: $B = 1 \text{ Тл}$.

19.3. Неподвижный виток, площадь которого 10 см^2 , расположен перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Какая ЭДС индукции возникнет в этом витке, если магнитная индукция поля будет равномерно возрастать и в течение $0,01 \text{ с}$ увеличится от $0,2$ до $0,7 \text{ Тл}$?

Дано:

$$\begin{aligned}S &= 10^{-3} \text{ м}^2, \\ \Delta t &= 10^{-2} \text{ с}, \\ B_1 &= 0,2 \text{ Тл}, \\ B_2 &= 0,7 \text{ Тл}.\end{aligned}$$

Найти

$\mathcal{E}$.

Решение.

Согласно закону электромагнитной индукции

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{(B_2 - B_1)S}{\Delta t},$$

где знак « $-$ » определяется правилом Ленца;

$$\mathcal{E} = \frac{0,5 \text{ Н/}(\text{А} \cdot \text{м}) \cdot 10^{-3} \text{ м}^2}{10^{-2} \text{ с}} = 0,05 \text{ В}.$$

Ответ: $\mathcal{E} = 0,05 \text{ В}$.

19.4. На рис. 23 изображены линии индукции магнитного поля. Определить направление линий напряженности вихревого электрического поля.

Решение.

Так как индукция магнитного поля убывает, то для определения направления линий напряженности вихревого электрического поля надо применить правило пра-

вого винта. На рис. 24 изображена линия напряженности вихревого электрического поля.

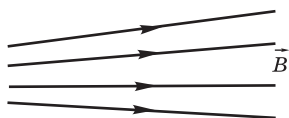


Рис. 23

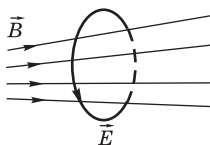


Рис. 24

19.5. В катушке, состоящей из 200 витков, магнитный поток равен 10^{-2} Вб. За какое время исчезнет магнитный поток при размыкании цепи, если в катушке при этом возникает ЭДС индукции, равная 5 В?

Дано: $n = 200$, $\Delta\Phi = 10^{-2}$ Вб, $\mathcal{E} = 5$ В.	Решение. ЭДС индукции в катушке из n витков равна $\mathcal{E} = \frac{n\Delta\Phi}{\Delta t}$ (знак «минус» в формуле опускаем), откуда
Найти Δt .	

$$\Delta t = \frac{n\Delta\Phi}{\mathcal{E}}; \quad \Delta t = \frac{200 \cdot 10^{-2} \text{ В} \cdot \text{с}}{5 \text{ В}} = 0,4 \text{ с.}$$

Ответ: $\Delta t = 0,4 \text{ с.}$

19.6. Магнитный поток, пронизывающий контур проводника, изменился от 0,25 до 1 Вб, при этом ЭДС индукции оказалась равной 2,5 В. Определить время изменения магнитного потока и силу индукционного тока, если сопротивление проводника равно 0,5 Ом.

Дано: $\Phi_1 = 0,25$ Вб, $\Phi_2 = 1$ Вб, $\mathcal{E} = 2,5$ В, $R = 0,5$ Ом.	Решение. Используя закон электромагнитной индукции $\mathcal{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t}$, находим
Найти I ; Δt .	$\Delta t = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\mathcal{E}}; \quad \Delta t = \frac{0,75 \text{ В} \cdot \text{с}}{2,5 \text{ В}} = 0,3 \text{ с;}$

По закону Ома

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R}; I = \frac{2,5 \text{ В}}{0,5 \text{ Ом}} = 5 \text{ А}.$$

Ответ: $I = 5 \text{ А}$; $\Delta t = 0,3 \text{ с}$.

19.7. Проводник сопротивлением 2 Ом пронизывается магнитным потоком. Определить изменение магнитного потока, если за $0,4 \text{ с}$ в проводнике возник индукционный ток $0,5 \text{ А}$.

Дано: $R = 2 \text{ Ом},$ $\Delta t = 0,4 \text{ с},$ $I = 0,5 \text{ А}.$	Решение. Согласно закону электромагнитной индукции $\mathcal{E} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$, а из закона Ома $\mathcal{E} = IR$. Тогда $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = IR,$
Найти $\Delta \Phi.$	

откуда изменения магнитного потока

$$\Delta \Phi = IR \Delta t;$$

$$\Delta \Phi = 0,5 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} \cdot 0,4 \text{ с} = 0,4 \text{ В} \cdot \text{с} = 0,4 \text{ Вб}.$$

Ответ: $\Delta \Phi = 0,4 \text{ Вб}$.

19.8. Катушка сопротивлением 100 Ом , состоящая из 1000 витков площадью 5 см^2 каждый, внесена в однородное магнитное поле. В течение некоторого времени индукция магнитного поля уменьшилась от $0,8$ до $0,3 \text{ Тл}$. Какой заряд индуцирован в проводнике за это время?

Дано: $R = 100 \text{ Ом},$ $n = 1000,$ $S = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$ $B_1 = 0,8 \text{ Тл},$ $B_2 = 0,3 \text{ Тл}.$	Решение. Сила тока, согласно определению, $I = \frac{Q}{\Delta t},$ где Q — заряд, протекающий в проводнике, отсюда $Q = I \Delta t$. Сила индукционного тока в катушке $I = \frac{\mathcal{E}}{R}. \text{ ЭДС в } n \text{ витках}$
Найти $Q.$	

$$\mathcal{E} = \frac{n \Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{n(B_1 - B_2)S}{\Delta t}.$$

Находим заряд, индуцированный в проводнике:

$$Q = \frac{nS(B_1 - B_2)}{R};$$

$$Q = \frac{10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 0,5 \text{ Н} / (\text{А} \cdot \text{м})}{100 \text{ Ом}} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Кл.}$$

Ответ: $Q = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Кл.}$

19.9. Применяя правило Ленца, определить направление индукционного тока в катушке AB , к которой подключен гальванометр G (рис. 25).

Решение.

При приближении северного полюса магнита к катушке в ней индуцируется ток, и на конце B катушки возникает северный магнитный полюс; следовательно, ток в катушке направлен от A к B . При удалении северного полюса магнита от катушки в ней возникает индукционный ток, направленный от B к A .

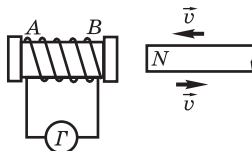


Рис. 25

20. Самоиндукция.

Энергия магнитного поля

20.1. По катушке индуктивностью 80 мГн проходит постоянный ток 2 А . Определить время убывания силы тока при размыкании цепи, если ЭДС самоиндукции равна -16 В .

Дано:

$$L = 0,08 \text{ Гн},$$

$$\Delta I = 2 \text{ А},$$

$$\mathcal{E} = -16 \text{ В}.$$

Найти

$$\Delta t.$$

Решение.

$$\text{ЭДС самоиндукции } \mathcal{E} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}, \text{ от-}$$

куда

$$\Delta t = - \frac{L \Delta I}{\mathcal{E}};$$

$$\Delta t = - \frac{0,08 \text{ Ом} \cdot \text{с} \cdot 2 \text{ А}}{-16 \text{ В}} = 0,01 \text{ с}.$$

Ответ: $\Delta t = 0,01 \text{ с}.$

20.2. Определить индуктивность катушки, если при прохождении тока 2 А энергия магнитного поля в ней была равна 1 Дж.

Дано: $I = 2 \text{ А},$ $W = 1 \text{ Дж}.$	Решение. Энергия магнитного поля в катуш-
Найти: $L.$	ке с током $W = \frac{LI^2}{2}$, откуда

$$L = \frac{2W}{I^2};$$

$$L = \frac{2 \text{ Дж}}{4 \text{ А}^2} = 0,5 \text{ Ом} \cdot \text{с} = 0,5 \text{ Гн}.$$

Ответ: $L = 0,5 \text{ Гн}.$

20.3. Определить энергию магнитного поля катушки, состоящей из 200 витков, если при силе тока 4 А в ней возникает магнитный поток, равный 0,01 Вб.

Дано: $n = 200,$ $I = 4 \text{ А},$ $\Phi = 0,01 \text{ Вб}.$	Решение. Запишем формулы энергии магнитного поля и магнитного потока, возникшего в катушке из n витков:
Найти: $W.$	$W = \frac{LI^2}{2}$ и $n\Phi = LI$, где L — индук-

тивность катушки; отсюда

$$W = \frac{n\Phi I}{2}; \quad W = \frac{200 \cdot 0,01 \text{ В} \cdot \text{с} \cdot 4 \text{ А}}{2} = 4 \text{ Дж}.$$

Ответ: $W = 4 \text{ Дж}.$

20.4. Через катушку без сердечника, имеющую длину 15,7 см, площадь поперечного сечения 5 см^2 и обмотку из 500 витков, проходит ток 20 А. Определить ЭДС самоиндукции, которая возникает в катушке, если ток исчезнет (уменьшится до нуля) за 0,002 с.

Дано:

$$\begin{aligned}l &= 15,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}, \\S &= 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, \\n &= 500, \\I_0 &= 20 \text{ А}, \\I_t &= 0, \\\Delta t &= 2 \cdot 10^{-3} \text{ с}, \\\mu_0 &= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2, \\\mu &= 1.\end{aligned}$$

Найти

$\mathcal{E}$.

Решение.

ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке при изменении силы тока в ней, равна

$\mathcal{E} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$, где L – индуктивность катушки, вычисляемая по формуле

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

Вычисляя, находим ЭДС самоиндукции:

$$\mathcal{E} = -\frac{\mu_0 \mu n^2 S (I_t - I_0)}{\Delta t};$$

$$\mathcal{E} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2 \cdot 25 \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 20 \text{ А}}{15,7 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ с}} = 10 \text{ В}.$$

Ответ: $\mathcal{E} = 10 \text{ В}$.

20.5. В катушке возникает ЭДС самоиндукции, равная 15 В, при равномерном увеличении тока от 0 до 5 А за 0,4 с. Чему равна индуктивность катушки?

Дано:

$$\begin{aligned}\mathcal{E} &= 15 \text{ В}, \\\Delta I &= 5 \text{ А}, \\\Delta t &= 0,4 \text{ с}.\end{aligned}$$

Найти

L .

Решение.

Используя закон самоиндукции

$$\mathcal{E} = L \frac{\Delta I}{\Delta t} \text{ (знак «-» опускаем),}$$

находим индуктивность катушки

$$L = \mathcal{E} \frac{\Delta t}{\Delta I};$$

$$L = \frac{15 \text{ В} \cdot 0,4 \text{ с}}{5 \text{ А}} = 1,2 \text{ Ом} \cdot \text{с} = 1,2 \text{ Гн}.$$

Ответ: $L = 1,2 \text{ Гн}$.

Колебания и волны

1. Механические колебания

1.1. Материальная точка, совершая гармонические колебания, имеет наибольшее отклонение от положения равновесия 20 см и совершает 100 полных колебаний за 3 мин 20 с. Написать уравнение колебания.

Дано: $A = 0,2 \text{ м},$ $n = 100,$ $t = 200 \text{ с}.$	Решение. Общий вид уравнения гармонического колебания $x = A \sin (2\pi\nu t + \varphi_0).$
Найти $x.$	Так как $\varphi_0 = 0; \nu = \frac{n}{t},$ то $\nu = \frac{100}{200 \text{ с}} = 0,5 \text{ Гц}.$

Следовательно,

$$x = 0,2 \sin (2\pi \cdot 0,5t); x = 0,2 \sin \pi t.$$

Ответ: $0,2 \sin \pi t.$

1.2. Математический маятник длиной 1 м отклонен от положения равновесия на 30° . Определить приращение потенциальной энергии маятника, если его масса равна 1 кг.

Дано: $l = 1 \text{ м},$ $\alpha = 30^\circ,$ $m = 0,1 \text{ кг},$ $g = 10 \text{ м/с}^2.$	Решение. При отклонении маятника от положения равновесия он поднялся на высоту BD (рис. 26). При этом его потенциальная энергия увеличилась на
Найти $\Delta E_{\text{п}}.$	$\Delta E_{\text{п}} = P \cdot BD = mg \cdot BD;$

Дано: $l = 0,66 \text{ м},$ $T = 1 \text{ с}.$	Решение. Период колебаний математическо-
Найти $g_{\text{Ю}}.$	го маятника $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_{\text{Ю}}}}$; отсюда

$$g_{\text{Ю}} = \frac{4\pi^2 l}{T^2}; g_{\text{Ю}} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,66 \text{ м}}{1 \text{ с}^2} = 26 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $g_{\text{Ю}} = 26 \text{ м/с}^2.$

1.5. Написать уравнение гармонического колебания, если амплитуда колебания равна 10 см, период колебания 0,4 с и начальная фаза колебания равна нулю.

Дано: $A = 0,1 \text{ м},$ $T = 0,4 \text{ с},$ $\varphi_0 = 0.$	Решение. Искомое уравнение гармоническо-
Найти $x.$	го колебания: $x = A \sin \left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0 \right);$

$$x = 0,1 \sin \frac{6,28}{0,4} t; x = 0,1 \sin 15,7t.$$

Ответ: $x = 0,1 \sin 15,7t.$

2. Волновое движение

2.1. Ультразвуковой генератор, создающий колебания с частотой 80 кГц, посылает импульс продолжительностью 0,002 с. Сколько ультразвуковых волн содержится в одном импульсе?

Дано: $\nu = 8 \cdot 10^4 \text{ Гц},$ $t = 0,002 \text{ с}.$	Решение. Число колебаний $n = \frac{t}{T}$, где $T = \frac{1}{\nu}$ —
Найти $n.$	период колебаний; отсюда $n = t\nu;$

$$n = 0,002 \text{ с} \cdot 8 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1} = 160 \text{ (число волн)}.$$

Ответ: 160.

2.2. Разность хода двух когерентных волн в данной точке равна 10 м. Длина волны 4 м. Усиливаются или ослабляются колебания в данной точке?

Дано: $\Delta s = 10 \text{ м},$ $\lambda = 4 \text{ м}.$	Решение. Условие максимума или минимума при интерференции когерентных волн: $\Delta s = n \frac{\lambda}{2}$. Если n — четное число, то будет усиление интенсивности колебаний, если n — нечетное число, то — ослабление. Найдим n :
Найти $\frac{\Delta s}{\frac{\lambda}{2}}.$	
	$n = \frac{\Delta s}{\frac{\lambda}{2}} = \frac{10 \text{ м}}{2 \text{ м}} = 5.$

Так как разность хода двух когерентных волн равна нечетному числу полуволен, то в рассматриваемой точке среды будет наблюдаться ослабление колебаний.

Ответ: $n = 5$; колебания ослабляются.

2.3. Лодка качается на морских волнах с периодом 2 с. Определить длину морской волны, если она движется со скоростью 3 м/с.

Дано: $T = 2 \text{ с},$ $v = 3 \text{ м/с}.$	Решение. Длина волны и скорость ее распространения связаны соотношением:
Найти $\lambda.$	$\lambda = vT;$
	находим

$$\lambda = 3 \text{ м/с} \cdot 2 \text{ с} = 6 \text{ м}.$$

Ответ: 6 м.

2.4. Диск сирены имеет 20 отверстий и совершает 25 об/с. Определить длину волны звука, возбуждаемого сиреной, если фазовая скорость волны 340 м/с.

Дано: $n = 20$, $f = 25 \text{ с}^{-1}$, $v = 340 \text{ м/с}$.	Решение. Длина волны $\lambda = \frac{v}{n}$; частота колебаний источника волн $\nu = nf$. Отсюда $\lambda = \frac{v}{nf}; \lambda = \frac{340 \text{ м/с}}{20 \cdot 25 \text{ с}^{-1}} = 0,68 \text{ м}.$
Найти λ .	

Ответ: $\lambda = 0,68 \text{ м}$.

2.5. Ультразвуковой сигнал, посланный с корабля вертикально вниз, возвратился через 6 с. Определить глубину моря, если скорость распространения звука в морской воде равна 1,3 км/с.

Дано: $t = 6 \text{ с}$, $v = 1300 \text{ м/с}$.	Решение. Путь, пройденный ультразвуковым сигналом, равен $2H = vt$; отсюда $H = \frac{vt}{2}; H = \frac{1300 \text{ м/с} \cdot 6 \text{ с}}{2} = 3900 \text{ м} = 3,9 \text{ км}.$
Найти H .	

Ответ: $H = 3,9 \text{ км}$.

3. Электромагнитные колебания. Колебательный контур

3.1. Определить период и частоту собственных электромагнитных колебаний контура, если его индуктивность 1 мГн, а емкость 100 нФ.

Дано: $L = 10^{-3} \text{ Гн}$, $C = 10^{-7} \text{ Ф}$.	Решение. Согласно формуле Томсона, период собственных колебаний $T = 2\pi\sqrt{LC};$
Найти: T ; ν .	

находим

$$T = 2 \cdot 3,14 \cdot 10^{-5} \text{ с} = 62,8 \text{ мкс}.$$

Частота и период колебаний связаны соотношением

$$\nu = \frac{1}{T}; \text{ отсюда}$$

$$\nu = \frac{1}{6,28 \cdot 10^{-5} \text{ с}} = 15,92 \text{ кГц.}$$

Ответ: $T = 62,8 \text{ мкс}$; $\nu = 15,92 \text{ кГц}$.

3.2. Изменение заряда конденсатора в колебательном контуре происходит по закону $Q = 10^{-6} \cos(5,024 \cdot 10^7)t$. Определить максимальный заряд конденсатора и частоту электромагнитных колебаний в контуре.

Дано: $Q = 10^{-6} \cos(5,024 \cdot 10^7)t.$	Решение. Исходя из закона колебаний заряда в колебательном контуре
Найти: $Q_m; \nu.$	

$$Q = Q_0 \cos 2\pi \nu t,$$

получим значения искомых величин:

$$Q_m = 10^{-6} \text{ Кл}; 2\pi \nu = 5,024 \cdot 10^7, \nu = 8 \text{ МГц.}$$

Ответ: $Q_m = 10^{-6} \text{ Кл}$; $\nu = 8 \text{ МГц}$.

3.3. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 6 мкФ и катушки индуктивностью $0,24 \text{ Гн}$. Определить максимальную силу тока в контуре, если максимальное напряжение на обкладках конденсатора равно 400 В . Сопротивление контура принять равным нулю.

Дано: $C = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Ф},$ $L = 0,24 \text{ Гн},$ $U_m = 400 \text{ В},$ $R = 0.$	Решение. На основании закона сохранения и превращения энергии $\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2},$
Найти $I_m.$	откуда

$$I_m = U_m \sqrt{\frac{C}{L}}, I_m = 400 \text{ В} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}}{0,24 \text{ Гн}}} = 2 \text{ А.}$$

Ответ: 2 А .

3.4. Составить уравнение гармонического колебания силы тока в колебательном контуре, если амплитудное значение силы тока равно 0,35 А и период колебания 0,0005 с. Начальная фаза колебания равна нулю.

Дано: $I_m = 0,35 \text{ А},$ $T = 5 \cdot 10^{-4} \text{ с},$ $j_0 = 0.$	Решение. Уравнение гармонического колебания тока в колебательном контуре
Найти $i(t).$	$i = I_m \sin \left(\frac{2\pi t}{T} + \Phi_0 \right) =$ $= 0,35 \sin \frac{2\pi t}{5 \cdot 10^{-4}} =$ $= 0,35 \sin (4\pi \cdot 10^3)t = 0,35 \sin 12\,560t.$

Ответ: $i = 0,35 \sin 12\,560t.$

3.5. Определить силу тока в колебательном контуре в момент полной разрядки конденсатора, если энергия электрического тока в катушке $4,8 \cdot 10^{-3}$ Дж, а индуктивность катушки 0,24 Гн.

Дано: $W = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ Дж},$ $L = 0,24 \text{ Гн}.$	Решение. В момент полной разрядки конденсатора энергия колебательного контура сосредоточена в магнитном поле катушки индуктивности. Следовательно
Найти $I_m.$	

но, $W = \frac{LI_m^2}{2}$, откуда

$$I_m = \sqrt{\frac{2W}{L}}; I_m = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,8 \cdot 10^{-3}}{0,24}} = 0,2 \text{ А}.$$

Ответ: $I_m = 0,2 \text{ А}.$

3.6. Определить период и частоту собственных колебаний контура, изображенного на рис. 28, если $L = 3 \cdot 10^{-4}$ Гн, $C_1 = C_2 = C_3 = 10^{-6}$ Ф.

Дано:

$$L = 3 \cdot 10^{-4} \text{ Гн},$$

$$C_1 = C_2 = C_3 =$$

$$= C = 10^{-6} \text{ Ф.}$$

Найти:

$$T; \nu.$$

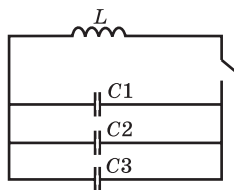


Рис. 28

Решение.

Так как три конденсатора соединены параллельно, то емкость батареи равна

$$C_6 = 3C = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$$

Из формулы Томсона находим период свободных колебаний

$$T = 2\pi\sqrt{LC_6};$$

$$T = 6,28\sqrt{3 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} = 18,84 \cdot 10^{-5} \text{ с};$$

$$\nu = 1/T, \nu = 5,308 \text{ кГц.}$$

Ответ: $T = 18,84 \cdot 10^{-5} \text{ с}; \nu = 5,308 \text{ кГц.}$

3.7. В колебательном контуре совершаются незатухающие электромагнитные колебания. Определить силу тока в контуре при $t = 0,002 \text{ с}$ от начала отсчета, если заряд конденсатора изменяется по гармоническому закону $Q = 2 \cdot 10^{-5} \sin 500\pi t$.

Дано:

$$Q = 2 \cdot 10^{-5} \sin 500\pi t,$$

$$t = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Найти

$$i.$$

Решение.

Найдем производную от заряда и запишем уравнение гармонического колебания силы тока в колебательном контуре,

а затем вычислим мгновенное значение силы тока при $t = 0,002 \text{ с}$:

$$i = \dot{Q} = \frac{dQ}{dt} = 2 \cdot 10^{-5} \cos 500\pi t \cdot 500\pi =$$

$$= 2 \cdot 10^{-5} \cdot 500\pi \cos 500\pi t = 0,01\pi \cos 500\pi t.$$

При $t = 0,002 \text{ с}$

$$i = 0,01 \cos 500\pi \cdot 0,002 = 0,01\pi \cos \pi = -0,01\pi, i = -0,0314 \text{ А.}$$

Ответ: $i = -0,0314 \text{ А.}$

4. Вынужденные электрические колебания. Переменный ток

4.1. Магнитный поток в рамке, равномерно вращающейся в однородном магнитном поле, изменяется по закону $\Phi = 3 \cdot 10^{-2} \cos 157t$. Найти зависимость мгновенного значения ЭДС индукции, возникающей в рамке, от времени. Определить максимальное и действующее значения ЭДС, период и частоту тока.

Дано: $\Phi = 3 \cdot 10^{-2} \cos 157t$.	Решение. По закону электромагнитной индукции Фарадея $e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.
Найти: $e(t); \mathcal{E}_m; \mathcal{E}_d; T; \nu$.	

Мгновенное значение ЭДС, возникающей в рамке, равномерно вращающейся в однородном магнитном поле, равно первой производной от магнитного потока по времени, взятой со знаком минус:

$$e = -\dot{\Phi}(t) = -3(-3 \cdot 10^{-2} \cdot 157 \sin 157t) = 4,71 \sin 157t.$$

Из полученного уравнения определим: $\mathcal{E}_m = 4,71$ В;

$$\mathcal{E}_d = 0,707 \mathcal{E}_m = 3,33 \text{ В}; \quad \frac{2\pi}{T} = 157; \quad T = 0,04 \text{ с}; \quad \nu = \frac{1}{T};$$

$$\nu = 25 \text{ Гц}.$$

Ответ: $\mathcal{E}_m = 4,71$ В; $\mathcal{E}_d = 3,33$ В; $T = 0,04$ с; $\nu = 25$ Гц; $e(t) = 4,71 \sin 157t$.

4.2. Определить амплитудное и действующее значения переменной ЭДС, возникающей в рамке при ее вращении с постоянной скоростью в однородном магнитном поле, если при угле поворота рамки на 45° мгновенное значение ЭДС равно 156 В.

Дано: $\alpha = 45^\circ$, $e = 156$ В.	Решение. Мгновенное значение ЭДС, возникающей в рамке при равномерном вращении в однородном магнитном поле, прямо пропорционально синусу
Найти: $\mathcal{E}_m; \mathcal{E}_d$.	

су угла поворота плоскости рамки относительно направления линий индукции магнитного поля: $e = \mathcal{E}_m \sin \alpha$. Отсюда

$$\mathcal{E}_m = \frac{e}{\sin \alpha}, \mathcal{E}_m = \frac{156 \text{ В}}{\sin 45^\circ} = \frac{156 \text{ В}}{0,707} = 220,6 \text{ В};$$

$$\mathcal{E}_d = 0,707 \mathcal{E}_m = 0,707 \cdot 220,6 \text{ В} = 156 \text{ В}.$$

Ответ: $\mathcal{E}_m = 220,6 \text{ В}$; $\mathcal{E}_d = 156 \text{ В}$.

4.3. Катушка индуктивностью 20 мГн включена в сеть промышленного переменного тока. Определить индуктивное сопротивление катушки.

Дано: $L = 0,02 \text{ Гн},$ $\nu = 50 \text{ Гц}.$	Решение. Индуктивное сопротивление катушки
Найти $X_L.$	$X_L = 2\pi\nu L.$ Вычисляя, находим

$$X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \text{ с}^{-1} \cdot 0,02 \text{ Ом} \cdot \text{с} = 6,28 \text{ Ом}.$$

Ответ: $X_L = 6,28 \text{ Ом}.$

4.4. Конденсатор электроемкостью 10^{-6} Ф включен в сеть переменного тока с частотой 50 Гц. Определить емкостное сопротивление конденсатора.

Дано: $C = 10^{-6} \text{ Ф},$ $\nu = 50 \text{ Гц}.$	Решение. Емкостное сопротивление конденсатора
Найти $X_C.$	$X_C = \frac{1}{2\pi\nu C};$

$$X_C = \frac{1}{6,28 \cdot 50 \text{ с}^{-1} \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} = 3185 \text{ Ом}.$$

Ответ: $X_C = 3185 \text{ Ом}.$

4.5. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 5 мГн и конденсатора электроемкостью 200 мкФ. Определить резонансную частоту электромагнитных колебаний. Активное сопротивление контура мало.

Дано: $L = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$ $C = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}.$	Решение. Так как активное сопротивление мало, то резонансная частота равна частоте собственных колебаний контура $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$; находим
Найти $\nu.$	

$$\nu = \frac{1}{6,28\sqrt{5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}}} = \frac{10^3 \text{ с}^{-1}}{6,28} = 159,2 \text{ Гц}.$$

Ответ: $\nu = 159,2 \text{ Гц}.$

4.6. Как изменится индуктивное сопротивление катушки, если ее включить в цепь переменного тока с частотой 10 кГц вместо 50 Гц?

Дано: $\nu_1 = 50 \text{ Гц},$ $\nu_2 = 10 \text{ 000 Гц}.$	Решение. Используя формулу индуктивного сопротивления катушки $X_L = 2\pi\nu L$, находим
Найти $X_{L_2} : X_{L_1}.$	$\frac{X_{L_2}}{X_{L_1}} = \frac{2\pi\nu_2 L}{2\pi\nu_1 L} = \frac{\nu_2}{\nu_1};$

$$\frac{X_{L_2}}{X_{L_1}} = \frac{10 \text{ 000 Гц}}{50 \text{ Гц}} = 200.$$

Ответ: $X_{L_2} : X_{L_1} = 200.$

4.7. Конденсатор электроемкостью 0,5 мкФ включен в сеть переменного тока. Определить период колебаний переменного тока, если емкостное сопротивление конденсатора равно 20 Ом.

Дано: $C = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Ф},$ $X_C = 20 \text{ Ом}.$	Решение. Из формулы емкостного сопротивления выразим T :
Найти $T.$	$T = 2\pi C X_C;$ $T = 6,28 \cdot 5 \cdot 10^{-5} \text{ Ф} \cdot 20 \text{ Ом} = 6,28 \text{ мс}.$

Ответ: $T = 6,28 \text{ мс}.$

5. Трансформатор

5.1. Повышающий трансформатор работает от сети с напряжением $U_1 = 220$ В. Определить напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора в режиме холостого хода, если коэффициент трансформации $k = 0,2$.

Дано: $U_1 = 220$ В, $k = 0,2$.	Решение. В режиме холостого хода трансформатора имеем $\frac{U_1}{U_2} = k$; отсюда
Найти U_2 .	$U_2 = \frac{U_1}{k}; U_2 = \frac{220 \text{ В}}{0,2} = 1100 \text{ В}.$

Ответ: $U_2 = 1100$ В.

5.2. Первичная обмотка трансформатора содержит 100 витков. Сколько витков содержит вторичная обмотка трансформатора, если коэффициент трансформации равен 0,04?

Дано: $w_1 = 100$, $k = 0,04$.	Решение. Коэффициент трансформации, согласно определению, равен $\frac{w_1}{w_2} = k$;
Найти w_2 .	отсюда $w_2 = \frac{w_1}{k}; w_2 = \frac{100}{0,04} = 2500$.

Ответ: $w_2 = 2500$.

5.3. Во сколько раз уменьшатся тепловые потери в линии электропередачи, если входное напряжение повышающего трансформатора 11 кВ, а выходное 110 кВ?

Дано: $U_1 = 11$ кВ, $U_2 = 110$ кВ.	Решение. На основании закона Джоуля–Ленца устанавливаем, что $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{I_2^2}{I_1^2}$.
Найти $Q_2 : Q_1$.	На основании закона сохранения энергии $I_1 U_1 = I_2 U_2$, откуда

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} \text{ и } \frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2; \frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{11 \text{ кВ}}{110 \text{ кВ}} \right)^2 = \frac{1}{100}.$$

Ответ: тепловые потери в линии электропередачи уменьшатся в 100 раз.

5.4. Сила тока в первичной обмотке трансформатора $I_1 = 15\,000\text{ А}$ и напряжение на ее зажимах $U_1 = 11\,000\text{ В}$. Сила тока во вторичной обмотке $I_2 = 1500\text{ А}$. Определить напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора, если его КПД равен 96%.

Дано: $I_1 = 15\,000\text{ А},$ $U_1 = 11\,000\text{ В},$ $I_2 = 1500\text{ А},$ $\eta = 0,96.$	Решение. КПД трансформатора $\eta = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1},$ откуда $U_2 = \frac{\eta I_1 U_1}{I_2};$ $U_2 = \frac{0,96 \cdot 15\,000 \cdot 11\,000\text{ А} \cdot \text{В}}{1500\text{ А}} =$ $= 105\,600\text{ В}.$
Найти $U_2.$	

Ответ: $U_2 = 105\,600\text{ В}.$

5.5. На первичную обмотку трансформатора, имеющую 120 витков, подано напряжение 220 В. Вторичная обмотка имеет 480 витков. Определить напряжение на зажимах вторичной обмотки и коэффициент трансформации.

Дано: $w_1 = 120,$ $U_1 = 220\text{ В},$ $w_2 = 480.$	Решение. Согласно определению коэффициента трансформации трансформатора запишем $\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = k;$ отсюда $U_2 = \frac{U_1 w_2}{w_1}.$ Вычисляя, находим
Найти: $U_2, k.$	

$$U_2 = \frac{220\text{ В} \cdot 480}{120} = 880\text{ В};$$

$$k = \frac{120}{480} = 0,25.$$

Ответ: $U_2 = 880\text{ В}; k = 0,25.$

6. Электромагнитные волны и их свойства

6.1. Определить длину электромагнитных волн в воздухе, излучаемых колебательным контуром электроемкостью 3 пФ и индуктивностью $0,012 \text{ Гн}$. Активное сопротивление контура принять равным нулю.

Дано: $C = 3 \cdot 10^{-9} \text{ Ф},$ $L = 12 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$	Решение. Длина электромагнитных волн, излучаемых колебательным контуром, $\lambda = cT$, где
Найти $\lambda.$	$T = 2\pi\sqrt{LC}$ — формула Томсона. Отсюда находим

$$1 = 2\pi c\sqrt{LC};$$

$$\lambda = 6,28 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot \sqrt{12 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-9}} = 11\,304 \text{ м} = 11,304 \text{ км}.$$

Ответ: $\lambda = 11,304 \text{ км}.$

6.2. Колебательный контур излучает в воздухе электромагнитные волны длиной 300 м . Определить индуктивность колебательного контура, если его электроемкость равна 5 пФ . Активное сопротивление контура не учитывать.

Дано: $\lambda = 300 \text{ м},$ $C = 5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф},$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$	Решение. Так как $T = \frac{\lambda}{c}$ и $T = 2\pi\sqrt{LC}$, то
Найти $L.$	$L = \frac{\lambda^2}{4\pi^2 c^2 C};$

$$L = \frac{9 \cdot 10^4 \text{ м}^2 \cdot \text{В}}{4 \cdot 9,86 \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2 / \text{с}^2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \text{ А} \cdot \text{с}} = 5 \text{ нГн}.$$

Ответ: $L = 5 \text{ нГн}.$

6.3. На какую длину волны настроен колебательный контур радиоприемника индуктивностью $0,2 \text{ мГн}$, если максимальная сила тока в контуре $0,1 \text{ А}$, а максимальное напряжение равно 200 В ?

Дано: $L = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Гн},$ $I_m = 0,1 \text{ А},$ $U_m = 200 \text{ В},$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$	Решение. Длина волны $\lambda = cT$; период колебаний $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Таким образом, $\lambda = 2\pi c\sqrt{LC}$. По закону сохранения энергии имеем $0,5LI_m^2 = 0,5CU_m^2,$
Найти $\lambda.$	

откуда емкость колебательного контура

$$C = \frac{LI_m^2}{U_m^2}.$$

Вычисляя, находим

$$\lambda = \frac{2\pi cLI_m}{U_m};$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{с} \cdot 0,1 \text{ А}}{200 \text{ В}} = 188,4 \text{ м}.$$

Ответ: $\lambda = 188,4 \text{ м}.$

7. Электромагнитная природа света

7.1. Длина волны красного света в вакууме равна 750 нм. Определить частоту колебаний в волне красного света.

Дано: $\lambda = 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ м},$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$	Решение. Длина волны света в вакууме $\lambda = cT = \frac{c}{\nu},$ где T — период колебаний, ν — частота колебаний. Отсюда
Найти $\nu.$	

$$\nu = \frac{c}{\lambda}; \nu = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{7,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 4 \cdot 10^{14} \text{ Гц}.$$

Ответ: $\nu = 4 \cdot 10^{14} \text{ Гц}.$

7.2. Определить абсолютный показатель преломления стекла, если длина волны желтого света в нем равна 325 нм и энергия фотона этого излучения $3,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$

Дано: $\lambda = 325 \cdot 10^{-9} \text{ м},$ $\varepsilon = 3,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж},$ $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$	Решение. Абсолютный показатель преломления среды $n = \frac{c}{v}$, где c — скорость света в вакууме, v — скорость света в данной
Найти $n.$	

среде. Вычисляем $n = \frac{\lambda_0 v}{\lambda v} = \frac{\lambda_0}{\lambda}.$

Энергия фотона $\varepsilon = \frac{ch}{\lambda_0}$ (h — постоянная Планка);

отсюда $\lambda_0 = \frac{ch}{\varepsilon}$. Тогда

$$n = \frac{ch}{\varepsilon \lambda}; n = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{3,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \cdot 325 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = 1,8.$$

Ответ: $n = 1,8.$

7.3. Длина волны желтого света в вакууме 580 нм, а в жидком бензоле 386 нм. Определить абсолютный показатель преломления бензола.

Дано: $\lambda_0 = 58 \cdot 10^{-8} \text{ м},$ $\lambda = 386 \cdot 10^{-9} \text{ м}.$	Решение. Абсолютный показатель прелом- ления среды $n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0 v}{\lambda v} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$
Найти $n.$	($n = \text{const}$). Находим

$$n = \frac{58 \cdot 10^{-8} \text{ м}}{386 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = 1,5.$$

Ответ: $n = 1,5.$

7.4. Может ли произойти изменение длины световой волны с 500 нм на 400 нм при переходе светового луча из среды, отличной от вакуума, в вакуум?

Ответ. Нет, потому что при переходе световой волны из среды, отличной от вакуума, в вакууме ее скорость увеличивается и соответственно должна увеличиться длина волны, а по условию задачи длина волны уменьшается.

7.5. Длина волны голубого света в вакууме 500 нм, а в глицерине 340 нм. Определить скорость распространения электромагнитных волн в глицерине.

Дано: $\lambda_0 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м},$ $\lambda_{\Gamma} = 3,4 \cdot 10^{-7} \text{ м},$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$	Решение. Абсолютный показатель преломления $n = \frac{c}{v}$, где c — скорость света в вакууме, v — скорость света в данной среде. Запишем
Найти $v_{\Gamma}.$	

$$n = \frac{c}{v_{\Gamma}} = \frac{\lambda_0}{\lambda_{\Gamma}},$$

отсюда находим

$$v_{\Gamma} = \frac{c\lambda_{\Gamma}}{\lambda_0}; v_{\Gamma} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 3,4 \cdot 10^{-7} \text{ м}}{5 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 2,04 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v_{\Gamma} = 2,04 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$

8. Волновые свойства света

8.1. В некоторую точку пространства приходят световые пучки когерентного излучения с оптической разностью хода 6 мкм. Что произойдет — усиление или ослабление интенсивности света — в этой точке, если длина волны равна 500 нм? 480 нм?

Дано: $\Delta d = 6 \cdot 10^{-6} \text{ м},$ $\lambda_1 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м},$ $\lambda_2 = 4,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$	Решение. Максимальное усиление или максимальное ослабление интенсивности света зависит от того, сколько раз укладывается полуволна на расстоянии, равном оптической разности хода лучей, т. е.
Найти: $k_1, k_2.$	

$$\Delta d = \frac{\lambda}{2} k, \text{ откуда } k = \frac{2\Delta d}{\lambda}.$$

Находим:

$$k_1 = \frac{2\Delta d}{\lambda_1}; k_2 = \frac{2\Delta d}{\lambda_2};$$

$$k_1 = \frac{2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{5 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 24; \quad k_2 = \frac{2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{4,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 25.$$

Так как k_1 — четное число, то происходит максимальное усиление интенсивности света.

Ответ: усиление интенсивности света при l_1 , ослабление — при l_2 .

8.2. Прозрачная пластинка толщиной 2,4 мкм освещена перпендикулярными оранжевыми лучами с длиной волны 0,6 мкм. Будет ли видна эта пластинка в отраженном свете оранжевой, если показатель преломления пластинки равен 1,5?

Дано: $d = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ м},$ $\lambda = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м},$ $n = 1,5.$	Решение. Пластинка будет видна в отраженном свете оранжевой, если выполняется условие $2dn = \frac{\lambda}{2} k$ при k нечетном. Отсюда
Найти $k.$	

$$k = \frac{4dn}{\lambda}, \quad k = \frac{4 \cdot 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot 1,5}{0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}} = 24,$$

т. е. оптическая разность хода лучей равна четному числу полуволн.

Ответ: в отраженном свете пластинка будет видна черной.

8.3. В воде интерферируют когерентные волны частотой $5 \cdot 10^{14}$ Гц. Усилится или ослабнет свет в точке, если геометрическая разность хода лучей в ней равна 1,8 мкм? Показатель преломления воды 1,33.

Дано: $\nu = 5 \cdot 10^{14} \text{ Гц},$ $\Delta s = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ м},$ $n = 1,33,$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$	Решение. Оптическая разность хода лучей $\Delta d = n\Delta s$; Δs — геометрическая разность хода лучей: $\Delta s = \frac{\lambda}{2} k$ ($k = 1, 2, 3, \dots$). Если k — четное число, то про-
Найти $k.$	

исходит усиление света; если k — нечетное, то — ослабление света. Длина волны света и его частота связаны

соотношением $\lambda = \frac{c}{\nu}$. Так как

$$n\Delta s = \frac{\lambda}{2} k = \frac{c}{2\nu} k,$$

то

$$k = \frac{2\nu n \Delta s}{c};$$

$$k = \frac{2 \cdot 1,33 \cdot 5 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1} \cdot 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 7,98 \approx 8.$$

Ответ: в данной точке будет происходить почти максимальное усиление интенсивности света, так как 8 — четное число.

8.4. Какую наименьшую толщину должна иметь прозрачная пластинка, изготовленная из вещества с показателем преломления 1,2, чтобы при освещении ее перпендикулярными лучами с длиной волны 600 нм она в отраженном свете казалась черной?

Дано: $n = 1,2,$ $\lambda = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м},$	Решение. Пластинка в отраженном свете будет казаться черной, если оптическая разность хода лучей будет равна четному числу полуволн, т. е.
Найти $d_{\min}.$	

$$2d_{\min} n = k\lambda,$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$. Наименьшей толщина пластинки должна быть при $k = 1$, тогда

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{2n}; \quad d_{\min} = \frac{6 \cdot 10^{-7} \text{ м}}{2 \cdot 1,2} = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 250 \text{ нм}.$$

Ответ: $d_{\min} = 250 \text{ нм}.$

8.5. Какова оптическая разность хода двух когерентных монохроматических волн в веществе, абсолютный показатель преломления которого 1,6, если геометрическая разность хода лучей равна 2,5 см?

Дано: $n = 1,6,$ $\Delta l = 2,5 \text{ см.}$	Решение. Оптическая разность хода двух когерентных монохроматических волн в веществе и их геометрическая разность хода связаны соотношением:
Найти $\Delta d.$	

$$\Delta d = n\Delta l; \Delta d = 1,6 \cdot 2,5 \text{ см} = 4 \text{ см.}$$

Ответ: $\Delta d = 4 \text{ см.}$

8.6. Дифракционная решетка имеет 50 штрихов на миллиметр. Под какими углами видны максимумы первого и второго порядков монохроматического излучения с длиной волны 400 нм?

Дано: $d = 10^{-3} \text{ м}; 50 =$ $= 2 \cdot 10^{-5} \text{ м},$ $\lambda = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м},$	Решение. Из формулы дифракционной решетки выразим $\sin \alpha$: $\sin \alpha = \frac{k\lambda}{d}.$
Найти $\alpha_1, \alpha_2.$	При $k = 1$

$$\sin \alpha_1 = \frac{\lambda}{d}; \sin \alpha_1 = \frac{4 \cdot 10^{-7} \text{ м}}{2 \cdot 10^{-5} \text{ м}} = 0,02; \alpha_1 = 1^\circ 10';$$

при $k = 2$

$$\sin \alpha_2 = \frac{2\lambda}{d}; \sin \alpha_2 = \frac{2 \cdot 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}}{2 \cdot 10^{-5} \text{ м}} = 0,04; \alpha_2 = 2^\circ 20'.$$

Ответ: $\alpha_1 = 1^\circ 10'; \alpha_2 = 2^\circ 20'.$

8.7. Через дифракционную решетку, имеющую 200 штрихов на миллиметр, пропущено монохроматическое излучение с длиной волны 750 нм. Определить угол, под которым виден максимум первого порядка этой волны.

Дано:

$$d = 10^{-3} \text{ м}; 200 =$$

$$= 5 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

$$\lambda = 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

$$k = 1.$$

Найти

α .

Решение.

Из формулы дифракционной решетки выразим $\sin \alpha$:

$$\sin \alpha = \frac{k\lambda}{d};$$

$$\sin \alpha = \frac{7,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}}{5 \cdot 10^{-6} \text{ м}} = 0,15; \alpha = 9^\circ.$$

Ответ: $\alpha = 9^\circ$.

8.8. Определить угол полной поляризации при переходе луча света из воздуха в алмаз. Показатель преломления алмаза 2,42.

Дано:

$$n = 2,42.$$

Найти

$i_{\text{пол}}$.

Решение.

На основании закона Брюстера

$$\operatorname{tg} i_{\text{пол}} = n;$$

$$\operatorname{tg} i_{\text{пол}} = 2,42; i_{\text{пол}} = 67^\circ 30'.$$

Ответ: $i_{\text{пол}} = 67^\circ 30'$.

8.9. На рис. 29 изображены стеклянная призма и направление распространения белого светового пучка. Нарисовать схему хода пучка лучей через призму и указать последовательность расположения цветных лучей в дисперсионном спектре.

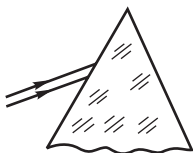


Рис. 29

Ответ. Так как составные цветные лучи белого излучения имеют различные частоты, то при прохождении их через стеклянную призму будет наблюдаться дисперсия. Показатель преломления красного луча в стекле меньше показателя преломления фиолетового луча, поэтому цветные лучи будут рас-

полагаться от вершины призмы к ее основанию в такой последовательности: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый.

8.10. Доказать, что при переходе монохроматического света из одной среды в другую, показатели пре-

ломления которых различны, длины волн прямо пропорциональны скоростям распространения света в этих средах.

Ответ. Пусть частота монохроматического света ν , тогда скорость распространения света в одной среде $v_1 = \lambda_1 \nu$, а скорость распространения света в другой среде $v_2 = \lambda_2 \nu$, где λ_1 и λ_2 — длины волн в этих средах.

Следовательно, $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1 \nu}{\lambda_2 \nu} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$.

8.11. Показатель преломления стекла для оранжевых лучей 1,514, а для синих 1,528. Какие лучи имеют бо́льшую длину волны в вакууме?

Ответ. Показатель преломления среды зависит от скорости распространения монохроматических лучей:

$n_o = \frac{c}{v_o}$; $n_c = \frac{c}{v_c}$. Так как $n_o < n_c$, то $\frac{c}{v_o} < \frac{c}{v_c}$, отсюда $v_o < v_c$ или $\lambda_o \nu < \lambda_c \nu$, т. е. $\lambda_o < \lambda_c$. Оранжевые лучи имеют бо́льшую длину волны в вакууме, чем синие.

Квантовая физика

1. Энергия кванта

1.1. Определить, чему равен квант энергии, соответствующий длине световой волны 0,6 мкм.

Дано: $l = 0,6 \text{ мкм} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м},$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с},$ $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$	Решение. Энергия кванта $\epsilon = h\nu$, где h — постоянная Планка; ν — частота света. Частота света и длина световой волны связаны соотношением $c = \lambda\nu$, где
Найти $\epsilon.$	

c — скорость света в вакууме. Следовательно,

$$e = \frac{hc}{\lambda}; e = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^{-7}} \text{ Дж} = 3,31 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Ответ: $e = 3,31 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

1.2. Сколько фотонов за 1 с испускает электрическая лампа накаливания, полезная мощность которой 60 Вт, если длина волны излучения составляет 662 нм?

Дано:

$$t = 1 \text{ с},$$

$$P = 60 \text{ Вт},$$

$$\lambda = 662 \cdot 10^{-9} \text{ м},$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с},$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Найти

$$N.$$

Решение.

Число фотонов, излучаемых лампой в 1 с, $N = W/\varepsilon$, где W — энергия излучения лампы в течение 1 с; ε — энергия одного фотона. Так как

$$W = Pt; \varepsilon = \frac{ch}{\lambda}, \text{ то}$$

$$N = \frac{P\lambda}{ch}; N = \frac{60 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ с} \cdot 662 \cdot 10^{-9} \text{ м}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}} = 2 \cdot 10^{20}.$$

Ответ: $N = 2 \cdot 10^{20}$.

1.3. Вычислить энергию фотона, если известно, что в среде с показателем преломления $\frac{4}{3}$ его длина волны $\lambda = 5,89 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

Дано:

$$n = \frac{4}{3},$$

$$\lambda = 5,89 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Найти

$$e.$$

Решение.

Энергия фотона

$$e = h\nu = \frac{hc}{\lambda_0},$$

где h — постоянная Планка, ν — частота световой волны,

$l_0 = n l$ — длина волны в вакууме (l — длина волны в среде). Отсюда

$$e = \frac{hc}{\lambda n} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 3}{5,89 \cdot 10^{-7} \cdot 4} \text{ Дж} = 2,5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Ответ: $e = 2,5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

1.4. В среде распространяется свет, имеющий длину волны $5 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ и энергию кванта $3,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Определить абсолютный показатель преломления среды.

Дано: $l = 5 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м},$ $e = 3,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж},$ $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с},$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$	Решение. Абсолютный показатель преломления среды $n = \frac{\lambda_0}{\lambda}$, где l_0 — длина волны света в вакууме (воздухе). Длину волны l_0 найдем из формулы Планка:
Найти $n.$	

ка: $l_0 = \frac{hc}{e}$. Тогда

$$n = \frac{hc}{e\lambda} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{3,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \cdot 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 1,2.$$

Ответ: $n = 1,2$.

1.5. Синий свет имеет частоту $7,5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$. Какую энергию (в эВ) такой фотон может сообщить атому при столкновении? Достаточно ли эта энергия для ионизации атома?

Дано: $\nu = 7,5 \cdot 10^{14} \text{ Гц},$ $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}.$	Решение. Фотон синего света сообщает атому энергию, равную $e = h\nu =$ $= 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 7,5 \cdot 10^{14} \text{ Дж} =$ $= 4,95 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
Найти $e.$	

или $e = 3,1 \text{ эВ}$ ($1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$).

Ответ: $e = 3,1 \text{ эВ}$. Энергия связи валентных электронов в атомах щелочных металлов имеет такой же поря-

док величины, поэтому фотоны синего света могут освободить электроны (производить ионизацию атома) и вызывать в веществе химические превращения (выгорают краски, происходит фотосинтез и т. д.).

2. Тепловое излучение

2.1. Чугунная деталь массой 50 кг нагрета до температуры 600 К, а стальная деталь массой 5 кг нагрета до температуры 800 К. Какая деталь обладает большей энергетической светимостью и во сколько раз?

Дано:	Решение.
$m_1 = 50 \text{ кг},$	На основании закона Стефана – Больцмана энергетическая светимость черного тела прямо пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры и не зависит ни от массы тела, ни от рода вещества: $R = \sigma T^4$. Поэтому энергетическая светимость стальной детали будет больше, чем чугунной, так как ее температура больше. Определим, во сколько раз энергетическая светимость стальной детали больше, чем чугунной:
$m_2 = 5 \text{ кг},$	
$T_1 = 600 \text{ К},$	
$T_2 = 800 \text{ К}.$	
Найти	
$R_2 : R_1.$	

$$R_2 = \sigma T_2^4; R_1 = \sigma T_1^4,$$

тогда

$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^4; \frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{800}{600}\right)^4 = \left(\frac{4}{3}\right)^4 = \frac{256}{81} = 3,16.$$

Ответ: $R_2 : R_1 = 3,16.$

2.2. Определить энергетическую светимость голубой звезды спектрального класса О, если температура ее атмосферы $T = 30\,000 \text{ К}$. (Постоянная Стефана–Больцмана $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$).

Дано:

$$T = 3 \cdot 10^4 \text{ К},$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}.$$

Найти

R .

Решение.

Используя закон Стефана – Больцмана, находим энергетическую светимость

$$R = \sigma T^4;$$

$$R = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4} \cdot 3^4 \cdot 10^{16} \text{ К}^4 = \\ = 5,67 \cdot 81 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 = 45,93 \cdot 10^{-9} \text{ Вт/м}^2 \approx \approx 46 \text{ ГВт/м}^2.$$

Ответ: $R = 46 \text{ ГВт/м}^2$.

2.3. Определить длину волны, на которую приходится максимум энергии излучения в спектре красной звезды спектрального класса М, если температура ее атмосферы $T = 3000 \text{ К}$. (Постоянная Вина $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$.)

Дано:

$$T = 3 \cdot 10^3 \text{ К},$$

$$b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}.$$

Найти

λ_{max} .

Решение.

На основании закона Вина длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения, равна

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}; \lambda_{\text{max}} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}}{3 \cdot 10^3 \text{ К}} = 966 \text{ нм}.$$

Ответ: $\lambda_{\text{max}} = 966 \text{ нм}$.

3. Фотоэлектрический эффект

3.1. Определить красную границу фотоэффекта у хлористого натрия, работа выхода электронов которого равна $4,2 \text{ эВ}$.

Дано:

$$A_{\text{вых}} = 4,2 \text{ эВ} =$$

$$= 6,72 \cdot 10^{-19} \text{ Дж},$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с},$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Найти

$\lambda_{\text{кр}}$.

Решение.

Из уравнения Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

$$h \frac{c}{\lambda} = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2} \text{ следует, что}$$

длина волны (красная грани-

ца), с которой начинается фотоэффект, определяется из

условия $\frac{mv^2}{2} = 0$, т. е. $\frac{hc}{\lambda_{кр}} = A_{\text{вых}}$, откуда

$$\lambda_{кр} = \frac{ch}{A_{\text{вых}}};$$

$$\lambda_{кр} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{4,2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}} = 295 \text{ нм.}$$

Ответ: $\lambda_{кр} = 295 \text{ нм.}$

3.2. Работа выхода электронов из оксида меди 5,15 эВ. Вызовет ли фотоэффект ультрафиолетовое излучение длиной волны 300 нм?

Дано:

$$\begin{aligned} A_{\text{вых}} &= 5,15 \text{ эВ} = \\ &= 8,24 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ \lambda &= 3 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \\ c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}, \\ h &= 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

Найти

$$\lambda_{кр}.$$

Решение.

Для решения задачи необходимо найти красную границу фотоэффекта у оксида меди (см. задачу 3.1):

$$\lambda_{кр} = \frac{ch}{A_{\text{вых}}};$$

$$\lambda_{кр} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{5,15 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}} = 2,41 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 241 \text{ нм.}$$

Фотоэффект не наступит, потому что наибольшая длина волны, при которой еще существует фотоэффект, $\lambda_{кр} = 241 \text{ нм}$, а данное ультрафиолетовое излучение имеет длину волны 300 нм, т. е. больше длины волны красной границы фотоэффекта.

Ответ: фотоэффект не наступит, так как данная длина волны (300 нм) больше $\lambda_{кр} = 241 \text{ нм}$.

3.3. Красная граница фотоэффекта у цезия равна 653 нм. Определить скорость вылета фотоэлектронов при облучении цезия светом с длиной волны 500 нм. Масса электрона $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$.

Дано:

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{кр}} &= 6,53 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \\ \lambda &= 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \\ c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}, \\ h &= 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}, \\ m_e &= 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}.\end{aligned}$$

Найти

v .

Решение.

Запишем уравнение Эйнштейна для внешнего фото-

эффекта: $\frac{ch}{\lambda} = \frac{ch}{\lambda_{\text{кр}}} + \frac{m_e v^2}{2}$. От-

сюда найдем v :

$$v = \sqrt{\frac{2ch(\lambda_{\text{кр}} - \lambda)}{m_e \lambda \lambda_{\text{кр}}}};$$

$$\begin{aligned}v &= \sqrt{\frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 1,53 \cdot 10^{-7} \text{ м}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 5 \cdot 10^{-7} \text{ м} \cdot 6,53 \cdot 10^{-7} \text{ м}}} = \\ &= 4,5 \cdot 10^5 \text{ м/с} = 450 \text{ км/с}.\end{aligned}$$

Ответ: $v = 450 \text{ км/с}$.

4. Эффект Комптона.

Давление света

4.1. Определить массу фотона красного света, длина волны которого 720 нм.

Дано:

$$\begin{aligned}\lambda &= 7,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \\ h &= 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}, \\ c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.\end{aligned}$$

Найти

m .

Решение.

Энергия фотона $e = h\nu =$

$$= \frac{hc}{\lambda}. \text{ Известно также, что}$$

энергия фотона и его масса связаны соотношением $e = mc^2$.

Тогда $\frac{hc}{\lambda} = mc^2$. Отсюда

$$m = \frac{h}{c\lambda}; m = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 7,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 3 \cdot 10^{-36} \text{ кг}.$$

Ответ: $3 \cdot 10^{-36} \text{ кг}$.

4.2. Определить импульс фотона голубого света, длина волны которого 500 нм, при его полном поглощении и полном отражении телом.

Дано: $\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м},$ $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$	Решение. Из законов сохранения энергии и импульса следует, что импульс фотона при его полном поглощении $p_{\text{погл}} = \frac{h}{\lambda},$
Найти: $p_{\text{погл}}, p_{\text{отр}}.$	

а при полном отражении $p_{\text{отр}} = \frac{2h}{\lambda}.$ Вычисляем:

$$p_{\text{погл}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{5 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 1,324 \cdot 10^{-27} \text{ Н} \cdot \text{с};$$

$$p_{\text{отр}} = \frac{2 \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{5 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 2,648 \cdot 10^{-27} \text{ Н} \cdot \text{с}.$$

Ответ: $p_{\text{погл}} = 1,324 \cdot 10^{-27} \text{ Н} \cdot \text{с}; p_{\text{отр}} = 2,648 \cdot 10^{-27} \text{ Н} \cdot \text{с}.$

4.3. Определить силу светового давления солнечных лучей, падающих перпендикулярно на поверхность площадью 100 м², если коэффициент отражения лучей равен 0,2 и солнечная постоянная $E = 1,4 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2.$

Дано: $S = 100 \text{ м}^2,$ $r = 0,2,$ $E = 1,4 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2,$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$	Решение. Из формулы для светового давления $p = \frac{F}{S} = \frac{E}{c}(1 + r),$ где r — коэффициент отражения, находим
Найти $F.$	

$$F = pS = \frac{ES}{c}(1 + r);$$

$$F = \frac{1,4 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2 \cdot 100 \text{ м}^2 \cdot 1,2}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ Н}.$$

Ответ: $F = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ Н}.$

4.4. Наступит ли фотохимическая реакция в веществе при поглощении им фотонов с длиной волны 500 нм, если энергия активации молекулы данного вещества равна $E_a = 2 \cdot 10^{-19}$ Дж/молекул?

Дано:

$$\begin{aligned}\lambda &= 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \\ E_a &= 2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж/молекул}, \\ c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}, \\ h &= 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.\end{aligned}$$

Найти

ε .

Решение.

При поглощении одного фотона энергия молекулы увеличится на $\varepsilon = ch/\lambda$. Если $\varepsilon \geq E_a$, то наступит фотохимическая реакция; если $\varepsilon < E_a$, то не наступит. Вычислим ε и сравним с энергией активации молекулы E_a :

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{ch}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{5 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = \\ &= 3,972 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.\end{aligned}$$

Так как энергия поглощенного фотона ($\sim 4 \cdot 10^{-19}$ Дж) больше энергии активации молекулы ($2 \cdot 10^{-19}$ Дж), то фотохимическая реакция наступит.

Ответ: фотохимическая реакция наступит.

5. Постулаты Бора

5.1. Наименьший радиус орбиты электрона в атоме водорода, когда он находится в нормальном состоянии, равен $r_1 = 0,528 \cdot 10^{-10}$ м. Определить радиус орбиты электрона и его линейную скорость, когда атом водорода находится на третьем энергетическом уровне.

Дано:

$$\begin{aligned}r_1 &= 0,528 \cdot 10^{-10} \text{ м}, \\ n &= 3, \\ m_e &= 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}, \\ h &= 1,02 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.\end{aligned}$$

Найти:

r_3, v_3 .

Решение.

Радиус боровской орбиты для атома водорода увеличивается по мере удаления от ядра по закону $r_n = r_1 n^2$. Радиус орбиты электрона, если атом водорода находится на третьем энергетическом уровне равен

$$r_3 = 0,528 \cdot 10^{-10} \text{ м} \cdot 9 = 4,752 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 0,48 \text{ нм}.$$

Линейная скорость электрона на орбите у атома водорода определяется из формулы $m_e v r_n = \hbar n$, где $\hbar = h/2\pi$, n — главное квантовое число или порядковый номер стационарного состояния атома; m_e — масса электрона. Так

как $m_e v r_n = \hbar n$, то $v = \frac{\hbar n}{m_e r_n}$. Тогда

$$v_3 = \frac{3\hbar}{m_e r_3};$$

$$v_3 = \frac{3 \cdot 1,02 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 4,752 \cdot 10^{-10} \text{ м}} = 7,08 \cdot 10^5 \text{ м/с} = 708 \text{ км/с}.$$

Ответ: $r_3 = 0,48 \text{ нм}$; $v_3 = 708 \text{ км/с}$.

5.2. Какую минимальную энергию необходимо сообщить атому водорода, находящемуся в нормальном состоянии, чтобы он, поглотив ее, ионизировался? Энергия атома водорода в нормальном состоянии $E_1 = -13,53 \text{ эВ}$.

Решение.

Ионизировать атом водорода — это значит оторвать электрон от протона, вокруг которого он вращается, т. е. необходимо совершить работу по удалению электрона из атома. Для этого следует сообщить электрону минимальную энергию E , равную энергии связи электрона с ядром атома в нормальном состоянии. Эта энергия будет равна работе ионизации. Для атома водорода в нормальном состоянии она равна $|E_1|$. Следовательно, атом водорода будет ионизирован, если поглотит минимальную энергию, равную $13,53 \text{ эВ}$.

Ответ: $E = 13,53 \text{ эВ}$.

5.3. Определить длину волны электромагнитного излучения атома водорода при переходе его с пятого энергетического уровня на второй.

Дано:

$$E_1 = -13,53 \text{ эВ},$$

$$m = 2,$$

$$n = 5,$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с},$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Найти

λ .

Решение.

На основании второго постулата Бора имеем

$$\begin{aligned} \frac{ch}{\lambda} &= E_n - E_m = \frac{E_1}{n^2} - \frac{E_1}{m^2} = \\ &= \frac{E_1(m^2 - n^2)}{m^2 n^2} = \frac{E_1(-21)}{100}, \end{aligned}$$

откуда

$$\lambda = - \frac{100ch}{21E_1};$$

$$\lambda = \frac{-100 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{-21 \cdot 13,53 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}} = 4,37 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 437 \text{ нм}.$$

Ответ: $\lambda = 437 \text{ нм}$.

5.4. Можно ли вызвать у люминофора люминисцентное излучение с длиной волны 400 нм при облучении его световыми волнами длиной 600 нм? Почему? Энергию теплового движения атомов и молекул не учитывать.

Решение.

По правилу Стокса, длина волны света, испускаемого люминесцирующим веществом, всегда больше или равна длине световой волны, падающей на вещество, если атомы и молекулы этого вещества не находятся в возбужденном состоянии. Если энергия световой волны, падающей на вещество, складывается с энергией возбуждения (в том числе и с энергией теплового движения атомов, молекул и ионов), то наблюдается так называемое антистоксово излучение, при котором длина волны света, испускаемого фотолюминесцирующим веществом, меньше длины волны возбуждающего света.

Ответ: нет. В условии не сказано, что атомы и молекулы облучаемого вещества находятся в возбужденном

состоянии, поэтому излучение не может быть вызвано, так как длина волны люминесцирующего излучения (400 нм) меньше длины волн облучающего света (600 нм).

5.5. Рубиновый лазер излучает в одном импульсе $3,5 \cdot 10^{19}$ фотонов с длиной волны 694 нм. Чему равна средняя мощность вспышки лазера, если ее длительность 10^{-3} с?

Дано: $N = 3,5 \cdot 10^{19}$, $\lambda = 6,94 \cdot 10^{-7}$ м, $t = 10^{-3}$ с, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.	Решение. При излучении N импульсов выделяется энергия $W = N \cdot h\nu = N \frac{ch}{\lambda}$. Отсюда следует, что средняя мощность излучения
Найти $\bar{P}$.	$\bar{P} = \frac{W}{t} = \frac{chN}{\lambda t};$

$$\bar{P} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3,5 \cdot 10^{19}}{6,94 \cdot 10^{-7} \text{ м} \cdot 10^{-3} \text{ с}} = 10^4 \text{ Вт} = 10 \text{ кВт}.$$

Ответ: $\bar{P} = 10$ кВт.

6. Естественная радиоактивность

6.1. Через какое время распадается 60% радиоактивного полония, если его период полураспада 138 сут?

Дано: $\frac{\Delta N}{N_0} = 0,6$, $T_{1/2} = 138$ сут.	Решение. Так как период полураспада не- большой, то следует применить фор- мулу основного закона радиоактив- ного распада в виде
Найти t .	$N = N_0 \cdot 2^{-t/T_{1/2}}; \Delta N = N_0 - N.$

Тогда получим

$$\frac{N_0 - N}{N_0} = \frac{N_0 - N_0 \cdot 2^{-t/T_{1/2}}}{N_0} = 1 - 2^{-t/T_{1/2}} = 0,6,$$

$$2^{-t/T} = 0,4; \quad -\frac{t}{T} \lg 2 = \lg 0,4,$$

откуда

$$\begin{aligned} t &= -\frac{T_{1/2} \lg 4}{\lg 2} = -\frac{138 \text{ сут} \cdot \bar{1},6021}{0,3010} = \\ &= \frac{138 \text{ сут} (1 - 0,6021)}{0,3010} = \frac{138 \text{ сут} \cdot 0,3979}{0,3010} = 182,4 \text{ сут}. \end{aligned}$$

Ответ: $t = 182,4$ сут.

6.2. Определить возраст древних деревянных предметов, если известно, что количество нераспавшихся атомов радиоактивного углерода в них составляет 80% от количества атомов этого углерода в свежесрубленном дереве. Период полураспада углерода 5570 лет.

Дано:	Решение.
$\frac{N}{N_0} = 0,8,$	Из закона радиоактивного распада $N = N_0 \cdot 2^{-t/T_{1/2}}$ находим
$T_{1/2} = 5570 \text{ лет}.$	$\frac{N}{N_0} = 2^{-t/T_{1/2}}.$
Найти	
$t.$	

По условию задачи $2^{-t/T_{1/2}} = 0,8$, тогда $-\frac{t}{T_{1/2}} \lg 2 = \lg 0,8$,

откуда

$$\begin{aligned} t &= -\frac{T \lg 0,8}{\lg 2} = -\frac{5570 \text{ лет} (1 - 0,9031)}{0,3010} = \\ &= \frac{5570 \text{ лет} \cdot 0,0969}{0,3010} = 1793,1 \text{ лет} \approx 1800 \text{ лет}. \end{aligned}$$

Расчет по приближенной формуле дает

$$\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{0,693t}{T_{1/2}} = 0,2; \quad t = \frac{5570 \text{ лет} \cdot 0,2}{0,693} = 1607 \text{ лет}.$$

Ответ: $t = 1800$ лет.

6.3. Определить период полураспада радиоактивного стронция, если за один год на каждую тысячу атомов распадается в среднем 24,75 атома.

Дано: $N_0 = 1000$, $\Delta N = 24,75$, $t = 1$ год.	Решение. Применяя формулу закона радиоактивного распада
Найти $T_{1/2}$.	$\Delta N = N_0 \left(1 - 2^{-t/T_{1/2}} \right),$ получим

$$24,75 = 1000 \left(1 - 2^{-t/T_{1/2}} \right);$$

$$2^{-t/T_{1/2}} = 0,975; \quad \frac{-t}{T_{1/2}} \lg 2 = \lg 0,975,$$

откуда

$$T_{1/2} = - \frac{t \lg 2}{\lg 0,975} =$$

$$= - \frac{1 \text{ год} \cdot 0,3010}{1,9890} = \frac{0,3010 \text{ год}}{1 - 0,9890} = \frac{0,3010 \text{ год}}{0,011} = 27,36 \text{ года}.$$

Применяя приближенную формулу для определения числа распавшихся атомов, получим $T_{1/2} = \frac{0,693 N_0 t}{\Delta N}$;

$$T_{1/2} = \frac{0,693 \cdot 1000 \cdot 1 \text{ год}}{24,75} = 28 \text{ лет}.$$

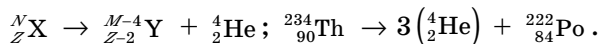
Ответ: $T_{1/2} = 28$ лет.

7. Атомное ядро

7.1. Что такое α -распад ядер и как он возникает? Каково правило смещения Содди при α -распаде? В какое ядро превращается торий ${}_{90}^{234}\text{Th}$ при трех последовательных α -распадах?

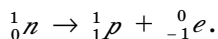
Ответ. Распад ядра, при котором происходит вылет α -частиц, называется α -распадом. Внутри атомных ядер, для которых $M > 200$, два протона и два нейтрона, взаимодействуя между собой, на очень короткое время (10^{-21} с) объединяются и образуют ядро гелия, т. е. α -частицу. Когда энергия этой частицы становится достаточной для преодоления ядерных сил, она вылетает из ядра.

При α -распаде исходное ядро теряет два протона и два нейтрона, поэтому его масса уменьшается на 4 а.е.м., а электрический заряд — на 2 единицы элементарного заряда. Из этого следует правило смещения Содди для α -распада: при α -распаде исходное атомное ядро превращается в ядро нового элемента, расположенного в Периодической системе элементов Д.И. Менделеева на две клетки левее исходного. Математически это правило можно записать так:



7.2. Что такое β -распад и как он возникает при распаде ядер? Каково правило Содди для β -распада? Какой изотоп образуется из радиоактивного изотопа ${}^{133}_{51} \text{Sb}$ после четырех β -распадов?

Ответ. Распад ядра, при котором происходит вылет электрона (β -частицы), называется β -распадом. Неустойчивость ядер с большим массовым числом объясняется увеличением числа протонов в ядрах. Протоны в ядре занимают все более высокие энергетические уровни, связанные со взаимодействием между нуклонами, и наступает момент, когда происходит превращение нейтрона в протон с выбросом за пределы ядра электрона. При этом протон остается в ядре, в электрон с большой скоростью вылетает из ядра. Реакция превращения нейтрона:



При β -распаде в исходном ядре один атом нейтрона превращается в протон, поэтому заряд атома увеличи-

вается на единицу, а его масса практически остается неизменной, так как общее число нуклонов в ядре не изменилось. Из этого следует правило смещения Содди для β -распада: при β -распаде исходное ядро превращается в ядро другого элемента, расположенного в Периодической системе элементов Д.И. Менделеева на одну клетку правее исходного. Математически это правило записывается так:

$${}^M_Z X \rightarrow {}^M_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e, \quad {}^{133}_{51} \text{Sb} \rightarrow 4 \left({}^0_{-1} e \right) + {}^{133}_{55} \text{Cs}.$$

7.3. Дополнить ядерную реакцию, протекающую под действием α -частицы: ${}^7_3 \text{Li} + {}^4_2 \text{He} \rightarrow ? + {}^3_2 \text{He}$.

Решение.

Запишем реакцию так:

$${}^7_3 \text{Li} + {}^4_2 \text{He} \rightarrow {}^m_n X + {}^3_2 \text{He}.$$

По закону сохранения нуклонов, $7 + 4 = m + 3$, т. е. $m = 8$. По закону сохранения заряда, $3 + 2 = n + 2$, т. е. $n = 3$. По Периодической системе элементов Д.И. Менделеева устанавливаем, что ${}^m_n X$ — изотоп лития ${}^8_3 \text{Li}$. Окончательно запишем

$${}^7_3 \text{Li} + {}^4_2 \text{He} \rightarrow {}^8_3 \text{Li} + {}^3_2 \text{He}.$$

7.4. Дополнить ядерную реакцию ${}^{27}_{13} \text{Al} \left(n, {}^2_4 \text{He} \right) X$.

Решение.

Запишем реакцию так:

$${}^{27}_{13} \text{Al} + {}^1_0 n \rightarrow {}^4_2 \text{He} + {}^m_n X.$$

По закону сохранения нуклонов, $27 + 1 = 4 + m$, $m = 24$. По закону сохранения заряда, $13 + 0 = 2 + n$, $n = 11$. По Периодической системе элементов устанавливаем, что

${}^{24}_{11} X$ — изотоп ядра натрия ${}^{24}_{11} \text{Na}$. Окончательно запишем

$${}^{27}_{13} \text{Al} + {}^1_0 n \rightarrow {}^4_2 \text{He} + {}^{24}_{11} \text{Na}.$$

7.5. Определить энергию связи (в МэВ) ядра изотопа лития ${}^7_3\text{Li}$, если известны массы протона, нейтрона и ядра $m_p = 1,00814$ а.е.м., $m_n = 1,00899$ а.е.м. и $m_{\text{я}} = 7,01823$ а.е.м.

Дано:	Решение.
Ядро ${}^7_3\text{Li}$,	Энергия связи ядра
$Z = 3$,	$\Delta E_{\text{св}} =$
$A = 7$,	$= [Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}]c^2 =$
$m_p = 1,00814$ а.е.м.,	$= \Delta mc^2$,
$m_n = 1,00899$ а.е.м.,	где Δm — дефект массы ядра.
$m_{\text{я}} = 7,01823$ а.е.м.	Выразим энергию в МэВ:
Найти	$E_{\text{св}} = 931\Delta m$,
$E_{\text{св}}({}^7_3\text{Li})$.	где Δm — в а.е.м.;

$$E_{\text{св}} = 931 (3m_p + 4m_n - m_{\text{я}});$$

$$E_{\text{св}} = 931 \cdot (3 \cdot 1,00814 + 4 \cdot 1,00899 - 7,01823) \text{ МэВ} =$$

$$= 931 \cdot (3,02442 + 4,03596 - 7,01823) \text{ МэВ} =$$

$$= 931 \cdot 0,04215 \text{ МэВ} = 39,24 \text{ МэВ}.$$

Ответ: $E_{\text{св}} = 39,24$ МэВ.

7.6. Определить энергетический выход ядерной реакции ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^4_2\text{He}$, если энергия связи у ядер азота 115,6 МэВ, углерода — 92,2 МэВ, гелия — 28,3 МэВ.

Дано:	Решение.
$E_{\text{св}}({}^{14}_7\text{N}) = 115,6$ МэВ,	Освобождающаяся при ядерных реакциях энергия равна разности между суммарной энергией связи образовавшихся ядер и суммарной энергией связи исходных ядер:
$E_{\text{св}}({}^{12}_6\text{C}) = 92,2$ МэВ,	
$E_{\text{св}}({}^4_2\text{He}) = 28,3$ МэВ.	
Найти	
ΔE .	
	$\Delta E = E_{\text{св}}({}^{12}_6\text{C}) + E_{\text{св}}({}^4_2\text{He}) - E_{\text{св}}({}^{14}_7\text{N});$
	$\Delta E = 92,2 \text{ МэВ} + 28,3 \text{ МэВ} - 115,5 \text{ МэВ} = 4,9 \text{ МэВ}.$
	Ответ: $\Delta E = 4,9$ МэВ.

7.7. Определить удельную энергию связи $e_{\text{св}}$ ядра атома ртути ${}^{200}_{80}\text{Hg}$, если массы протона, нейтрона и ядра соответственно равны $m_p = 1,00814$ а. е. м., $m_n = 1,00899$ а. е. м. и $m_{\text{я}} = 200,028$ а. е. м.

Дано:	Решение.
Ядро ${}^{200}_{80}\text{Hg}$,	Удельная энергия связи
$Z = 80$,	$e_{\text{св}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}$, где $E_{\text{св}}$ — энергия
$A = 200$,	связи ядра (см. задачу 7.5),
$m_p = 1,00814$ а.е.м.,	A — число нуклонов в ядре.
$m_n = 1,00899$ а.е.м.,	Находим
$m_{\text{я}} = 200,028$ а.е.м.	$e_{\text{св}} = \frac{931 \cdot (80m_p + 120m_n - m_{\text{я}})}{A};$
Найти	
$e_{\text{св}}$.	

$$e_{\text{св}} = \frac{931 \cdot (80 \cdot 1,00814 + 120 \cdot 1,00899 - 200,028)}{200} =$$

$$= \frac{931 \cdot 1,702}{200} = 7,92 \text{ МэВ/нуклон.}$$

Ответ: $e_{\text{св}} = 7,92$ МэВ/нуклон.

7.8. При делении одного ядра изотопа урана-235 освобождается 200 МэВ энергии. Определить энергию, которая выделится при делении всех ядер 0,2 кг урана-235.

Дано:	Решение.
$\Delta E = 200$ МэВ,	Энергия, выделяемая при
$m = 0,2$ кг,	делении всех ядер урана, $E =$
$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$,	$= \Delta E \cdot n$, где n — число распав-
$M = 235 \cdot 10^{-3}$ кг·моль $^{-1}$.	шихся ядер атомов урана-235;
Найти	$n = \frac{mN_A}{M}. \text{ Тогда } E = \frac{\Delta E m N_A}{M};$
E .	

$$E = \frac{200 \text{ МэВ} \cdot 0,2 \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{235 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}} = 1,02 \cdot 10^{26} \text{ МэВ} =$$

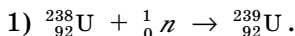
$$= 1,02 \cdot 10^{26} \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = 1,63 \cdot 10^{13} \text{ Дж.}$$

Ответ: $E = 1,63 \cdot 10^{13}$ Дж.

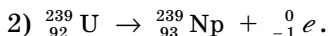
7.9. Написать ядерную реакцию превращения $^{238}_{92}\text{U}$ в плутоний $^{239}_{94}\text{Pu}$ при захвате быстрого нейтрона в ядерном реакторе.

Решение.

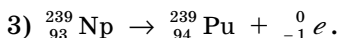
Процесс превращения урана-238 в плутоний-239:



Образовавшийся изотоп урана-239 радиоактивен, его период полураспада равен 23 мин. Распад происходит с испусканием электрона (β -распад) и возникновением изотопа нептуния-239;



Образовавшийся изотоп нептуния тоже радиоактивен. В процессе β -распада образуется изотоп плутония;



Период полураспада изотопа нептуния – около 2 сут, период полураспада плутония — порядка 24 000 лет.

Ядра изотопа плутония-239 испытывают деление при захвате медленных нейтронов. Поэтому с помощью плутония может быть осуществлена цепная реакция, которая сопровождается выделением ядерной энергии.

8. Термоядерный синтез. Элементарные частицы

8.1. Написать ядерную реакцию синтеза легких ядер дейтерия и трития в ядро гелия и определить энергетический выход этой реакции.

Дано:

$$E_{\text{св}} \left({}^2_1\text{H} \right) = 2,2 \text{ МэВ},$$

$$E_{\text{св}} \left({}^3_1\text{H} \right) = 8,5 \text{ МэВ},$$

$$E_{\text{св}} \left({}^4_2\text{He} \right) = 28,3 \text{ МэВ}.$$

Найти
 ΔE .

Решение.

Запишем ядерную реакцию синтеза ядер атомов дейтерия и трития в гелий: ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} = {}^4_2\text{He} + {}^1_0n + \Delta E$, где ΔE — энергетический выход термоядерной реакции.

Находим:

$$\Delta E = E_{\text{св}} \left({}^4_2\text{He} \right) - E_{\text{св}} \left({}^2_1\text{H} \right) - E_{\text{св}} \left({}^3_1\text{H} \right);$$

$$\Delta E = 28,3 \text{ МэВ} - 2,2 \text{ МэВ} - 8,5 \text{ МэВ} = 17,6 \text{ МэВ}.$$

Ответ: $\Delta E = 17,6 \text{ МэВ}$.

8.2. Неподвижный нейтральный π -мезон, масса которого $2,4 \cdot 10^{-28} \text{ кг}$, распадаясь, превращается в два одинаковых кванта. Определить энергию каждого рожденного кванта. (Ответ дать в мегаэлектронвольтах и джоулях.)

Дано:

$$m_0 = 2,4 \cdot 10^{-28} \text{ кг},$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Найти

$$\varepsilon'.$$

Решение.

Энергия неподвижного нейтрального π -мезона равна $\varepsilon = mc^2$, а энергия каждого

рожденного кванта $\varepsilon' = \frac{m_0 c^2}{2};$

$$\varepsilon' = \frac{2,4 \cdot 10^{-28} \text{ кг} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2 / \text{с}^2}{2} = 1,08 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} =$$

$$= \frac{1,08 \cdot 10^{-11}}{1,6 \cdot 10^{-13}} \text{ МэВ} = 67,5 \text{ МэВ}.$$

Ответ: $\varepsilon' = 1,08 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} = 67,5 \text{ МэВ}$.

8.3. В недрах Солнца происходят ядерные реакции, в результате которых из четырех ядер ${}^1_1\text{H}$ возникают ядро гелия, два позитрона и освобождается ядерная энергия ΔE , т. е. $4 \left({}^1_1\text{H} \right) = {}^4_2\text{He} + 2 \left({}^0_{+1}e \right) + \Delta E$. Найти энергию, которая выделится при образовании 1 кг гелия, если энергия связи ядра гелия-4 составляет 28,3 МэВ? (Ответ выразить в джоулях и мегаэлектронвольтах.)

Дано:

$$E_{\text{св}} \left({}^4_2\text{He} \right) = 28,3 \text{ МэВ},$$

$$m = 1 \text{ кг},$$

$$N_{\text{А}} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1},$$

$$M = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}.$$

Найти

E .

Решение.

Так как ядро гелия образуется из свободных протонов, то энергетический выход данной реакции равен энергии связи ядра гелия, т. е. при образовании одного ядра гелия выделяется 28,3 МэВ энергии.

Выделившаяся при образовании 1 кг гелия энергия равна

$$E = E_{\text{св}} \left({}^4_2\text{He} \right) \cdot n,$$

где n — число атомов гелия в m килограммах. Но $n =$

$$= \frac{mN_{\text{А}}}{M}. \text{ Тогда}$$

$$E = \frac{E_{\text{св}} m N_{\text{А}}}{M};$$

$$\begin{aligned} E &= \frac{28,3 \text{ МэВ} \cdot 1 \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{4 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}} = 4,259 \cdot 10^{27} \text{ МэВ} = \\ &= 4,259 \cdot 10^{27} \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = 6,8144 \cdot 10^{14} \text{ Дж}. \end{aligned}$$

$$\text{Ответ: } E = 4,259 \cdot 10^{27} \text{ МэВ} = 6,8144 \cdot 10^{14} \text{ Дж}.$$



Часть II.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Основы механики

1. Равномерное движение

1.1. Поезд прошел $\frac{1}{3}$ пути со скоростью 40 км/ч, а оставшиеся $\frac{2}{3}$ пути со скоростью 60 км/ч. Определите среднюю скорость поезда.

1.2. Поезд длиной 240 м, двигаясь равномерно, прошел по мосту за 2 мин. Какова скорость поезда на этом участке пути, если длина моста 360 м?

1.3. Из двух городов, находящихся на прямой дороге на расстоянии 45 км друг от друга, одновременно выезжают навстречу друг другу две машины, скорости которых 72 и 90 км/ч. Постройте графики зависимости координат машин от времени и определите по этим графикам время и место их встречи.

1.4. Один автомобиль, двигаясь равномерно со скоростью 12 м/с в течение 10 с, совершил такое же перемещение, что и другой за 15 с. Какова скорость второго автомобиля?

1.5. В безветренную погоду капли дождя оставляют на окне равномерно движущегося трамвая следы, направ-

ленные под углом 45° к вертикали. Чему равна скорость трамвая, если скорость падения капель относительно земли 10 м/с ?

1.6. Автомобиль, двигаясь со скоростью 30 км/ч , проехал половину пути до места назначения за 2 ч . С какой скоростью он должен продолжать движение, чтобы достигнуть цели и вернуться обратно за то же время?

1.7. Пешеход перебежал шоссе под углом 30° к направлению дороги со скоростью 18 км/ч за 12 с . Какова ширина шоссе?

1.8. Моторная лодка проходит расстояние между двумя пристанями, расположенными на одном берегу реки, за время $t_1 = 6 \text{ ч}$, а плот — за время $t_2 = 24 \text{ ч}$. Сколько времени затратит лодка на обратный путь при том же режиме работы мотора?

1.9. Человек идет по эскалатору метрополитена вверх. Если эскалатор неподвижен, то человек поднимается за 100 с . Если при этом эскалатор движется, то человек поднимается за 25 с . Длина эскалатора 50 м . Какова скорость движения эскалатора?

1.10. Сколько времени пассажир, сидящий у окна поезда, идущего со скоростью 36 км/ч , будет видеть обгоняющий поезд длиной 100 м , движущийся со скоростью 72 км/ч ?

2. Равнопеременное движение

2.1. Автомобиль через 5 с после начала движения приобретает скорость 15 м/с . С каким ускорением движется автомобиль? Через какое время его скорость станет 108 км/ч , если он будет двигаться с тем же ускорением?

2.2. Скорость автомобиля за 4 с возрастает на 8 м/с . Его начальная скорость 3 м/с . Напишите уравнение движения.

2.3. Велосипедист, подъезжая к уклону, имеет скорость 10 м/с и начинает двигаться с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Какую скорость приобретает велосипедист через 30 с ?

2.4. Найдите время, в течение которого длится разгон автомобиля, если он увеличивает свою скорость от 10 до 20 м/с , двигаясь с ускорением $0,4 \text{ м/с}^2$.

2.5. Вычислите тормозной путь автомобиля, имеющего скорость 72 км/ч , в двух случаях: а) на мокрой дороге, когда ускорение 4 м/с^2 ; б) на сухой дороге, когда ускорение 9 м/с^2 .

2.6. Трамвай, двигаясь равномерно со скоростью 54 км/ч , начинает торможение. Чему равен тормозной путь трамвая, если он остановился через 6 с ?

2.7. Начальная скорость легкого самолета в момент отрыва от земли равна 54 км/ч . Чтобы развить рейсовую скорость, самолет начал двигаться с ускорением 3 м/с^2 . Через 12 с он достиг этой скорости. Определите эту скорость.

2.8. Цирковой артист при падении на сетку имел скорость 10 м/с . С каким ускорением совершалось торможение, если до полной остановки артиста сетка прогнулась на $1,25 \text{ м}$?

2.9. Две электрички отправились со станции с интервалом в 1 мин друг за другом с ускорением $0,4 \text{ м/с}^2$. Через какой интервал времени после отправки первой электрички расстояние между ними будет $4,2 \text{ км}$?

2.10. Движения двух автомобилей по шоссе заданы уравнениями $x_1 = 2t + 0,2t^2$, $x_2 = 80 - 4t$. Опишите картину движения и найдите: а) место и время встречи; б) расстояние между ними через 5 с после начала движения.

3. Свободное падение тел

3.1. Свободно падающее тело в последнюю секунду прошло $73,5 \text{ м}$ и ударились о поверхность Земли. С ка-

кой высоты тело упало и сколько времени продолжалось падение? Сопротивление воздуха не учитывать.

3.2. Сколько времени тело будет свободно падать с высоты 20 м над поверхностью Луны? Ускорение свободного падения на Луне $1,6 \text{ м/с}^2$.

3.3. Камень свободно падает с высоты 44,1 м над поверхностью Земли. Какой путь пролетит камень в последнюю секунду падения? Сопротивление воздуха не учитывать.

3.4. При свободном падении над поверхностью Земли в последние две секунды тело прошло 98 м. В течение какого времени продолжалось свободное падение тела и с какой высоты оно упало? Сопротивление воздуха не учитывать.

3.5. У поверхности самой крупной планеты Солнечной системы — Юпитера — тело за первую секунду свободного падения проходит путь, равный 13 м. Каково ускорение свободного падения на Юпитере?

3.6. Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью 4,9 м/с. Через сколько секунд мгновенная скорость подъема этого тела уменьшится вдвое? Движение тела происходит у поверхности Земли. Сопротивление воздуха не учитывать.

3.7. Какой путь пролетит тело за первую секунду при свободном падении на Марсе, если ускорение свободного падения у его поверхности равно $3,7 \text{ м/с}^2$.

3.8. Определите начальную скорость тела, если оно брошено с высоты 125 м вертикально вниз над поверхностью Земли и достигло ее через 5 с. Сопротивление воздуха не учитывать.

3.9. С какой скоростью оттолкнулся мяч от земли, если подпрыгнул на 1,25 м? Ускорение свободного падения принять 10 м/с^2 . Сопротивление воздуха не учитывать.

3.10. С высоты 100 м над поверхностью Луны вертикально вниз брошено тело с начальной скоростью 2 м/с. Через сколько секунд тело достигнет поверхности Луны? Ускорение свободного падения на Луне $1,6 \text{ м/с}^2$.

4. Кинематика вращательного движения

4.1. Во сколько раз угловая скорость минутной стрелки часов больше угловой скорости вращения Земли вокруг своей оси?

4.2. Тело совершает 40 оборотов за 10 с. На каком расстоянии от оси вращения находится точка, движущаяся со скоростью 10π м/с?

4.3. Угловая скорость вала радиусом 5 см равна 31,4 рад/с. Определите линейную скорость точек на поверхности вала, период и частоту вращения.

4.4. По данным, указанным на рис. 30, определите частоту вращения материальной точки А.

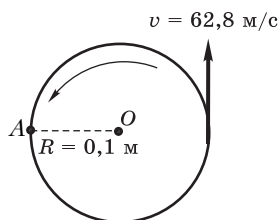


Рис. 30

4.5. Как изменится линейная скорость вращения материальной точки по окружности, если угловая скорость увеличится в 2 раза, а расстояние точки до оси вращения уменьшится в 4 раза?

4.6. Путь, пройденный материальной точкой при движении по окружности радиусом 0,5 м, изменяется по

закону $s = 6t$ (м). Определите угловую скорость вращения материальной точки.

4.7. На каком расстоянии от оси вращения находится точка, если она движется с линейной скоростью 8 м/с и угловой скоростью 10 с^{-1} ?

4.8. Угловая скорость вращения якоря электромотора равна $125,6 \text{ с}^{-1}$. Сколько оборотов в минуту делает якорь электромотора?

4.9. Даны кинематические уравнения движения некоторой точки по окружности: $s = 2t$ (м) и $\varphi = 5t$ (рад). На каком расстоянии от оси вращения находится указанная точка?

5. Динамика поступательного движения. Второй закон Ньютона

5.1. Электропоезд массой 10^6 кг после остановки начинает равноускоренно двигаться и в течение 1 мин достигает скорости 108 км/ч. Определите силу тяги электровоза, если коэффициент трения равен 0,02.

5.2. Под действием некоторой силы тело массой 100 кг движется с ускорением $0,3 \text{ м/с}^2$. С каким ускорением будет двигаться тело массой 120 кг под действием этой силы? Найдите эту силу.

5.3. Автомобиль под действием силы тяги 1 кН движется с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. С каким ускорением будет двигаться автомобиль, если сила тяги 750 Н?

5.4. Через неподвижный блок перекинута нить, к концам которой привязаны два груза массой $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 1,5$ кг (рис. 31). С каким ускоре-

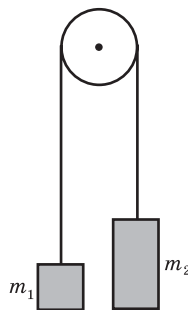


Рис. 31

нием будут перемещаться грузы? Трение и сопротивление воздуха не учитывать.

5.5. Определите вес космонавта на Луне, если на поверхности Земли он весит 800 Н, а ускорение свободного падения на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле.

5.6. Под действием силы 2 кН автомобиль движется прямолинейно так, что его путь выражается уравнением $s = t - 0,1t^2$. Определите массу автомобиля.

5.7. Составьте уравнение движения тела, масса которого 50 кг, если тело движется влево (рис. 32) и к нему

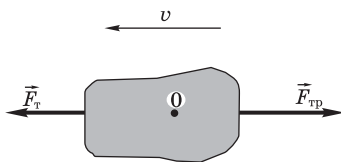


Рис. 32

приложены сила тяги $F_t = 10$ Н и сила трения $F_{тр} = 15$ Н. Найдите ускорение движения тела.

6. Третий закон Ньютона. Закон сохранения импульса

6.1. Плита массой $m = 500$ кг, подвешенная на тросе, опускается с ускорением $a = 8$ м/с². Определите вес плиты в момент опускания.

6.2. С каким ускорением можно поднимать груз, подвешенный на тросе, вертикально вверх, чтобы сила натяжения троса превышала вес груза не более чем в 1,5 раза?

6.3. Под действием постоянной силы 50 Н в течение 8 с скорость тела массой 100 кг была увеличена до 10 м/с.

С какой скоростью двигалось тело до приложения силы?

6.4. На какое время надо включить маршевый двигатель космического корабля массой 1000 кг, чтобы увеличить его скорость от 500 м/с до 2 км/с, если сила тяжести двигателя 5 кН?

6.5. При равномерном торможении в течение 3 с скорость автомобиля массой 3 т уменьшилась на 2 м/с. Определите среднюю силу торможения.

6.6. Какова сила давления человека весом 600 Н на пол кабины лифта: а) при равномерном подъеме или опускании? б) при опускании с ускорением 0,49 м/с²? в) при подъеме с ускорением 0,49 м/с²?

6.7. Человек, находящийся в лодке, переходит с носа на корму. На какое расстояние относительно дна озера переместится лодка длиной 3 м, если масса человека 60 кг, а масса лодки 120 кг? Соппротивление воды не учитывать.

6.8. Молекула массой $4,65 \cdot 10^{-26}$ кг, летящая со скоростью 600 м/с, ударяется о стенку сосуда под углом 60° к нормали. Найдите импульс силы, полученный стенкой за время удара. Столкновение считать абсолютно упругим.

6.9. Человек и тележка движутся навстречу друг другу, причем масса человека в два раза больше массы тележки. Скорость человека 3 м/с, а тележки 2 м/с. Человек вскакивает на тележку и остается на ней. Какова скорость человека вместе с тележкой? Как она направлена? Трением пренебречь.

6.10. Шар массой 20 г, движущийся горизонтально с некоторой скоростью v_1 , столкнулся с неподвижным шаром массой 40 г. Шары абсолютно упругие, удар прямой, центральный. Какую долю ϵ своей кинетической энергии первый шар передал второму?

6.11. Конькобежец массой 70 кг, находясь на льду, бросает в горизонтальном направлении камень массой 3 кг со скоростью 8 м/с. Найдите, на какое расстояние

откатится конькобежец, если коэффициент трения скольжения коньков о лед 0,02.

7. Закон всемирного тяготения.

Искусственные спутники Земли

7.1. Найдите ускорение свободного падения на высоте $H = 25\,600$ км над поверхностью Земли. Радиус Земли принять равным 6400 км, а ускорение свободного падения у поверхности Земли 10 м/с^2 .

7.2. Определите линейную скорость искусственного спутника Земли, движущегося по круговой орбите на высоте $H = 3600$ км над поверхностью Земли. Радиус Земли принять равным $64 \cdot 10^5$ м, ускорение свободного падения у поверхности Земли 10 м/с^2 .

7.3. Искусственный спутник Земли движется по круговой орбите с линейной скоростью 4 км/с. На какой высоте над поверхностью Земли находится спутник? Радиус Земли принять равным $64 \cdot 10^5$ м, ускорение свободного падения у поверхности Земли 10 м/с^2 .

7.4. Вычислите силу тяготения между двумя космическими кораблями, движущимися параллельно друг другу на расстоянии 10 м, если их массы одинаковы и равны по 10 т.

7.5. Вычислите первую космическую скорость у поверхности самой крупной планеты Солнечной системы — Юпитера, если радиус Юпитера равен 70 000 км, а ускорение свободного падения 26 м/с^2 .

8. Динамика равномерного движения тел по окружности

8.1. Автомобиль делает поворот при скорости 43,2 км/ч по дуге, радиус которой равен 60 м. Определите центростремительное ускорение.

8.2. Каков должен быть радиус кривизны моста, чтобы автомобиль, движущийся со скоростью 19,6 м/с, оказался невесомым на его середине?

8.3. С какой наименьшей скоростью должен лететь самолет в наивысшей точке петли Нестерова («мертвая петля») радиусом 1 км, чтобы летчик оказался в состоянии невесомости? Принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.

8.4. Самосвал массой 15 т движется со скоростью 36 км/ч на повороте с радиусом закругления 50 м. Определите центростремительную силу, действующую на самосвал.

8.5. С какой скоростью должен двигаться мотоциклист по выпуклому мосту радиусом 10 м, чтобы сила давления мотоциклиста на сидение на середине моста оказалась равной половине его веса?

8.6. Какой должна быть наибольшая скорость движения автотранспорта на повороте радиусом закругления 100 м, чтобы он не скользил «юзом», если коэффициент трения скольжения шин о дорогу равен 0,4? Принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.

8.7. Автомобиль «Волга» с полной нагрузкой 3600 кг движется равномерно со скоростью 20 м/с по дороге вогнутого профиля радиусом 100 м. Определите силу давления автомобиля в нижней точке вогнутости дороги.

8.8. Тело массой 10 кг движется согласно уравнениям $s = 2t$ и $\varphi = 5t$. Определите центростремительную силу, действующую на это тело.

9. Механическая работа. Мощность

9.1. При подъеме плиты весом 4,9 кН на высоту 10 м совершена работа 50 кДж. С каким ускорением поднималась плита?

9.2. Тело весом 50 Н поднято на высоту 2 м под действием силы 60 Н. Определите совершенную работу.

9.3. Дан график (рис. 33) изменения силы, действующей на тело, в зависимости от пути, пройденного телом от начала отсчета. Определите по графику работу при перемещении тела на 12 м от начала отсчета.

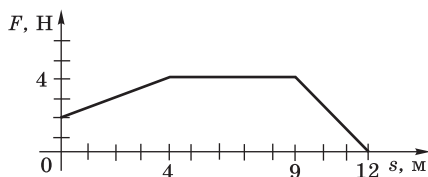


Рис. 33

9.4. В каком случае совершается бóльшая работа:
а) при перемещении тела массой 5 кг на 2 м под действием силы 10 Н? б) при перемещении тела массой 10 кг на 2 м под действием силы 5 Н?

9.5. Под действием силы F , вектор которой образует угол 45° с горизонтальным направлением, тело перемещается горизонтально (рис. 34). Определите модуль силы F , если при перемещении тела на 5 м совершена работа 707 Дж.

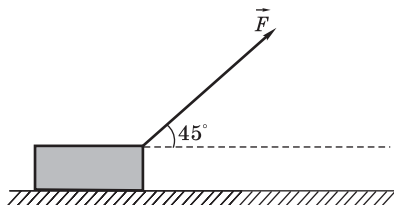


Рис. 34

9.6. Автомобиль, развивая мощность 40 кВт, движется со средней скоростью 20 м/с. Определите среднюю силу взаимодействия между ведущими колесами автомобиля и поверхностью Земли.

9.7. Электровоз мощностью 300 кВт ведет поезд массой 3000 т по горизонтальному участку пути со скоростью 20 м/с. Определите коэффициент трения. Принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.

9.8. На тело массой 500 кг, находящееся в покое, действует постоянная сила 100 Н в течение 1 мин. Найдите среднюю и максимальную мгновенную мощности в указанное время действия.

9.9. При действии на тело постоянной силы 500 Н под углом 30° к направлению скорости тело из состояния покоя прошло 80 м за 20 с. Определите мощность, развиваемую за указанное время.

9.10. Потребляемая мощность двигателя 8 кВт, затраченная мощность 4,8 кВт. Определите КПД двигателя.

9.11. Велосипедист массой 100 кг (вместе с велосипедом), движущийся равномерно со скоростью 5 м/с, начинает спуск с горы под действием «скатывающей» силы 10 Н. В какой момент времени от начала спуска мгновенная мощность этой силы будет равна 70 Вт?

9.12. Автомобиль массой 5 т поднимается в гору под углом 10° с постоянной скоростью 5 м/с. Определите мощность, развиваемую двигателем автомобиля. Трение не учитывать.

9.13. Самолет, мощность двигателей которого равна 3000 кВт, при силе тяги 4,5 кН пролетел 360 км за 30 мин. Определите КПД двигателей самолета.

10. Закон сохранения механической энергии

10.1. Как надо изменить скорость тела, чтобы его кинетическая энергия увеличилась в 4 раза?

10.2. На какой высоте над поверхностью Луны тело будет обладать такой же потенциальной энергией, как на высоте 80 м над поверхностью Земли? Ускорение свободного падения на Луне $1,6 \text{ м/с}^2$.

10.3. Водомет за 5 мин выбрасывает 3 м^3 воды со скоростью 10 м/с . Определите КПД водомета, если мощность его двигателя, 2 кВт .

10.4. Какое расстояние пройдет автомобиль с выключенным двигателем по горизонтальному участку пути, если коэффициент трения равен $0,2$, скорость движения 12 м/с ? Принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.

10.5. Требуется ежечасно подавать 60 м^3 воды на высоту 18 м . Какой мощности двигатель надо подключить к насосу, если КПД насоса 75% ? Принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.

10.6. На тело массой 20 кг в течение 10 с действовала сила 4 Н . Определите кинетическую энергию тела в момент прекращения действия силы, если в начале действия тело находилось в покое.

10.7. Тело свободно падает с высоты 50 м . На какой высоте от поверхности Земли кинетическая энергия и потенциальная энергия тела окажутся равными?

10.8. При свободном падении тело в некоторой промежуточной точке имеет потенциальную энергию 100 Дж и кинетическую энергию 400 Дж . Какую максимальную потенциальную энергию имело тело в точке наивысшего подъема?

11. Элементы специальной теории относительности

11.1. При какой скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составит 10% ?

11.2. Собственная длина космического корабля $l_0 = 15 \text{ м}$. Определите его длину для наблюдателя, находящегося на корабле, и для наблюдателя, относительно которого корабль движется со скоростью $v = 1,8 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

11.3. Две космические ракеты движутся по одной прямой в одном и том же направлении со скоростями

$v_1 = 0,5c$ и $v_2 = 0,8c$ относительно неподвижного наблюдателя. Определите скорость удаления второй ракеты от первой по классической и релятивистской формулам сложения скоростей.

11.4. Тело A движется относительно системы отсчета K (рис. 35) со скоростью $u = 2 \cdot 10^8$ м/с, система K движется относительно системы отсчета M со скоростью $v = -4 \cdot 10^7$ м/с. Считая, что тело A и система K движутся равномерно и прямолинейно относительно системы M , определите скорость u тела A относительно наблюдателя, неподвижно связанного с системой M .



Рис. 35

11.5. Два тела движутся равномерно и прямолинейно в противоположных направлениях со скоростями $v_1 = 0,8c$ и $v_2 = 0,5c$ относительно неподвижного наблюдателя. Определите скорость удаления этих тел по классической и релятивистской формулам сложения скоростей.

11.6. При какой скорости кинетическая энергия движущейся частицы равна ее энергии покоя?

11.7. Предположим, что космический корабль будущего, масса которого 100 т, движется со скоростью $2 \cdot 10^8$ м/с. Определите релятивистскую массу корабля.

11.8. С какой скоростью должно двигаться тело, чтобы для неподвижного наблюдателя его масса была равна 5 кг, если масса покоя тела равна 3 кг?

11.9. Каким импульсом обладает электрон, масса покоя которого равна $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, при движении со скоростью $0,8c$?

Основы молекулярной физики и термодинамики

1. Основные понятия и положения молекулярно-кинетической теории

- 1.1. Определите массу одной молекулы азота N_2 .
- 1.2. Определите массу одной молекулы серебра Hg.
- 1.3. Определите массу одной молекулы оксида углерода CO.
- 1.4. Определите массу одной молекулы водорода H_2 , число молекул и молей, содержащихся в 0,6 кг водорода при нормальных условиях.
- 1.5. Сколько молекул содержится в 1 кг сернистого газа SO_2 при нормальных условиях?
- 1.6. Во сколько раз масса одной молекулы углекислого газа CO_2 больше массы молекулы аммиака NH_3 ?
- 1.7. Сколько молекул содержится в 5 кг кислорода O_2 ?
- 1.8. В баллоне находится 20 моль газа. Сколько молекул газа находится в баллоне?
- 1.9. Молекулы углекислого газа при нормальных условиях имеют длину свободного пробега $4 \cdot 10^{-8}$ м и движутся со средней скоростью 362 м/с. Сколько столкновений в секунду испытывает каждая молекула?
- 1.10. Определите среднюю длину свободного пробега атомов гелия, если их концентрация равна $2 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$. Эффективный диаметр атома гелия равен $2 \cdot 10^{-10}$ м.
- 1.11. Определите среднюю длину свободного пробега молекул газа, если при скорости 1000 м/с каждая молекула в среднем испытывает $2 \cdot 10^{10}$ столкновений в секунду.

1.12. Так как для данной массы газа средняя длина свободного пробега молекул обратно пропорциональна давлению, т. е. $p_1 \bar{\lambda}_1 = p_2 \bar{\lambda}_2$, определите среднюю длину свободного пробега молекул газа при давлении $p_2 = 2 \cdot 10^5$ Па, если при давлении $p_1 = 3 \cdot 10^5$ Па средняя длина свободного пробега молекул $\bar{\lambda} = 8 \cdot 10^{-8}$ м.

1.13. Каким импульсом обладает молекула массой $2 \cdot 10^{-25}$ кг при движении со скоростью 1500 м/с?

1.14. Какое давление создает сила 8 Н, равномерно действующая на площадь 4 см²? Сила перпендикулярна площади.

1.15. Каким импульсом обладают $5 \cdot 10^{23}$ молекул, которые движутся в одном направлении со средней скоростью 800 м/с? Масса одной молекулы $4 \cdot 10^{-26}$ кг.

2. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа

2.1. Определите среднюю квадратичную скорость молекул водорода при нормальных условиях, т. е. при давлении $p_0 = 10^5$ Па и плотности $\rho_0 = 0,09$ кг/м³.

2.2. Определите среднюю квадратичную скорость молекул ксенона при нормальных условиях, т. е. при давлении $p_0 = 10^5$ Па и плотности $\rho_0 = 5,85$ кг/м³.

2.3. Определите среднюю квадратичную скорость молекул кислорода при условиях, т. е. при нормальном давлении $p_0 = 10^5$ Па и плотности $\rho_0 = 1,43$ кг/м³.

2.4. При каком давлении внутренняя энергия всех молекул идеального газа в объеме 2 м³ составляет 450 кДж?

2.5. Определите внутреннюю энергию одного моля идеального газа при нормальных условиях: $p_0 = 10^5$ Па, объем моля $V_0 = 22,4 \cdot 10^{-3}$ м³.

2.6. В 1 м^3 газа при давлении $1,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ содержится $2 \cdot 10^{25}$ молекул, средняя квадратичная скорость которых 600 м/с . Определите массу одной молекулы этого газа.

2.7. Определите внутреннюю энергию всех молекул идеального газа в объеме 20 м^3 при давлении $5 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

3. Уравнение состояния идеального газа. Изопроцессы и их графики

3.1. Определите число молей воздуха в комнате объемом $5 \times 6 \times 3 \text{ м}$ при температуре 27°C и давлении 10^5 Па .

3.2. Определите температуру аммиака NH_3 , находящегося под давлением $2,1 \cdot 10^5 \text{ Па}$, если объем его $0,02 \text{ м}^3$, а масса $0,03 \text{ кг}$.

3.3. Определите массу оксида азота NO_2 в баллоне, объем которого $6 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ при температуре 7°C и давлении $1,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

3.4. Определите среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы идеального газа при нормальных условиях.

3.5. При температуре 320 К средняя квадратичная скорость молекул кислорода 500 м/с . Определите массу молекулы кислорода, не пользуясь Периодической системой элементов Д.И. Менделеева.

3.6. Какое давление производят пары ртути в баллоне ртутной лампы вместимостью $3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ при 300 К , если в нем содержится 10^{18} молекул?

3.7. Сколько молекул газа заключено в объеме $0,5 \text{ м}^3$, если при температуре 300 К газ находится под давлением $7,48 \cdot 10^5 \text{ Па}$?

3.8. Газ переведен из состояния 1 в состояние 2, как показано на рис. 36. Какой это процесс? Как изменилась плотность газа?

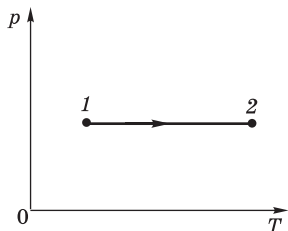


Рис. 36

3.9. Газ переведен из состояния 1 в состояние 2, как показано на рис. 37. Как изменилось давление газа?

3.10. На рис. 38 в координатных осях V , p изображен процесс изменения состояния газа по замкнутому циклу. Изобразите этот замкнутый цикл изменения состояния газа в осях T , V .

3.11. При температуре 52°C давление газа в баллоне равно $2 \cdot 10^5$ Па. При какой температуре его давление будет равным $2,5 \cdot 10^5$ Па?

3.12. Газ массой 6 кг занимает объем 8 м^3 при давлении $2 \cdot 10^5$ Па и температуре -23°C . Какой объем будет занимать тот же газ массой 5 кг при давлении $4 \cdot 10^5$ Па и температуре 300 К?

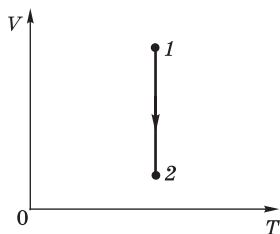


Рис. 37

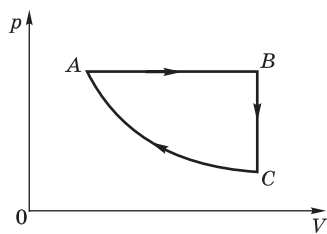


Рис. 38

3.13. Определите начальную температуру газа, если при изохорном нагревании до температуры 580 К его давление увеличилось вдвое. Начертите график изопроцесса в координатных осях T , V .

3.14. Газ, объем которого $0,8 \text{ м}^3$, при температуре 300 К производит давление $2,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$. На сколько кельвин надо повысить температуру той же массы газа, чтобы при давлении $1,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$ он занял объем $1,4 \text{ м}^3$?

3.15. Какое давление производит углекислый газ при температуре 330 К, если его плотность при этом равна $4,91 \text{ кг/м}^3$?

3.16. При изобарном нагревании идеального газа от температуры 280 К плотность его уменьшилась вдвое. На сколько кельвин увеличилась температура газа?

3.17. В баллоне вместимостью $0,1 \text{ м}^3$ находится воздух при температуре 250 К и давлении $5 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Определите объем этого воздуха при нормальных условиях.

4. Первое начало термодинамики и применение его к изопроцессам

4.1. При температуре 280 К и давлении $4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ газ занимает объем $0,1 \text{ м}^3$. Какая работа совершена над газом по увеличению его объема, если он нагрет до 420 К при постоянном давлении?

4.2. При изобарном нагревании некоторой массы кислорода на 200 К совершена работа 25 кДж по увеличению его объема. Определите массу кислорода.

4.3. Кислород массой 160 г нагрет изобарно на 100 К. Определите работу, совершенную над газом при увеличении его объема, и изменение внутренней энергии этого газа.

4.4. На сколько уменьшится внутренняя энергия 960 г кислорода при охлаждении его на 80 К?

4.5. Как изменится внутренняя энергия 4 моль одноатомного идеального газа при уменьшении его температуры на 200 К?

4.6. Определите внутреннюю энергию 5 кг аммиака NH_3 при температуре 340 К.

4.7. Определите изменение внутренней энергии 10 кг аммиака NH_3 при охлаждении его от 358 до 273 К.

4.8. Сколько воды при температуре 373 К надо добавить к 200 кг воды при температуре 283 К, чтобы получить температуру смеси 310 К?

4.9. При изобарном расширении 20 г водорода его объем увеличился в два раза. Начальная температура газа 300 К. Определите работу расширения газа, изменение внутренней энергии и количество теплоты, сообщенной этому газу.

4.10. Газ при адиабатном процессе совершил работу $5 \cdot 10^6$ Дж. Как изменится его внутренняя энергия?

4.11. Определите начальную температуру 0,6 кг олова, если при погружении его в воду массой 3 кг при 300 К она нагрелась на 2 К.

4.12. Двухатомному газу сообщено 14 кДж теплоты. При этом газ расширился при постоянном давлении. Определите работу расширения газа и изменение его внутренней энергии.

4.13. На сколько повысится температура стальной заготовки детали массой 20 кг, на которую 10 раз падал четырехтонный паровой молот, если скорость молота в момент удара о деталь 6 м/с и на ее нагревание идет 50% кинетической энергии молота?

4.14. При изобарном расширении одноатомного газа совершена работа 50 кДж на увеличение его объема. Определите увеличение внутренней энергии газа и количество теплоты, сообщенное этому газу.

4.15. При сообщении газу $8 \cdot 10^4$ Дж теплоты он совершил работу $2 \cdot 10^5$ Дж. Чему равно изменение внут-

ренной энергии газа? Что произойдет с газом (охлаждение или нагревание)?

4.16. Углекислому газу CO_2 сообщено 40 кДж теплоты. Определите при изобарном расширении расход энергии на увеличение объема газа и изменение внутренней энергии.

4.17. При изобарном расширении ($p = 6 \cdot 10^5$ Па) газ совершил работу и увеличился в объеме на 2 м^3 . В процессе расширения газу сообщено $4 \cdot 10^7$ Дж теплоты. Рассчитайте изменение внутренней энергии этого газа и определите, что произошло с газом — нагревание или охлаждение.

4.18. При изобарном расширении двухатомного газа при давлении 10^5 Па его объем увеличился на 5 м^3 . Определите работу расширения газа, изменение его внутренней энергии и количество теплоты, сообщенной этому газу.

5. Обратимые и необратимые изопроцессы. Второе начало термодинамики

5.1. На рис. 39 дана схема замкнутого цикла изменения состояния газа. Цикл состоит из двух адиабатных, одного изохорного и одного изобарного процессов.

1. Определите параметры V и p каждого равновесного состояния.

2. На основании рассматриваемого замкнутого цикла ответьте на вопросы:

а) Какой это цикл — прямой или обратный? Почему?

б) Назовите процессы, происходящие между каждыми равновесными состояниями газа в направлениях, указанных на рисунке стрелками.

в) Выразите через площадь замкнутого цикла положительную, отрицательную и общую работу по всему циклу.

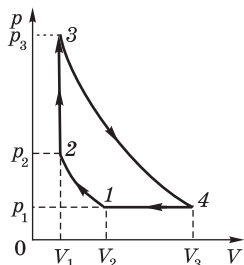


Рис. 39

5.2. 1. Постройте в координатных осях V, p схему замкнутого цикла изменения состояния газа по координатам его промежуточных равновесных состояний $1 (V_3, p_2) \rightarrow$ изохора $2 (V_3, p_1) \rightarrow$ изобара $3 (V_2, p_1) \rightarrow$ изотерма $4 (V_1, p_2) \rightarrow$ изобара $1 (V_3, p_2)$, если $V_1 < V_2 < V_3$ и $p_1 < p_2$.

2. На основании построенного замкнутого цикла ответьте на вопросы:

- Какой это цикл — прямой или обратный? Почему?
- Назовите процессы, происходящие между каждым равновесными состояниями в направлениях, указанных на рисунке стрелками.
- Выразите через площадь замкнутого цикла положительную, отрицательную и общую работу по всему циклу.

5.3. 1. На рис. 40 дана схема замкнутого цикла изменения состояния газа, состоящего из двух адиабатных и двух изохорных процессов. Определите параметры V и p каждого равновесного состояния.

2. На основании рассматриваемого замкнутого цикла ответьте на вопросы:

- Какой это цикл — прямой или обратный? Почему?
- Назовите процессы, происходящие между равновесными состояниями газа в направлениях, указанных на рисунке стрелками.
- Выразите через площадь замкнутого цикла положительную, отрицательную и общую работу по всему циклу.

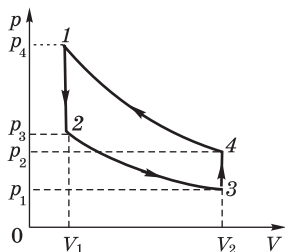


Рис. 40

5.4. 1. Постройте в координатных осях V, p схему замкнутого цикла изменения состояния газа по координатам его промежуточных равновесных состояний: $1 (V_1, p_3) \rightarrow$ изохора $2 (V_1, p_2) \rightarrow$ адиабата $3 (V_2, p_1) \rightarrow$ изохора $4 (V_2, p_2) \rightarrow$ адиабата — $1 (V_1, p_3)$, если $V_1 < V_2$ и $p_1 < p_2 < p_3$.

2. На основании построенного замкнутого цикла ответьте на вопросы:

- Какой это цикл — прямой или обратный? Почему?
- Назовите процессы, происходящие между каждыми равновесными состояниями в направлениях, указанных на рисунке стрелками.
- Выразите через площадь замкнутого цикла положительную, отрицательную и общую работу по всему циклу.

5.5. 1. На рис. 41 дана схема замкнутого цикла изменения состояния газа, состоящего из двух изобарных и двух изотермических процессов. Определите параметры V и p каждого равновесного состояния.

2. На основании рассматриваемого замкнутого цикла ответьте на вопросы:

- Какой это цикл — прямой или обратный? Почему?
- Назовите процессы, происходящие между равновесными состояниями в направлениях, указанных на рисунке стрелками.
- Выразите через площадь замкнутого цикла положительную, отрицательную и общую работу по всему циклу.

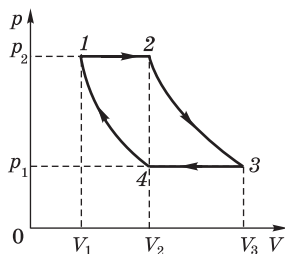


Рис. 41

6. Круговые процессы.

КПД теплового двигателя

6.1. Определите КПД тепловой машины, если за некоторое время ее рабочее тело получило от нагревателя $1,1 \cdot 10^7$ Дж и отдало при этом холодильнику $9,5 \cdot 10^6$ Дж теплоты.

6.2. Тепловая машина имеет максимальный КПД 35%. Определите температуру нагревателя, если температура холодильника 585 К.

6.3. Тепловая машина имеет максимальный КПД 45%. Определите температуру холодильника, если температура нагревателя 820 К.

6.4. Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, получает от нагревателя за каждый цикл 2500 Дж теплоты. Температура нагревателя 400 К, холодильника 300 К. Определите работу, совершаемую машиной за один цикл, и количество теплоты, отдаваемой холодильнику.

6.5. Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно. Определите КПД машины, если известно, что за один цикл машина совершает работу 1 кДж и передает холодильнику 4 кДж теплоты.

7. Насыщенный пар и его свойства.

Влажность воздуха

7.1. Плотность вещества уменьшается с повышением температуры. При каком состоянии вещества его плотность повышается с повышением температуры? Не противоречит ли это молекулярно-кинетической теории? Объясните.

7.2. Давление насыщенного водяного пара при температуре 284 К равно 1306 Па. Определите концентрацию молекул пара.

7.3. Какой пар находится над свободной плоской поверхностью жидкости, если за 1 с из жидкости в пар переходит $4 \cdot 10^8$ молекул, а из пара в жидкость — 10^8 молекул?

7.4. Определите плотность насыщенного водяного пара при температуре 60°C , если его давление при этом равно $19,92$ кПа.

7.5. Какой пар находится над свободной плоской поверхностью жидкости, если за 1 с из жидкости в пар переходит $3 \cdot 10^6$ молекул, а из пара в жидкость — $5 \cdot 10^7$ молекул?

7.6. Давление ненасыщенного водяного пара при температуре 300 К равно 1600 Па. Сколько молекул должно перейти из воды в каждый кубический метр пара, чтобы он стал насыщенным? Давление насыщенного водяного пара при данной температуре 2000 Па.

7.7. Сколько надо испарить воды в 1000 м³ воздуха, относительная влажность которого 40% при 283 К, чтобы увлажнить его до 60% при 290 К?

7.8. Воздух при температуре 303 К имеет точку росы при 286 К. Определите абсолютную и относительную влажности воздуха.

7.9. При 28°C относительная влажность воздуха 50% . Определите массу выпавшей росы из 1 км³ воздуха при понижении температуры до 12°C .

7.10. Относительная влажность воздуха при 273 К равна 40% . Выпадет ли иней, если температура почвы понизится до 268 К? Почему?

7.11. При температуре 300 К влажность воздуха 30% . При какой температуре влажность этого воздуха будет 50% ?

7.12. Относительная влажность воздуха при температуре 20°C равна 80% . Определите массу водяных паров, выпавших в росу из каждого кубического

метра этого воздуха, если его температура понизится до 8°C .

7.13. Относительная влажность воздуха при температуре 293 K равна 44% . Что показывает влажный термометр психрометра?

7.14. Сколько надо испарить воды в 5000 м^3 воздуха, относительная влажность которого 60% при 20°C , чтобы увлажнить его до 70% ?

7.15. Определите относительную влажность воздуха, если сухой термометр психрометра показывает 294 K , а влажный 286 K .

8. Критическое состояние вещества

8.1. Критическая температура воды 647 K . При каких температурах вода находится в газообразном состоянии?

8.2. В каком агрегатном состоянии находится кислород при температуре 140 K ? 180 K ? Критическая температура кислорода 154 K .

8.3. Критическая температура углекислого газа 304 K . При каких температурах происходит постоянный переход углекислого газа из жидкой фазы в паровую и наоборот?

8.4. На нагревание 5 кг воды от 303 K до кипения и на обращение в пар при температуре кипения и нормальном давлении некоторой ее массы затрачено $2,81\text{ МДж}$ теплоты. Определите массу образовавшегося пара.

8.5. Какое количество теплоты надо сообщить $0,2\text{ кг}$ этилового спирта, чтобы нагреть его от 301 K до кипения при нормальном давлении и полностью обратить в пар?

8.6. В сосуд, содержащий 10 кг воды при 293 K , введено $0,2\text{ кг}$ водяного пара при температуре 373 K , кото-

рый, охлаждаясь, сконденсировался в воду. Определите конечную температуру воды. Теплоемкость сосуда и потери теплоты не учитывать.

8.7. На сколько внутренняя энергия 1 кг ацетонового пара больше внутренней энергии этой массы ацетона в жидком состоянии при температуре кипения?

8.8. Какое количество теплоты выделится при конденсации 2 кг водяного пара, взятого при 373 К, и охлаждении образовавшейся воды до 273 К?

8.9. В каких интервалах температур вода находится в твердой, жидкой и газовой фазах, если температуры отвердевания 273 К, кипения 373 К и критическая 647 К?

8.10. На сколько внутренняя энергия 10 кг водяного пара при температуре 373 К и нормальном давлении больше внутренней энергии такой же массы воды при тех же температуре и давлении?

9. Жидкости и их свойства

9.1. Какую работу надо совершить против сил поверхностного натяжения, чтобы увеличить площадь поверхности мыльного пузыря на 20 см^2 ?

9.2. На сколько увеличится энергия поверхностного слоя мыльной пленки при увеличении площади ее поверхности на 40 см^2 ?

9.3. При увеличении площади поверхности глицерина на 50 см^2 внешними силами совершена работа $2,95 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$. Определите поверхностное натяжение глицерина.

9.4. Поверхностное натяжение жидкого олова равно $5,26 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$. Определите силу поверхностного натяже-

ния олова, действующую на периметр поверхностного слоя длиной 50 см.

9.5. Определите силу внутреннего трения между корпусом корабля, площадь поверхности подводной части которого 800 м^2 , движущегося со скоростью 5 м/с относительно воды, отстоящей от его корпуса на расстоянии 40 см. Вязкость воды $\eta = 1,005 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot \text{с}$.

9.6. Определите внутренний диаметр капиллярной трубки, если вода в ней поднялась над открытой поверхностью на 12 мм.

9.7. Определите диаметр капли воды, в которой возникает лапласовское давление 1440 Па.

9.8. Дно сосуда представляет собой частую сетку (сито), диаметр отверстий которой 0,2 мм. До какой наибольшей высоты можно налить воду в этот сосуд, чтобы она не выливалась через дно?

9.9. Под каким давлением находится воздух в паровоздушном пузырьке диаметром 2 мм в воде на глубине 50 см, если атмосферное давление 10^5 Па ?

9.10. На каком расстоянии от поверхности подводной части лодки, площадь которой 18 м^2 , находится слой воды, если при движении лодки относительно этого слоя со скоростью 1 м/с возникает внутреннее трение, равное 6,03 Н? Вязкость воды $\eta = 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

10. Кристаллические тела и их свойства

10.1. Определите массу $3,01 \cdot 10^{25}$ атомов алюминия.

10.2. Определите число молекул в 1 кг поваренной соли NaCl.

10.3. Сколько молекул содержится в 2 кг медного купороса CuSO_4 ?

- 10.4.** Сколько атомов содержится в 4 кг олова?
- 10.5.** Определите среднее расстояние между молекулами льда при 273 К.
- 10.6.** При всестороннем сжатии объем шара уменьшился от 60 до 54 см³. Определите абсолютное и относительное изменения объема.
- 10.7.** Металлический стержень длиной 7 м, имеющий площадь поперечного сечения 50 мм², при растяжении силой 1 кН удлинился на 0,2 см. Определите модуль Юнга вещества и род металла.
- 10.8.** Определите относительное сжатие бетона при нормальном механическом напряжении, равном $8 \cdot 10^6$ Па. Модуль Юнга бетона 40 ГПа.
- 10.9.** Определите нормальное механическое напряжение у основания свободно стоящей мраморной колонны высотой 10 м. Плотность мрамора 2700 кг/м³.
- 10.10.** При каком наибольшем диаметре поперечного сечения стальная проволока под действием силы 7850 Н разорвется? Предел прочности стали $4 \cdot 10^8$ Па.
- 10.11.** При какой наименьшей нагрузке бетонный куб с ребром 10 см разрушится, если предел прочности бетона на сжатие $3,4 \cdot 10^7$ Па?
- 10.12.** Под действием силы 2 кН пружина сжимается на 4 см. Какую работу необходимо совершить, чтобы сжать ее на 12 см? Деформация пружины упругая.
- 10.13.** Какую максимальную нагрузку можно приложить к стальному тросу диаметром 1 см, чтобы обеспечить пятикратный запас прочности? Предел прочности стали $4 \cdot 10^8$ Па.
- 10.14.** Внутри бронзовой отливки имеется полость, объем которой при 273 К равен 400 см³. Определите объем этой полости при температуре 313 К.

10.15. Стальная балка жестко закреплена между двумя стенами. Определите механическое напряжение, которое возникает при повышении температуры на 60 К. Модуль Юнга стали $E = 2,2 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент линейного расширения стали в данном интервале температур $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$.

10.16. Длина медной проволоки при 273 К равна 8 м. До какой температуры ее нужно нагреть, чтобы абсолютное удлинение было равно 5 см?

10.17. Какую силу надо приложить к латунному стержню площадью поперечного сечения $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, чтобы сжать его вдоль продольной оси на столько же, на сколько он укорачивается при охлаждении на 20 К? Модуль Юнга латуни $E = 1,1 \cdot 10^{11}$ Па, средний коэффициент линейного расширения латуни в данном интервале температур $\alpha = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$.

10.18. Площадь стекла, установленного в витрине магазина, равна 6 м^2 при температуре 273 К. На сколько увеличится площадь этого стекла при нагревании до 313 К?

10.19. На сколько нужно повысить температуру медной проволоки площадью поперечного сечения 10 мм^2 , чтобы она имела такую же длину, как под действием растягивающей силы 884 Н? Модуль Юнга меди $E = 1,3 \cdot 10^{11}$ Па, средний коэффициент линейного растяжения меди в данном интервале температур $\alpha = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$.

10.20. Стальная труба при температуре 273 К имеет длину 500 мм. При нагревании ее до 373 К она удлинилась на 0,6 мм. Определите средний коэффициент линейного расширения стали в этом интервале температур.

10.21. На сколько кельвин следует нагреть алюминиевую проволоку площадью поперечного сечения $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$, чтобы она удлинилась на столько же, на сколько удлиняется под действием растягивающей силы 1610 Н? Модуль Юнга алюминия $E = 7 \cdot 10^{10}$ Па, коэффициент линейного растяжения алюминия принять равным $\alpha = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$.

Основы электродинамики

1. Электрическое поле. Закон Кулона

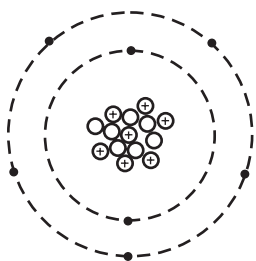


Рис. 42

1.1. Модель какого атома изображена на рис. 42? Выразите заряд ядра этого атома в кулонах. Объясните физический смысл диэлектрической проницаемости среды.

1.2. Ядро какого атома имеет электрический заряд $7,52 \cdot 10^{-18}$ Кл?

1.3. Модели каких атомов или ионов изображены на рис. 43, а—г?

1.4. В каком количественном соотношении находятся заряды и массы протона и электрона?

1.5. Нарисуйте модель атома углерода. Определите значение заряда его ядра.

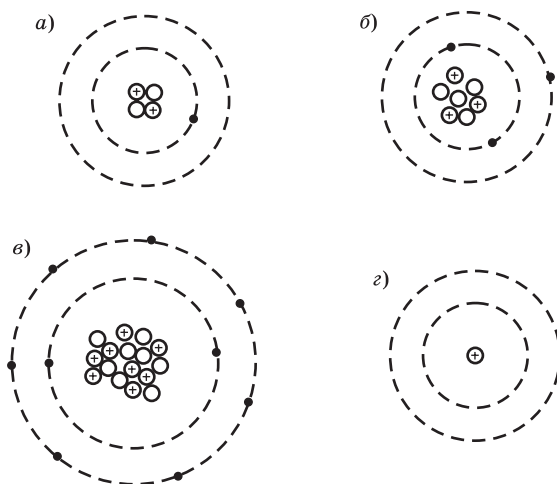


Рис. 43

1.6. Заряд, равный $-1,3 \cdot 10^{-6}$ Кл, помещен в спирт на расстоянии 5 см от другого заряда. Определите значение и знак другого заряда, если заряды притягиваются с силой $-0,45$ Н. Диэлектрическая проницаемость спирта равна 26.

1.7. Два точечных электрических заряда взаимодействуют в воздухе на расстоянии 0,4 м друг от друга с такой же силой, как в непроводящей жидкости на расстоянии 0,2 м. Определите диэлектрическую проницаемость непроводящей жидкости.

2. Напряженность и потенциал электрического поля

2.1. Напряженность электрического поля уединенного точечного заряда на расстоянии 1 м равна 32 Н/Кл. Определите напряженность этого поля на расстоянии 8 м от заряда.

2.2. Металлический шар, заряд которого $-8 \cdot 10^{-9}$ Кл, помещен в керосин ($\epsilon = 2$). Определите напряженность электрического поля на поверхности шара, если его радиус равен 20 см. Изобразите линии напряженности поля, созданного заряженной поверхностью шара.

2.3. На каком расстоянии от точечного заряда 10^{-8} Кл, находящегося в воздухе, напряженность электрического поля окажется меньше 10^{-9} Н/Кл?

2.4. С какой силой действует однородное поле, напряженность которого 2000 Н/Кл, на электрический заряд $5 \cdot 10^{-6}$ Кл?

2.5. Земля — электрически заряженное космическое тело. Заряд Земли отрицательный. Зная, что напряженность электростатического поля Земли на ее поверхности равна -130 Н/Кл, и принимая радиус Земли равным

$6,4 \cdot 10^6$ м, определите электрический заряд Земли и поверхностную плотность заряда.

2.6. Напряженность электрического поля заряда, помещенного в керосин ($\epsilon_k = 2$), в некоторой точке равна E_k . Как изменится напряженность поля в этой точке, если заряд поместить в воду ($\epsilon_v = 81$)?

2.7. Работа при переносе заряда $2 \cdot 10^{-7}$ Кл из бесконечности в некоторую точку электрического поля равна $8 \cdot 10^{-4}$ Дж. Определите электрический потенциал в этой точке.

2.8. Определите разность потенциалов начальной и конечной точек пути электрона в электрическом поле, если его скорость увеличилась от 10^6 до $3 \cdot 10^6$ м/с. Масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

2.9. Электрические потенциалы двух изолированных зарядов, находящихся в воздухе, равны $+110$ и -110 В. Какую работу совершит электрическое поле этих двух зарядов при переносе заряда $5 \cdot 10^{-4}$ Кл с одного проводника на другой?

2.10. Определите разность потенциалов между точками A и B электрического поля точечного заряда $4 \cdot 10^{-8}$ Кл, находящегося в воздухе, как показано на рис. 44, если расстояния от этих точек до заряда соответственно равны 1 и 4 м.

2.11. Напряженность электрического поля между двумя большими металлическими пластинами не должна превышать $2,5 \cdot 10^4$ В/м. Определите допустимое расстояние между пластинами, если к ним будет подано напряжение 5000 В.

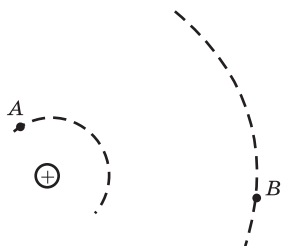


Рис. 44

2.12. Какую работу требуется совершить, чтобы два заряда $4 \cdot 10^{-5}$ и $8 \cdot 10^{-6}$ Кл, находящиеся в воздухе на расстоянии 0,8 м друг от друга, сблизить до 0,2 м?

2.13. Металлическому шару радиусом 10 см сообщен заряд 10^{-7} Кл. Определите электрический потенциал на поверхности шара.

2.14. Определите тормозящую разность потенциалов, под действием которой электрон, движущийся со скоростью 40 000 км/с, остановится. Масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

2.15. Заряд ядра атома цинка равен $4,8 \cdot 10^{-18}$ Кл. Определите потенциал электрического поля, созданного ядром атома цинка, на расстоянии 10 нм.

2.16. Два точечных заряда $4 \cdot 10^{-6}$ и $8 \cdot 10^{-6}$ Кл находятся на расстоянии 0,8 м друг от друга. На сколько изменится энергия взаимодействия этих зарядов, если расстояние между ними будет равно 1,6 м?

2.17. Какие заряды перемещаются в электрическом поле от точек с большим потенциалом к точкам с меньшим потенциалом и какие, наоборот, — от точек с меньшим потенциалом к точкам с большим потенциалом?

3. Емкость. Конденсаторы

3.1. При сообщении металлическому шару, находящемуся в воздухе, заряда $2 \cdot 10^{-7}$ Кл его потенциал оказался равным 18 кВ. Определите радиус шара.

3.2. В паспорте конденсатора указано: «150 мкФ; 200 В». Какой наибольший допустимый электрический заряд можно сообщить данному конденсатору?

3.3. Какой емкостью обладает Земля? Радиус Земли $6,4 \cdot 10^6$ м.

3.4. Какой заряд надо сообщить проводящему шару, находящемуся в воздухе, чтобы электрический потенциал был равен 1 В, если радиус шара 9 мм?

3.5. Какой емкостью обладает проводящий шар радиусом 20 см в воде, уединенный от других проводников?

3.6. Если проводнику сообщить заряд 10^{-8} Кл, то его электрический потенциал увеличится на 100 В. Определите электроемкость проводника.

3.7. Определите электроемкость батареи конденсаторов, изображенной на рис. 45, если $C_1 = C_2 = 2$ пФ и $C_3 = 500$ пФ.

3.8. Определите электроемкость батареи конденсаторов, изображенной на рис. 46, если $C_1 = 0,1$ мкФ, $C_2 = 0,4$ мкФ и $C_3 = 0,52$ мкФ.

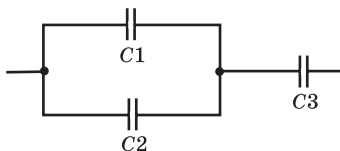


Рис. 45

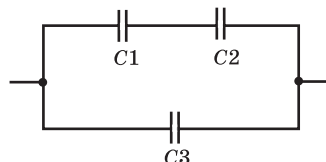


Рис. 46

3.9. Определите электроемкость батареи конденсаторов, изображенной на рис. 47, если $C_1 = 2$ мкФ, $C_2 = 4$ мкФ, $C_3 = 1$ мкФ, $C_4 = 2$ мкФ, $C_5 = 6$ мкФ.

3.10. В каких пределах может изменяться электрическая емкость участка цепи, состоящей из конденсатора постоянной емкости $C_1 = 400$ пФ и конденсатора переменной емкости $C_2 = 100 \div 800$ пФ (рис. 48)?

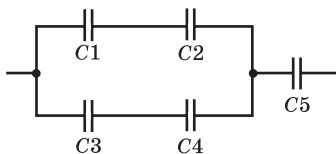


Рис. 47

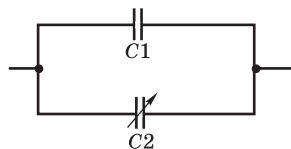


Рис. 48

3.11. В каких пределах может изменяться электроемкость участка цепи, состоящей из конденсатора постоянной емкости $C_1 = 100$ пФ и конденсатора переменной емкости $C_2 = 400 \div 900$ пФ (рис. 49).

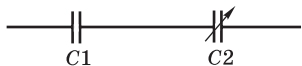


Рис. 49

3.12. Определите емкость плоского конденсатора, состоящего из 51 пластины площадью поверхности 20 см^2 каждая, если между ними проложена слюда толщиной $0,1 \text{ мм}$ ($\epsilon = 7$).

4. Постоянный электрический ток. Закон Ома для участка цепи

4.1. Если к концам проводника подать напряжение 100 В , то по нему пойдет ток 2 А . Какое напряжение надо приложить к концам этого проводника, чтобы сила тока в нем стала равной $1,2 \text{ А}$?

4.2. Определите силу тока в проводнике, если напряжение на его концах 80 В , а сопротивление 20 Ом . Постройте вольт-амперную характеристику этого проводника.

4.3. Определите число электронов проводимости в железной проволоке массой 20 г . Число электронов проводимости равно числу атомов в металле. Молярная масса железа $M = 56,85 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

4.4. Определите сопротивление резистора, включенного в электрическую сеть с напряжением 220 В , чтобы по нему протекал ток не более 2 А .

4.5. По вольт-амперной характеристике, изображенной на рис. 50, определите сопротивление резистора. При каком напряжении через резистор проходит ток 3 А ?

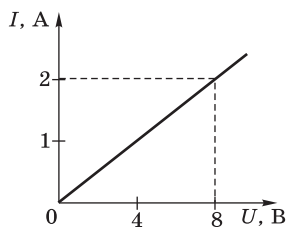


Рис. 50

5. Закон Ома для полной цепи

5.1. Определите ЭДС источника тока, если при перемещении электрического заряда 10 Кл сторонняя сила совершает работу в 120 Дж.

5.2. Разность потенциалов на клеммах разомкнутого источника тока 4 В. Определите внутреннее сопротивление источника тока, если при сопротивлении внешнего участка цепи 4 Ом сила тока на этом участке равна 0,8 А.

5.3. Источник тока с ЭДС 220 В и внутренним сопротивлением 2 Ом замкнут проводником сопротивлением 108 Ом. Определите падение напряжения внутри источника тока.

5.4. Батарея аккумуляторов имеет ЭДС 12 В. Сила тока в цепи 4 А, а напряжение на клеммах 11 В. Определите силу тока короткого замыкания.

5.5. ЭДС источника тока 220 В, его внутреннее сопротивление 1,5 Ом. Каким должно быть сопротивление внешнего участка цепи, чтобы сила тока была равна 4 А?

5.6. Напряжение на зажимах генератора при замкнутой внешней цепи равно 120 В. Сопротивление внешнего участка цепи в 20 раз больше внутреннего сопротивления генератора. Определите ЭДС генератора.

5.7. Источник тока с ЭДС 60 В и внутренним сопротивлением 2 Ом замкнут на два последовательно соединенных резистора, как показано на рис. 51. Определите сопротивление резистора R_2 , если сопротивление резистора R_1 равно 20 Ом, а сила тока в цепи равна 2 А.

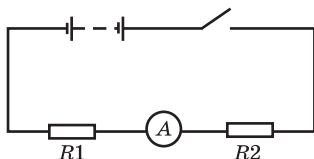


Рис. 51

6. Сопротивление проводника

6.1. На рис. 52 даны графики зависимостей: а) сопротивления проводника от напряжения на его концах (рис. 52, а); б) силы тока от напряжения (рис. 52, б); в) сопротивления от силы тока (рис. 52, в). Объясните, что выражает каждый график.

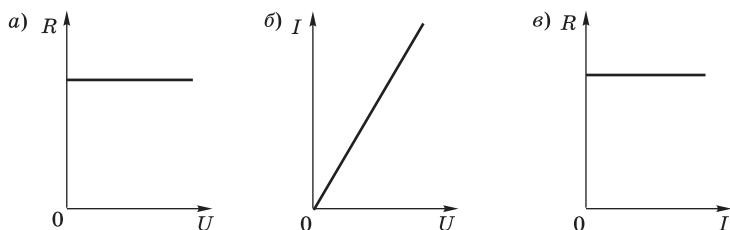


Рис. 52

6.2. Сопротивление медного провода при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ равно $50\text{ }\Omega$. Определите его сопротивление при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 0,004\text{ K}^{-1}$.

6.3. Сопротивление алюминиевого провода длиной 20 м и площадью поперечного сечения 1 мм^2 равно $0,56\text{ }\Omega$. Определите удельное сопротивление алюминия.

6.4. На сколько надо повысить температуру медного проводника, взятого при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, чтобы его сопротивление увеличилось в три раза? Температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 0,0033\text{ K}^{-1}$.

6.5. Определите напряжение в подводящих проводах, сопротивление которых $6,2\text{ }\Omega$, если на этом участке цепи проходит ток $0,5\text{ А}$.

6.6. Сопротивление вольфрамовой нити электрической лампочки при $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ равно $50\text{ }\Omega$. До какой температуры была нагрета нить, если ее сопротивление стало равным $550\text{ }\Omega$?

6.7. Определите силу тока, проходящего через резистор сопротивлением $15\ \text{Ом}$, если падение напряжения на нем составляет $21\ \text{В}$.

6.8. Определите падение напряжения на резисторе сопротивлением $30\ \text{Ом}$, если по нему проходит ток $0,4\ \text{А}$.

6.9. Сопротивление угольного проводника при температуре $0\ ^\circ\text{C}$ равно $15\ \text{Ом}$, а при температуре $220\ ^\circ\text{C}$ равно $13,5\ \text{Ом}$. Определите температурный коэффициент сопротивления угля.

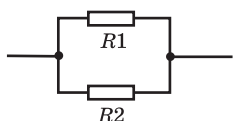


Рис. 53

6.10. На рис. 53 дана схема параллельного соединения двух резисторов. Через резистор $R1$ сопротивлением $55\ \text{Ом}$ проходит ток $I_1 = 4\ \text{А}$. Определите сопротивление резистора $R2$, если через него проходит ток $I_2 = 0,8\ \text{А}$.

6.11. На рис. 54 дана схема смешанного соединения четырех резисторов по $10\ \text{Ом}$ каждый. Найдите общее (эквивалентное) сопротивление этого участка цепи.

6.12. На рис. 55 дана схема последовательного соединения трех резисторов. Падение напряжения на резисторе $R1$ сопротивлением $36\ \text{Ом}$ равно $U_1 = 9\ \text{В}$. Определите напряжение на резисторе $R2$ сопротивлением $64\ \text{Ом}$ и сопротивление резистора $R3$, если напряжение на его концах $120\ \text{В}$.

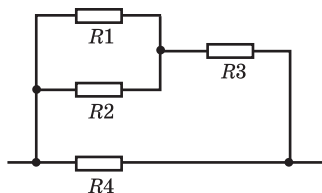


Рис. 54

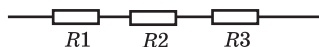


Рис. 55

6.13. Найдите сопротивление участка цепи, изображенного на рис. 56, если $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = R_3 = R_4 = 15 \text{ Ом}$, $R_5 = 3 \text{ Ом}$, $R_6 = 90 \text{ Ом}$.

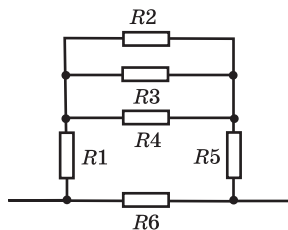


Рис. 56

6.14. В сеть с напряжением 220 В включены параллельно две электрические лампы сопротивлением 200 Ом каждая. Определите силу тока, проходящего через каждую лампу.

6.15. В сеть с напряжением 220 В включены последовательно две электрические лампы сопротивлением 200 Ом каждая. Определите силу тока, проходящего через каждую лампу.

6.16. Определите напряжения на каждом резисторе и падение напряжения между точками A и B цепи, изображенной на рис. 57, если $R_1 = 4 \text{ Ом}$, $R_2 = 20 \text{ Ом}$, $R_3 = 80 \text{ Ом}$, $R_4 = 30 \text{ Ом}$, $I_0 = 4 \text{ А}$.

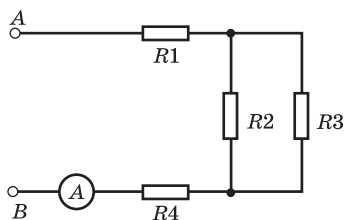


Рис. 57

6.17. Даны четыре резистора по 60 Ом каждый. Нарисуйте схемы соединений всех четырех резисторов, чтобы общее сопротивление оказалось равным соответственно 15, 45, 50, 60, 80, 150 и 240 Ом. Возле каждой схемы напишите общее сопротивление.

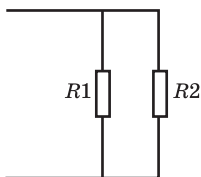


Рис. 58

6.18. На рис. 58 дана схема, на которой через резистор R_1 сопротивлением 120 Ом проходит ток $I_1 = 3 \text{ А}$. Определите силу тока, проходящего через резистор R_2 сопротивлением 90 Ом .

7. Соединение источников тока

7.1. Определите внутреннее сопротивление батареи, состоящей из шести последовательно соединенных источников тока, внутренние сопротивления которых соответственно равны $0,4$; $0,5$; $0,8$; $0,6$; $0,9$ и $0,4 \text{ Ом}$.

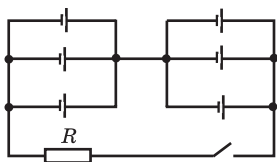


Рис. 59

7.2. Пользуясь схемой, изображенной на рис. 59, определите силу тока, проходящего по резистору сопротивлением $R = 23,6 \text{ Ом}$, если ЭДС и внутреннее сопротивление каждого элемента соответственно равны

$\mathcal{E} = 12 \text{ В}$ и $r = 0,6 \text{ Ом}$. Сопротивление соединительных проводов ничтожно мало.

7.3. Два одинаковых источника тока с ЭДС $3,5 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением по $0,4 \text{ Ом}$ каждый соединены в батареи, как показано на рис. 60, *а-в*. Какое напряжение покажет вольтметр в каждой цепи и каково внутреннее сопротивление каждой батареи?

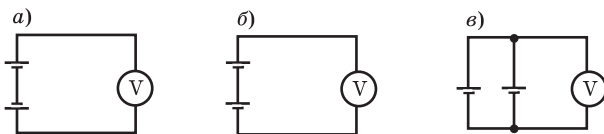


Рис. 60

7.4. Определите ЭДС и внутреннее сопротивление батареи гальванических элементов, собранной по схеме, изображенной на рис. 61, если ЭДС и внутреннее сопротивление каждого элемента соответственно равны 6 В и 0,6 Ом.

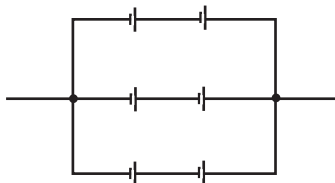


Рис. 61

7.5. Сколько гальванических элементов с ЭДС 1,5 В и внутренним сопротивлением 0,5 Ом каждый нужно соединить параллельно, чтобы сила тока была 0,5 А при сопротивлении внешней цепи 2,9 Ом?

7.6. Дано пять аккумуляторов с ЭДС 6 В и внутренним сопротивлением 0,6 Ом каждый. Каким должно быть сопротивление внешней цепи, чтобы при последовательном соединении аккумуляторов сила тока оказалась равной 2 А?

7.7. Определите общее сопротивление электрической цепи, изображенной на рис. 62, если $R = 40$ Ом, $r = 2$ Ом.

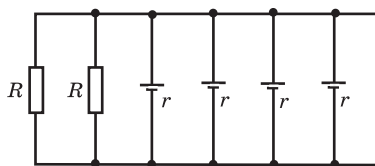


Рис. 62

7.8. Два источника с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 60$ В и $\mathcal{E}_2 = 20$ В соединены, как показано на рис. 63. Определите внутреннее сопротивление второго источника тока, если внутреннее сопротивление первого источника тока $r_1 = 5$ Ом,

сопротивление внешней цепи $R = 12 \text{ Ом}$, сила тока в цепи $I = 4 \text{ А}$.

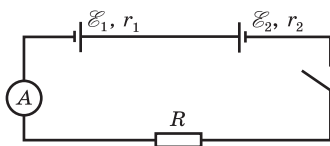


Рис. 63

7.9. При каком сопротивлении внешней цепи сила тока в ней будет одинакова при параллельном и последовательном соединениях одинаковых источников тока в батарее?

8. Закон Кирхгофа для разветвленной цепи

8.1. На рис. 64 дана схема сложной электрической цепи постоянного тока. Определите силы токов и их направления в резисторах сопротивлениями $R_1 = 6 \text{ Ом}$, $R_2 = 4 \text{ Ом}$, $R_3 = 2 \text{ Ом}$, если $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 6 \text{ В}$ и $\mathcal{E}_3 = 16 \text{ В}$. Внутренние сопротивления источников тока не учитывать.

8.2. На рис. 65 дана схема сложной электрической цепи постоянного тока. Определите падение напряжения на каждом резисторе, если $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 4 \text{ Ом}$, $R_3 = 2 \text{ Ом}$ и ЭДС источников тока $\mathcal{E}_1 = 5 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 18 \text{ В}$ и $\mathcal{E}_3 = 7 \text{ В}$. Внутренние сопротивления источников тока не учитывать.

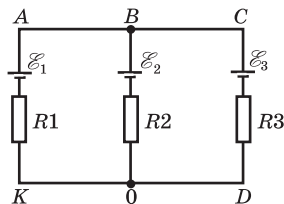


Рис. 64

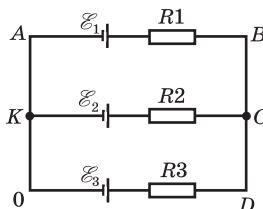


Рис. 65

8.3. На рис. 66 дана схема сложной электрической цепи постоянного тока. Определите падение напряжения на каждом резисторе, если $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 7 \text{ Ом}$, $R_3 = 4 \text{ Ом}$ и ЭДС источников тока $\mathcal{E}_1 = 10 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 25 \text{ В}$ и $\mathcal{E}_3 = 26 \text{ В}$. Внутренние сопротивления источников тока не учитывать.

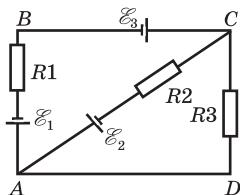


Рис. 66

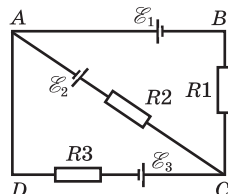


Рис. 67

8.4. На рис. 67 дана схема сложной электрической цепи постоянного тока. Определите падение напряжения на каждом резисторе, если $R_1 = 52 \text{ Ом}$, $R_2 = 8 \text{ Ом}$, $R_3 = 2 \text{ Ом}$ и ЭДС источников тока $\mathcal{E}_1 = 10 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 18 \text{ В}$ и $\mathcal{E}_3 = 50 \text{ В}$. Внутренние сопротивления источников тока не учитывать.

9. Работа и мощность постоянного электрического тока

9.1. По проводнику сопротивлением 20 Ом за 5 мин прошел заряд 300 Кл . Вычислите работу тока за это время.

9.2. По данным рис. 68 определите мощность тока, потребляемую резистором R .

9.3. Определите сопротивление электрического паяльника мощностью 300 Вт , включенного в сеть напряжением 220 В .

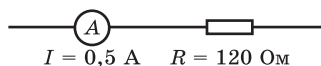


Рис. 68

9.4. Две электрические лампы сопротивлениями 100 и 300 Ом последовательно включены в сеть. Какая из ламп потребляет бóльшую мощность и во сколько раз?

9.5. Определите КПД источника тока с внутренним сопротивлением r , замкнутого на внешнее сопротивление R .

9.6. Сколько электронов проводимости проходит каждую секунду через поперечное сечение вольфрамовой нити лампочки мощностью 70 Вт, включенной в сеть с напряжением 220 В?

9.7. Определите стоимость электрической энергии, потребляемой лампой мощностью 100 Вт за 200 ч горения. Стоимость 1 кВт·ч энергии 0,4 р.

9.8. На рис. 69 дана схема смешанного соединения резисторов сопротивлениями: $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = R_3 = 20$ Ом, $R_4 = 40$ Ом. По какому резистору протекает ток наибольшей мощности и какова общая мощность тока, потребляемая цепью, если $I_{\text{об}} = 3$ А?

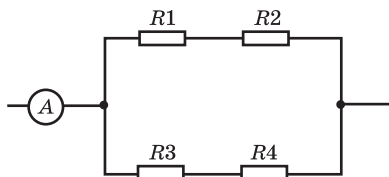


Рис. 69

9.9. Лампа, рассчитанная на напряжение 127 В, потребляет мощность 100 Вт. Какой дополнительный резистор нужно включить последовательно с лампой, чтобы она потребляла такую же мощность от сети с напряжением 220 В?

9.10. На рис. 70 дана схема соединения трех резисторов сопротивлениями: $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 40$ Ом и $R_3 = 32$ Ом.

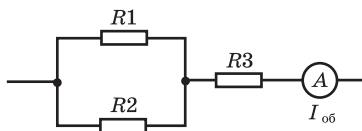


Рис. 70

По какому резистору протекает ток наибольшей мощности? Определите мощность, потребляемую цепью, если $I_{об} = 2,5 \text{ A}$.

9.11. Во сколько раз сопротивление лампы, рассчитанной на напряжение 220 В , должно быть больше сопротивления лампы такой же мощности, рассчитанной на напряжение 127 В ?

10. Тепловое действие тока

10.1. Какое сопротивление должен иметь резистор, чтобы при включении в сеть с напряжением 220 В в нем за 10 мин выделилось 66 кДж теплоты?

10.2. Резисторы сопротивлениями $R_1 = 150 \text{ Ом}$ и $R_2 = 90 \text{ Ом}$ включены последовательно в сеть. Какое количество теплоты выделится в резисторе R_1 , если в резисторе R_2 выделилось 18 кДж теплоты?

10.3. По данным рис. 71 определите количество теплоты, которое выделится в резисторе R_1 за 5 мин .

10.4. По данным рис. 72 определите количество теплоты, которое выделится в резисторе R_2 за 10 мин .

10.5. В паспорте электрического утюга написано: « 200 В ; 600 Вт ». Какое количество теплоты выделится в спирали утюга за 2 ч работы при напряжении 220 В ?

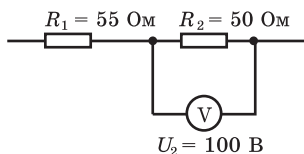


Рис. 71

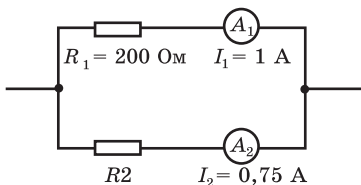


Рис. 72

10.6. Какое количество теплоты выделится в проводнике, по которому пройдут $5 \cdot 10^{20}$ электронов проводимости при разности потенциалов на концах проводника, равной 220 В?

10.7. В электрическом кипятильнике вместимостью 2,2 л вода нагревается от 20°C до кипения за 32 мин. Определите силу тока, проходящего по обмотке нагревателя, если разность потенциалов между его концами равна 220 В и КПД нагревателя 70%.

10.8. По данным рис. 73 определите количество теплоты, которое выделится в цепи за 20 мин.

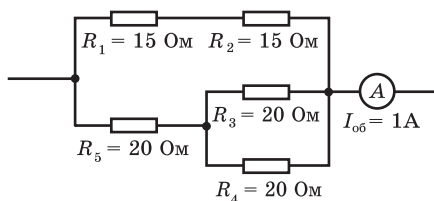


Рис. 73

10.9. В каком из четырех резисторов в цепи, изображенной на рис. 74, выделится максимальное количество теплоты при прохождении постоянного тока?

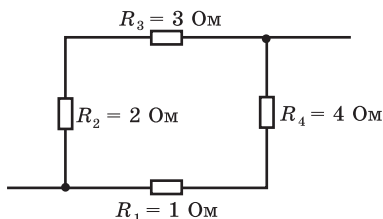


Рис. 74

10.10. В электрическом чайнике за 8 мин нагревается 2,5 л воды от 20°C до кипения. Определите сопротивление спирали чайника, если напряжение в сети 220 В, а КПД чайника 85%.

10.11. Резисторы сопротивлениями $R_1 = 60 \text{ Ом}$, $R_2 = 40 \text{ Ом}$ и $R_3 = 24 \text{ Ом}$ соединены, как показано на рис. 75. Определите количество теплоты, которое выделится

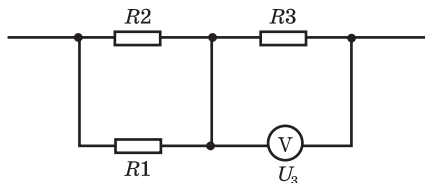


Рис. 75

в каждом резисторе за 5 мин, и общее количество теплоты, которое выделится в цепи за это время, если $U_3 = 60 \text{ В}$.

11. Электронная проводимость металлов

11.1. На рис. 76 даны графики зависимости потенциальной энергии свободных электронов, находящихся вне и внутри металлов, от вида металлов. Сравните графики и ответьте на вопросы:

а) Какие электроны обладают большей потенциальной энергией: находящиеся вне или внутри металлов? Почему?

б) В каком металле, I или II , работа выхода электронов больше?

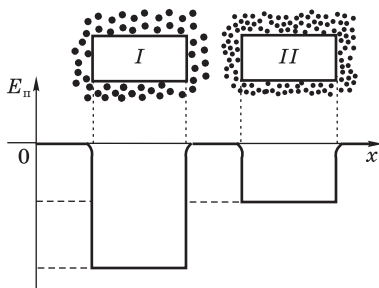


Рис. 76

11.2. Какой наименьшей скоростью должен обладать свободный электрон алюминия, который, двигаясь перпендикулярно его поверхности, вылетел бы из него, если работа выхода электрона у алюминия равна 3,74 эВ?

11.3. С какой наименьшей скоростью должен двигаться свободный электрон никеля перпендикулярно его поверхности, чтобы эмиттировать из него? Работа выхода электрона у никеля равна 4,84 эВ.

11.4. Определите термо-ЭДС термопары медь — константан, если разность температур их спаев равна 1000 К, а коэффициент термо-ЭДС в данном интервале температур равен $\alpha = 5,8 \cdot 10^{-5}$ В/К.

11.5. Может ли эмиттировать из железа электрон, летящий перпендикулярно его поверхности со скоростью 1000 км/с, если работа выхода электрона у железа равна 4,36 эВ?

11.6. В каком случае возникает контактная разность потенциалов (не равная нулю) между концевыми проводниками *A* и *B* в соединении трех проводников, как показано на рис. 77, *a–в*?

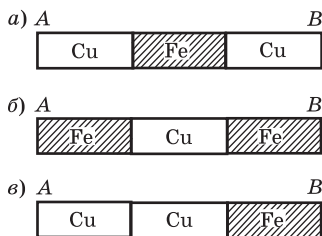


Рис. 77

11.7. Определите контактную разность потенциалов при постоянной температуре в месте соединения меди и алюминия, если работа выхода свободных электронов у алюминия 3,74 эВ, а у меди 4,47 эВ.

12. Электрический ток в электролитах

12.1. Определите массу выделившегося хлора при прохождении $N = 5 \cdot 10^{24}$ электронов через раствор NaCl.

12.2. Сколько серебра выделится на катоде при прохождении тока через водный раствор нитрата серебра за 5 ч, если сопротивление ванны 6 Ом, напряжение на ее зажимах 6 В? Серебро одновалентное.

12.3. При получении алюминия электролизом раствора Al_2O_3 в расплавленном криолите пропускают ток $2 \cdot 10^4$ А. Определите время, в течение которого выделится 10 кг алюминия.

12.4. При электролизе $ZnSO_4$ выделилось 61,2 г цинка. Определите затраченную энергию электрического тока, если напряжение на зажимах ванны 10 В. Ответ выразите в киловатт-часах.

12.5. Определите электромеханический эквивалент хлора, атомная масса которого $A = 35,453$, валентность $n = 1$.

12.6. Медный анод массой 33 г погружен в ванну с водным раствором медного купороса (сульфата меди). Через какое время анод полностью растворится, если электролиз идет при силе тока 2 А?

12.7. Две электролитические ванны с растворами $CuSO_4$ и $AgNO_3$ соединены последовательно. Сколько серебра выделится за время, в течение которого выделилось 6,6 г меди?

12.8. Две электролитические ванны соединены последовательно. В первой ванне выделилось 19,5 г цинка, во второй за это же время — 11,2 г железа. Цинк двухвалентен. Какова валентность железа?

12.9. Ванна с раствором нитрата серебра подключена к источнику тока с напряжением 4 В. Определите сопротивление раствора в ванне, если за 1 ч на катоде выделилось 6,04 г серебра.

13. Химические источники тока

13.1. Какой наименьшей емкостью должен обладать аккумулятор, чтобы при электролизе раствора сульфата меди на катоде отложилось 6,6 г меди?

13.2. Определите емкость аккумулятора, если при средней силе тока 0,8 А полная разрядка произошла через 20 ч.

13.3. Зарядка аккумулятора продолжалась $t_3 = 5$ ч при силе тока $I_3 = 1$ А и напряжении $U_3 = 3$ В. Аккумулятор, работая в постоянном режиме, полностью разрядился за $t_p = 75$ ч при силе тока $I_p = 0,2$ А и внешнем сопротивлении $R = 4$ Ом. Не учитывая внутреннего сопротивления аккумулятора, определите его КПД.

14. Электрический ток в газах и вакууме

14.1. При облучении газоразрядной трубки рентгеновским излучением каждую секунду образуется $6 \cdot 10^{19}$ пар ионов и одновременно рекомбинируется $2 \cdot 10^{19}$ пар ионов. Определите силу тока в трубке, если заряд каждого иона равен $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

14.2. При облучении газа γ -излучением каждую секунду образуется $5 \cdot 10^{18}$ пар ионов. Определите силу тока насыщения, проходящего через газ, если заряд каждого иона равен $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

14.3. По вольт-амперной характеристике газа определите сопротивление газа, соответствующее каждому значению напряжения, указанному на рис. 78.

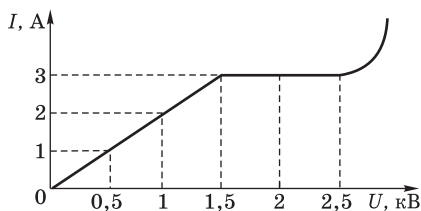


Рис. 78

14.4. Определите длину свободного пробега электрона в электродной трубке, заполненной разреженным азотом, в момент возникновения ударной ионизации, если напряженность электрического поля между электродами трубки $2 \cdot 10^4$ В/м, а работа ионизации молекулы азота равна 15,8 эВ.

14.5. При какой наименьшей температуре водород будет полностью ионизирован? Работа ионизации атома водорода 13,5 эВ.

14.6. По анодной характеристике вакуумного диода, приведенной на рис. 79, определите силу тока насыщения и сопротивление лампы при анодном напряжении 30 В.

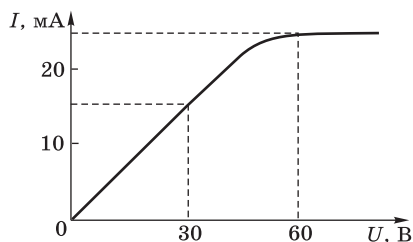


Рис. 79

14.7. Постройте вольт-амперную характеристику диода в зависимости от изменения напряжения в анодной цепи при постоянном токе в цепи накала по следующим данным:

$U_a, \text{В}$	0	20	40	60	80
$I_a, \text{мА}$	0	5	15	20	20

Определите силу тока насыщения и сопротивления диода при напряжениях в анодной цепи 20 и 60 В.

14.8. Сколько электронов эмиттирует из катода за 1 ч работы диода при анодном токе насыщения, равном 20 мА?

15. Электрический ток в полупроводниках

15.1. Какой проводимостью обладает проводник, взаимное положение валентных электронов атома которого показано на рис. 80?

15.2. На рис. 81 даны графики зависимости сопротивления металла и полупроводника от температуры. Какой график характеризует свойства металла, а какой — свойства полупроводника? Почему?

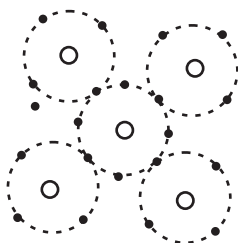


Рис. 80

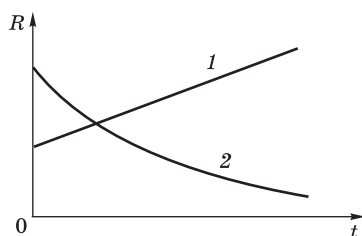


Рис. 81

15.3. На рис. 82, а, б изображены p - n -переходы двух диодов и направления движения основных носителей

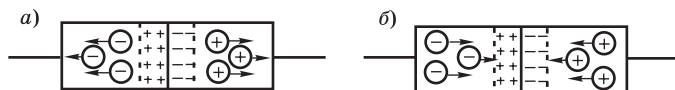


Рис. 82

электрического тока. Через какой диод проходит ток, а через какой не проходит? Почему?

16. Магнитное поле. Закон Ампера

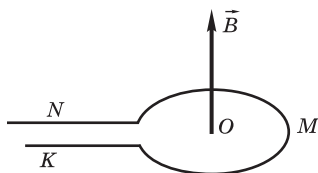


Рис. 83

16.1. Определите направление тока, если известно направление вектора индукции магнитного поля в центре кругового проводника с током (рис. 83).

16.2. Определите направление линий индукции магнитного поля тока, текущего по рамке (рис. 84), и изобразите их.

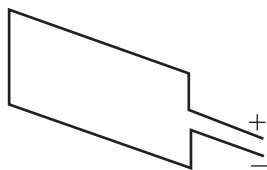


Рис. 84

16.3. Под каким углом к линиям индукции расположен прямолинейный проводник в однородном магнитном поле индукцией 15 Тл, если на каждые 10 см длины проводника действует сила, равная 3 Н, и по нему проходит ток 4 А?

16.4. Проводник, активная длина которого 0,4 м, расположен перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Определите индукцию магнитного поля, если на проводник действует сила 1,6 Н, когда по нему проходит ток 0,8 А.

16.5. Определите индукцию однородного магнитного поля, в котором на прямой провод длиной 0,5 м, расположенный под углом 30° к линиям индукции, действует сила 9 Н, когда по проводнику проходит ток 3 А.

16.6. Определите направление тока в прямолинейном проводнике, если направление вектора индукции магнитного поля этого тока в точке, взятой вне проводника, показано на рис. 85.

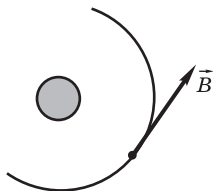


Рис. 85

16.7. Под каким углом к линиям индукции однородного магнитного поля должен быть расположен проводник с активной длиной 0,4 м, чтобы поле индукцией 0,8 Тл действовало на проводник силой 1,6 Н, если по нему проходит ток 5 А?

16.8. На проводник с активной длиной 0,5 м, помещенный в однородное магнитное поле индукцией 3 Тл, действует сила 6 Н. Определите силу тока в проводнике при условии, что он расположен перпендикулярно линиям индукции.

16.9. Определите длину активной части прямолинейного проводника, помещенного в однородное магнитное поле индукцией $1,2 \text{ Тл}$ под углом 30° к линиям индукции, если при силе тока 10 А на проводник действует сила $1,8 \text{ Н}$.

16.10. По данным рис. 86 определите силу взаимодействия между параллельными проводниками с токами. Токи одного или различных направлений проходят по проводникам?

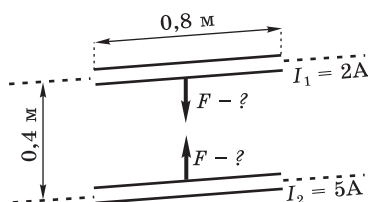


Рис. 86

16.11. На каком расстоянии от прямолинейного провода, по которому течет ток 12 А , индукция магнитного поля равна $6 \cdot 10^{-6} \text{ Тл}$?

16.12. Определите силу тока в двухпроводной линии постоянного тока, если сила взаимодействия между проводами на каждый метр длины равна 10^{-4} Н , а расстояние между проводниками 20 см .

16.13. В однородном магнитном поле индукцией 2 Тл находится прямолинейный проводник длиной $0,1 \text{ м}$, на который действует сила $0,8 \text{ Н}$. Определите угол между направлением тока в проводнике и вектором индукции магнитного поля, если сила тока в проводнике 4 А .

16.14. Катушка длиной $12,56 \text{ см}$ имеет 5000 витков. Какой ток необходимо пропустить через катушку, чтобы индукция магнитного поля на ее оси была равна 1 Тл ?

16.15. На проводник с активной длиной $0,5 \text{ м}$, помещенный в однородное магнитное поле индукцией $0,4 \text{ Тл}$,

действует сила 2 Н. Определите силу тока в проводнике, если он расположен перпендикулярно линиям индукции магнитного поля.

17. Магнитный поток.

Работа при перемещении проводника с током в магнитном поле

17.1. Какой ток проходит по кольцевому проводнику радиусом 10 см, если его магнитный момент равен $25,12 \cdot 10^{-2} \text{ А} \cdot \text{м}^2$?

17.2. Какую работу совершит электрический ток 5 А, проходящий по прямолинейному проводнику MN , помещенному в однородное магнитное поле индукцией $B = 4 \text{ Тл}$ и движущемуся со скоростью v (рис. 87).

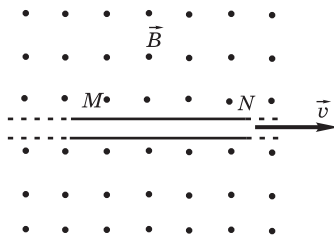


Рис. 87

17.3. Определите радиус плоской катушки, имеющей 200 витков, если при токе 4 А ее магнитный момент равен $25,12 \cdot 10^{-2} \text{ А} \cdot \text{м}^2$.

17.4. Определите магнитный поток, пронизывающий плоский контур площадью 200 см^2 , расположенный перпендикулярно линиям магнитной индукции, если индукция однородного поля равна 25 Тл.

17.5. Определите вращающий момент плоского контура прямоугольной формы со сторонами 10 и 20 см, помещенного в однородное магнитное поле индукцией 5 Тл. По контуру проходит ток 2 А. Угол между вектором магнитного момента и вектором индукции магнитного поля 45° .

17.6. Прямолинейный проводник MN длиной 2 м, по которому проходит постоянный ток $I = 4,5$ А, находится в однородном магнитном поле индукцией $B = 0,5$ Тл перпендикулярно линиям индукции (рис. 88). Определите работу сил электрического тока, совершенную при перемещении проводника MN в положение M_1N_1 , если $MM_1 = r = 20$ см.

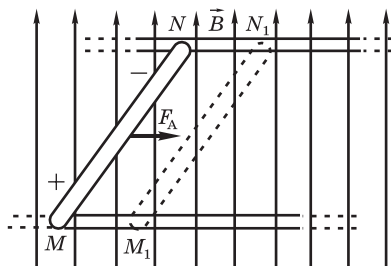


Рис. 88

17.7. Из провода изготовлена катушка длиной 6,28 см. Определите магнитный поток внутри катушки, если ее радиус равен 1 см и она содержит 200 витков. По катушке проходит ток 1 А. Магнитное поле внутри катушки считать однородным.

18. Действие магнитного и электрического полей на движущийся заряд

18.1. Электрон влетает в однородное магнитное поле, индукция которого 0,5 Тл, со скоростью 20 000 км/с перпендикулярно линиям индукции. Определите силу, с которой магнитное поле действует на электрон.

18.2. Электрон влетает в однородное магнитное поле, индукция которого 0,05 Тл, перпендикулярно линиям индукции со скоростью 40 000 км/с. Определите радиус кривизны траектории электрона.

18.3. Ядро атома гелия (α -частица) влетает в однородное магнитное поле индукцией 1 Тл со скоростью $5 \cdot 10^6$ м/с перпендикулярно линиям индукции. Определите радиус окружности, по которой движется частица. Заряд α -частицы $3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса $6,65 \cdot 10^{-27}$ кг.

18.4. Определите направление вектора индукции B однородного магнитного поля, если известно, что электрон, влетевший в магнитное поле перпендикулярно линиям индукции, двигался по траектории, показанной на рис. 89.

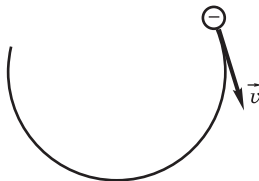


Рис. 89

18.5. Двухвалентный ион движется со скоростью 481 км/с в однородном магнитном поле индукцией 0,1 Тл. Определите массу иона, если он описывает окружность радиусом 10 см.

18.6. Протон, выброшенный Солнцем, входит во внешний радиационный пояс Земли со скоростью 400 км/с под углом 30° к линиям индукции. Определите первоначальный радиус винтовой траектории протона, если индукция геомагнитного поля 10^{-6} Тл. Сделайте рисунок, выведите формулу.

18.7. Электрон из состояния покоя ускоряется электрическим полем с напряженностью 455 Н/Кл. С каким ускорением движется электрон?

18.8. На высоте 50—60 тыс. км над поверхностью Земли находится радиационный пояс, состоящий из электронов, создающих кольцевой ток в несколько миллионов ампер. Определите магнитный момент этого кольцевого тока, если радиус кольца (от центра Земли) 55 тыс. км и сила тока $4 \cdot 10^6$ А.

19. Закон электрической индукции.

Правило Ленца

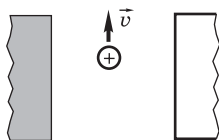


Рис. 90

19.1. Определите полюсы постоянного магнита, если при движении проводника вверх в нем возникает индукционный ток, направленный от нас (рис. 90).

19.2. Сложенная вдвое проволока движется в магнитном поле перпендикулярно его линиям индукции, как показано на рис. 91. Возникает ли ЭДС индукции в проволоке? Объясните.

19.3. В проводнике, движущемся перпендикулярно линиям индукции магнитного поля, возникает индукционный ток, имеющий направление, показанное на рис. 92. В каком направлении движется проводник?

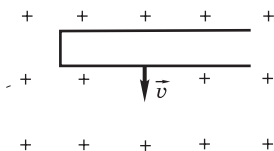


Рис. 91

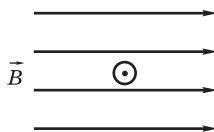


Рис. 92

19.4. Под каким углом к линиям индукции однородного магнитного поля индукцией 0,5 Тл надо перемещать проводник длиной 0,4 м со скоростью 15 м/с, чтобы в нем возникла ЭДС 2,12 В?

19.5. С какой скоростью движется проводник в воздухе перпендикулярно линиям индукции магнитного поля, индуктивность которого 1 Тл, если на концах проводника длиной 0,6 м возникла разность потенциалов 3 В?

19.6. Какую длину активной части должен иметь проводник, чтобы при перемещении его со скоростью 30 м/с

перпендикулярно вектору магнитной индукции, равной 0,6 Тл, в нем возбуждалась ЭДС индукции 45 В?

19.7. Определите ЭДС индукции в проводящем контуре, который находится в переменном магнитном поле, изменяющемся со скоростью 4 Вб/с.

19.8. На рис. 93 изображены линии напряженности вихревого электрического поля. Определите направление линий индукции магнитного поля.

19.9. На рис. 94 изображены линии индукции магнитного поля. Определите направление линий напряженности вихревого электрического поля.

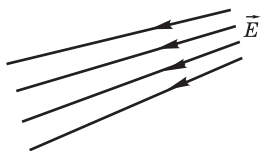


Рис. 93

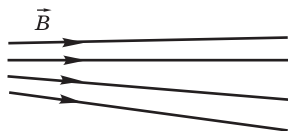


Рис. 94

19.10. Определите магнитный поток, проходящий сквозь солнечное пятно площадью $1,2 \cdot 10^{15} \text{ м}^2$, если средняя индукция магнитного поля пятна равна 0,3 Тл. Линии индукции магнитного поля пятна перпендикулярны его поверхности.

19.11. Определите направление индукционного тока в кольце, если к нему приближать или от него удалять постоянный магнит, как показано на рис. 95.

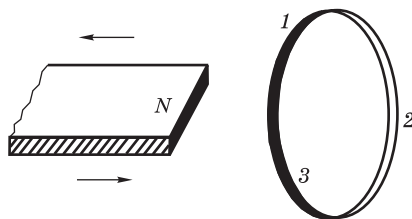


Рис. 95

19.12. Солнечное пятно, площадь поверхности которого $5 \cdot 10^{11} \text{ м}^2$, пронизывается магнитным потоком $2 \cdot 10^{11} \text{ Вб}$. Определите индукцию магнитного поля пятна.

20. Самоиндукция.

Энергия магнитного поля

20.1. Электромагнит индуктивностью 5 Гн подключен к источнику тока, ЭДС которого 110 В . Определите общую ЭДС в момент размыкания цепи, если сила тока при этом убывает со скоростью 8 А/с .

20.2. Требуется изготовить катушку длиной $6,28 \text{ см}$ и площадью поперечного сечения 40 см^2 с индуктивностью $0,02 \text{ Гн}$. Сколько витков должна иметь эта катушка?

20.3. Определите модуль ЭДС самоиндукции, которая возбуждается в обмотке электромагнита индуктивностью $0,5 \text{ Гн}$ при равномерном изменении в ней силы тока на 6 А за каждые $0,03 \text{ с}$.

20.4. Определите скорость изменения силы тока в обмотке электромагнита индуктивностью 4 Гн , если в ней возбуждается ЭДС самоиндукции, равная 100 В .

20.5. Определите индуктивность витка проволоки, если при силе тока 5 А создается магнитный поток, равный $0,2 \text{ Вб}$.

20.6. По катушке индуктивностью 5 Гн проходит ток 4 А . Определите магнитный поток внутри катушки, если ее обмотка состоит из 500 витков.

20.7. Индуктивность катушки с железным сердечником равна 25 Гн . Определите ЭДС самоиндукции в момент размыкания цепи, если скорость изменения силы тока в ней равна 100 А/с .

20.8. Определите энергию магнитного поля катушки индуктивностью $0,8 \text{ Гн}$, когда по ней проходит ток 4 А .

Колебания и волны

1. Механические колебания

1.1. Дано уравнение колебательного движения: $x = 0,3 \sin 15,7t$. Определите амплитуду и период колебания.

1.2. Дано уравнение гармонического колебания точки: $x = 0,05 \sin 1,57t$. Определите ее амплитуду и частоту колебания.

1.3. Как надо изменить длину математического маятника, чтобы его период колебания уменьшился в 3 раза?

1.4. Математический маятник длиной 81 см совершает 100 полных колебаний за 3 мин. Определите ускорение свободного падения.

1.5. Ускорение свободного падения на поверхности Марса $g_M = 3,7 \text{ м/с}^2$. Какой длины должен быть математический маятник, чтобы период его колебания на Марсе был равен 1 с?

1.6. Период колебания одного маятника 0,4 с, другого 0,5 с. Оба маятника приведены в колебание при одинаковых начальных фазах. Через какой период времени оба маятника будут совершать колебания в одинаковых фазах?

1.7. Средняя потеря энергии при одном полном колебании материальной точки составляет 0,0002 Дж. Сколько полных колебаний она совершит, если при смещении от положения равновесия ее энергия увеличилась на 0,1 Дж?

1.8. По данным, указанным на рис. 96, определите среднюю потерю энергии колеблющегося тела при одном полном колебании, если тело совершило 392 пол-

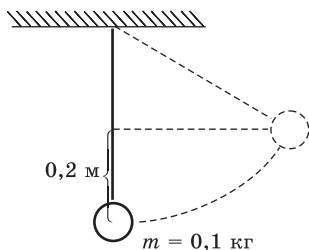


Рис. 96

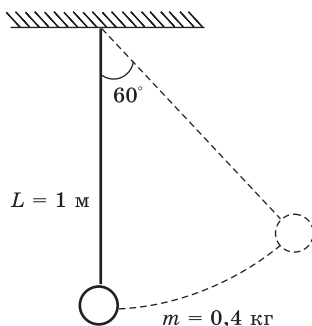


Рис. 97

ных колебания до остановки. (На рисунке показана амплитуда в начале колебания.)

1.9. По данным, указанным на рис. 97, определите среднюю потерю энергии колеблющегося тела при одном полном колебании, если тело совершило 490 колебаний (полных) до остановки. (На рисунке изображена амплитуда в начале колебания.)

2. Волновое движение

2.1. Ультразвуковая волна с частотой 2 МГц распространяется в плексигласе со скоростью 2,8 км/с. Определите длину волны.

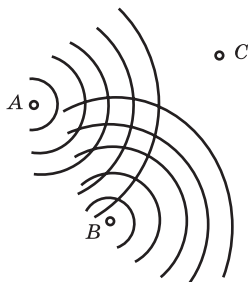


Рис. 98

2.2. Какой путь пройдет ультразвуковая волна длиной 5 см за 0,001 с, если генератор, испускающий эти волны, работает на частоте 1 МГц?

2.3. В точках A и B (рис. 98) находятся вибраторы, излучающие когерентные волны длиной 0,6 м. Будет усиление или ослабление колебания в точке C, если $AC = 14,2$ м и $BC = 17,8$ м?

2.4. В точках A и B (рис. 99) находятся вибраторы, излучающие когерентные волны длиной $1,2$ м. Будет усиление или ослабление колебания в точке C , если $AC = 20,02$ м, $BC = 17,98$ м?

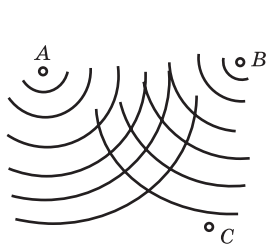


Рис. 99

2.5. В точках A и B (рис. 100) находятся вибраторы, излучающие когерентные волны длиной $2,4$ м. Будет усиление или ослабление колебаний в точке C , если $AC = 36$ м, $BC = 82,8$ м?

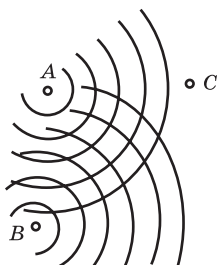


Рис. 100

2.6. Частота собственных колебаний доски, положенной через ручей, равна $0,5$ Гц. Наступит ли явление резонанса, если по доске будет проходить человек, делающий 6 шагов за 3 с?

2.7. Какова частота ультразвукового генератора, если посылаемый им импульс, содержащий 300 волн, продолжается $0,003$ с?

2.8. Период собственных колебаний электродвигателя равен $0,04$ с. Определите резонансную частоту электродвигателя.

2.9. Две волны, полученные на воде, распространяются навстречу друг другу. Что можно наблюдать в точках схождения волн, если разность волновых путей равна: а) $8,4$ м; б) $10,85$ м? Длина каждой волны 70 см.

3. Электромагнитные колебания.

Колебательный контур

3.1. Собственная частота электромагнитных колебаний в контуре 5,3 кГц. Определите индуктивность катушки, если емкость конденсатора 6 мкФ.

3.2. В колебательном контуре конденсатор емкостью 50 нФ заряжен до максимального напряжения 100 В. Определите собственную частоту колебаний в контуре, если максимальная сила тока в контуре равна 0,2 А. Сопротивление контура принять равным нулю.

3.3. Определите период и частоту собственных колебаний контура, если его индуктивность 0,4 Гн, а емкость 90 пФ.

3.4. В колебательном контуре индуктивностью 0,5 мГн максимальное напряжение на обкладках конденсатора равно 200 В. Определите период собственных колебаний контура, если максимальная сила тока в контуре 0,2 А.

3.5. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 10 мГн и конденсатора емкостью 1 мкФ. Конденсатор заряжен при максимальном напряжении 200 В. Определите максимальный заряд конденсатора и максимальную силу тока в контуре.

3.6. Необходимо изготовить колебательный контур, собственная частота которого должна быть 15,0 кГц. Конденсатор какой емкости следует подобрать, если имеется катушка индуктивностью 1 мГн?

3.7. Изменение силы тока в колебательном контуре происходит по закону $i = 0,6 \sin 628t$. Определите амплитудное значение силы тока, период собственных колебаний контура и силу тока при $t = 0,01$ с.

3.8. В колебательном контуре происходят незатухающие электромагнитные колебания. Определите максимальную силу тока в контуре, если емкость конденсатора $C = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$, индуктивность катушки $L = 5 \text{ Гн}$ и заряд конденсатора изменяется по гармоническому закону $Q = 3 \cdot 10^{-4} \sin \omega t$.

3.9. В колебательном контуре совершаются незатухающие электромагнитные колебания. Напишите уравнение изменения силы тока в контуре, если заряд конденсатора контура изменяется по гармоническому закону $Q = 4 \cdot 10^{-5} \sin 1000\pi t$.

3.10. В колебательном контуре совершаются незатухающие электромагнитные колебания. Определите силу тока в контуре при $t = \frac{1}{300} \text{ с}$ от начала отсчета, если заряд конденсатора контура изменяется по гармоническому закону $Q = 6 \cdot 10^{-3} \sin 100\pi t$.

3.11. В колебательном контуре совершаются незатухающие электромагнитные колебания. Определите силу тока в контуре при $t = 0,01 \text{ с}$ от начала отсчета, если заряд конденсатора изменяется по гармоническому закону $Q = 4 \cdot 10^{-3} \sin 100\pi t$.

3.12. В колебательном контуре совершаются незатухающие электромагнитные колебания. Определите силу тока в контуре при $t = 0,03 \text{ с}$ от начала отсчета, если заряд конденсатора изменяется по гармоническому закону $Q = 8 \cdot 10^{-4} \sin 500\pi t$.

4. Вынужденные электрические колебания. Переменный ток

4.1. В рамке, равномерно вращающейся в однородном магнитном поле, индуцируется ток, мгновенное значение которого выражается уравнением $i = 3 \sin 157t$.

Определите амплитудное и действующее значения силы тока, период и частоту тока, мгновенное значение силы тока при $t = 0,01$ с.

4.2. Напишите уравнение мгновенного изменения ЭДС индукции, возникающей в витке при равномерном его вращении в однородном магнитном поле, если через $\frac{1}{600}$ с после прохождения витком момента, при котором ЭДС равна нулю, мгновенное значение ЭДС становится равным 5 В. Период вращения витка равен 0,02 с.

4.3. Магнитный поток в рамке, состоящей из 1000 витков и равномерно вращающейся в однородном магнитном поле, изменяется по закону $\Phi = 10^{-4} \cos 314t$. Найдите зависимость мгновенной ЭДС индукции, возникающей в рамке, от времени. Определите амплитудное значение ЭДС, период и частоту тока.

4.4. Определите частоту переменного тока, если конденсатор электроемкостью 500 мкФ имеет емкостное сопротивление 0,3 Ом.

4.5. Резонансная частота колебательного контура равна 1 кГц. Определите индуктивность катушки, если электроемкость конденсатора контура 4 нФ.

4.6. Конденсатор электроемкостью 400 мкФ включен в сеть переменного тока с частотой 50 Гц. Определите емкостное сопротивление конденсатора.

4.7. Определите электроемкость конденсатора, если при прохождении через него промышленного переменного тока его емкостное сопротивление оказалось равным 318 Ом.

4.8. При какой частоте переменного тока наступит резонанс напряжений в цепи, состоящей из последовательно соединенных катушки индуктивностью 0,5 Гн и конденсатора электроемкостью 200 мкФ? Активное сопротивление принять равным нулю.

4.9. Катушка индуктивностью 0,8 Гн включена в сеть промышленного переменного тока. Определите индуктивное сопротивление катушки.

5. Трансформатор

5.1. Первичная обмотка трансформатора имеет 500 витков, вторичная — 50 витков. В первичной обмотке сила тока изменяется по закону $i_1 = 0,2 \sin 100\pi t$. По какому закону изменяется сила тока во вторичной обмотке в рабочем режиме трансформатора? Считать, что токи в первичной и вторичной обмотках совершают колебания в одинаковых фазах.

5.2. Если коэффициент трансформации равен 15, то какая обмотка — первичная или вторичная — должна иметь большее сечение проводов? Почему?

5.3. Первичная обмотка трансформатора имеет 900 витков. Сколько витков имеет вторичная обмотка трансформатора, если коэффициент трансформации равен 4,5?

5.4. Первичная обмотка трансформатора содержит 1600 витков, вторичная — 50 витков. Какова сила тока во вторичной обмотке, если в первичной обмотке она равна 0,2 А?

5.5. Сила тока в первичной обмотке трансформатора $I_1 = 4,4$ А, напряжение на ее зажимах $U_1 = 220$ В. Сила тока во вторичной обмотке $I_2 = 1,2$ А, напряжение на ее зажимах $U_2 = 770$ В. Определите КПД трансформатора при $\cos \varphi = 1$.

5.6. Для определения числа витков в первичной и вторичной обмотках трансформатора без их вскрытия поверх вторичной обмотки намотали $w_3 = 60$ витков и после включения первичной обмотки в цепь с напряжением $U_1 = 220$ В определили напряжение на вторичной обмотке $U_2 = 55$ В и на измерительной обмотке $U_3 =$

= 44 В. Определите число витков в первичной и вторичной обмотках и коэффициент трансформации.

5.7. Входное напряжение на зажимах первичной обмотки трансформатора 35 кВ, выходное напряжение на зажимах вторичной обмотки 6 кВ. Определите коэффициент трансформации.

5.8. Сила тока в первичной обмотке 8 А, напряжение 220 В. Определите КПД трансформатора, если во вторичной обмотке сила тока 0,5 А и напряжение на ее зажимах 3200 В.

5.9. Что произойдет с трансформатором, рассчитанным на напряжение первичной цепи 110 В, если включить его в цепь постоянного тока того же напряжения?

6. Электромагнитные волны и их свойства

6.1. Определите частоту электромагнитных волн в воздухе, длина которых равна 2 см.

6.2. Радиопередатчик работает на частоте 6 МГц. Сколько волн укладывается на расстоянии 100 км по направлению распространения радиосигнала?

6.3. На какую длину волн будет резонировать колебательный контур, в котором индуктивность катушки 8 мкГн, а емкость конденсатора 20 нФ?

6.4. Направления каких векторов электромагнитной волны — $\vec{B}$, $\vec{E}$ или $\vec{v}$ на рис. 101, a – $в$ не показаны? Начертите эти векторы.

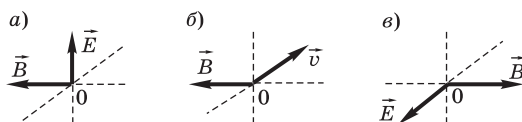


Рис. 101

6.5. Определите длину волны передающей радиостанции, работающей на частоте 3 МГц.

7. Электромагнитная природа света

7.1. Как распространяется свет в оптически однородной среде?

7.2. Длина волны фиолетового света в вакууме 400 нм. Определите длину волны этого излучения в топазе, если его абсолютный показатель преломления равен 1,63.

7.3. С какой скоростью распространяются электромагнитные волны в кедровом масле, абсолютный показатель преломления которого равен 1,516?

7.4. Определите абсолютный показатель преломления среды, в которой свет распространяется со скоростью 200 000 км/с.

8. Волновые свойства света

8.1. Могут ли две разноцветные световые волны, например красного и зеленого излучений, иметь одинаковые длины волн? Если могут, то при каких условиях? Выполните расчет для красного излучения с длиной волны $\lambda_{\text{кр}} = 760$ нм и зеленого излучения с длиной волны $\lambda_{\text{з}} = 570$ нм.

8.2. Определите четыре наименьшие толщины прозрачной пленки, показатель преломления которой 1,5, чтобы при освещении их перпендикулярными красными лучами с длиной волны 750 нм они были видны в отраженном свете красными.

8.3. При освещении кварцевого клина с очень малым углом, равным $10''$, монохроматическими лучами с дли-

ной волны 500 нм, перпендикулярными его поверхности, наблюдаются интерференционные полосы. Найдите расстояние между этими полосами (1 рад = 206 265").

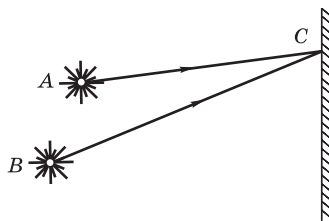


Рис. 102

8.4. На рис. 102 AC и BC — когерентные лучи, длина которых 540 нм. Какая интерференционная картина будет наблюдаться на экране в точке C, удаленной от источников света на расстоянии AC = 4 м и BC = 4,27 м?

8.5. На тонкую пленку ($n = 1,5$) перпендикулярно ее поверхности направлен параллельный пучок желтых лучей ($\lambda = 600$ нм). При какой наименьшей толщине пленки в отраженном свете будет казаться желтой?

8.6. Световая волна длиной 500 нм падает перпендикулярно на прозрачную поверхность стеклянного клина ($n = 1,5$). В отраженном свете наблюдается система интерференционных полос. Определите угол между гранями клина, если расстояние между соседними темными полосами $a = 2$ мм (1 рад = 206 265").

8.7. Два когерентных луча с длинами волн 404 нм пересекаются на экране в одной точке. Что будет наблюдаться в этой точке — усиление или ослабление света, если оптическая разность хода лучей равна 17,17 мкм?

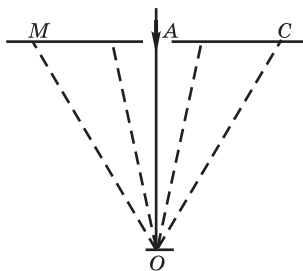


Рис. 103

8.8. На рис. 103 дана схема расположения дифракционной решетки O, экрана MC с щелью A и дифракционных максимумов монохроматического луча AO с длиной волны 590 нм. Определите постоянную дифракционной решетки,

если максимум второго порядка находится в точке C , $AC = 5,9$ см, $AO = 1$ м.

8.9. Определите длину световой волны λ_1 , если в дифракционном спектре ее линия второго порядка совпадает с положением линии спектра третьего порядка световой волны $\lambda_2 = 400$ нм.

8.10. На дифракционную решетку, постоянная которой равна $0,01$ мм, направлена монохроматическая волна. Первый дифракционный максимум получен на экране смещенным на 3 см от первоначального направления света. Определите длину волны монохроматического излучения, если расстояние между экраном и решеткой равно 70 см.

8.11. Световая волна длиной 530 нм падает перпендикулярно на прозрачную дифракционную решетку, постоянная которой равна $1,8$ мкм. Определите угол дифракции, при котором образуется максимум наибольшего порядка.

8.12. Угол полной поляризации при падении луча на поверхность некоторой жидкости оказался равным 53° . Что это за жидкость?

8.13. Угол полной поляризации при падении луча на грань топаза равен $50^\circ 30'$. Определите показатель преломления топаза.

8.14. При каком условии происходит полная поляризация луча, отраженного от поверхности прозрачного вещества? Определите углы падения и преломления при полной поляризации отраженного луча от поверхности глицерина ($n = 1,47$).

8.15. Одинаковы ли скорости распространения красного и фиолетового излучений в вакууме? в воде? Объясните.

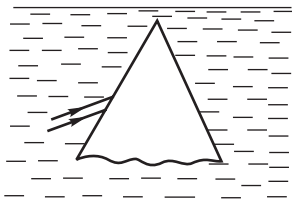


Рис. 104

8.16. Белый световой пучок проходит сквозь призму, показатель преломления вещества которой меньше показателя преломления окружающей среды (рис. 104). Будет ли наблюдаться дисперсия этого пучка и как будут располагаться цветные лучи в спектре?

8.17. В вакууме длина волны синего луча $\lambda_c = 460$ нм, желтого $\lambda_{ж} = 380$ нм. Показатель преломления какого луча больше при прохождении их сквозь стеклянную призму? Объясните.

8.18. Показатель преломления воды при 20°C для различных монохроматических лучей видимого излучения находится в интервале от 1,3308 до 1,3428. Какое из этих значений является показателем преломления фиолетовых лучей? Почему?

Квантовая физика

1. Энергия кванта

1.1. Определите энергию кванта зеленого света, длина волны которого в вакууме 510 нм.

1.2. Определите частоту электромагнитного излучения, энергия кванта которого равна $3,31 \cdot 10^{-19}$ Дж. Вызовет ли это излучение световое ощущение у человека?

1.3. Сколько фотонов находится в 1 мм красного излучения, частота которого $4 \cdot 10^{14}$ Гц?

1.4. Вызовет ли световое ощущение у человека электромагнитное излучение, частота колебаний которого 10^{14} Гц? 10^{15} Гц?

1.5. Во сколько раз энергия кванта излучения фиолетового света больше энергии кванта излучения красного света, если длина волны в вакууме фиолетового света $\lambda_{\text{ф}} = 400$ нм, а красного $\lambda_{\text{к}} = 750$ нм?

2. Тепловое излучение

2.1. Определите энергию кванта гамма-излучения, длина волны которого $\lambda = 0,1$ нм.

2.2. Какова должна быть температура источника света, чтобы максимум энергии излучения приходился на рентгеновское излучение с длиной волны 30 нм?

2.3. Определите энергетическую светимость белой звезды спектрального класса А, если температура ее атмосферы $T = 10\,000$ К.

2.4. Во сколько раз увеличится энергетическая светимость черного тела при изменении его температуры от 700 до 2100 К?

2.5. Во сколько раз энергетическая светимость голубой звезды спектрального класса О, температура атмосферы которой 30 000 К, больше энергетической светимости желтой звезды спектрального класса G, температура атмосферы которой 6000 К?

2.6. Определите энергию, излучаемую желтой звездой спектрального класса G (например, Солнцем) с поверхности площадью 1 м^2 за 1 с, если температура ее поверхности 6000 К.

2.7. Определите длину волны, на которую приходится максимум энергии в спектре оранжевой звезды спектрального класса K, если температура ее атмосферы $T = 4000$ К. В какой части спектра электромагнитных излучений находится эта волна?

2.8. Температура черного тела 300 К. Определите энергетическую светимость этого тела.

2.9. Определите длину волны, на которую приходится максимум энергии в спектре белой звезды спектрального класса А, если температура ее атмосферы 15 000 К. В какой части спектра электромагнитных излучений находится эта волна?

3. Фотоэлектрический эффект

3.1. Определите максимальную скорость вылета фотоэлектронов из калия, работа выхода электронов которого равна 2,26 эВ, при освещении его ультрафиолетовым излучением с длиной волны 200 нм. Масса электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

3.2. Красная граница фотоэффекта у натрия, напыленного на вольфраме, равна 590 нм. Определите работу выхода электронов.

3.3. Работа выхода электронов из кадмия равна 4,08 эВ. Какой должна быть длина волны излучения, падающего на кадмий, чтобы при фотоэффекте максимальная скорость фотоэлектронов была равна $2 \cdot 10^6$ м/с? Масса электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

3.4. Сколько квантов красного излучения с длиной волны 728,2 нм имеют массу 1 г?

3.5. Работа выхода электронов у золота равна 4,59 эВ. Определите поверхностный скачок потенциала у золота.

3.6. Определите максимальную кинетическую энергию фотоэлектрона калия при его освещении лучами с длиной волны 400 нм, если работа выхода электронов у калия равна 2,26 эВ.

4. Эффект Комптона. Давление света

4.1. Определите угол между первоначальным направлением светового пучка и направлением комптоновского рас-

сеяния фотонов на покоящихся электронах, если длина волны фотонов первоначального пучка $\lambda = 4 \cdot 10^{-11}$ м, а длина волны рассеянных фотонов $\lambda' = 4,04 \cdot 10^{-11}$ м. Комптоновская длина волны электрона $\lambda_0 = 2,426 \cdot 10^{-12}$ м.

4.2. Определите длину волны ультрафиолетового излучения, импульс кванта которого при полном поглощении равен $3 \cdot 10^{-27}$ Н·с.

4.3. На каждый квадратный сантиметр поверхности, полностью поглощающей световое излучение, каждую секунду падает $3 \cdot 10^{18}$ фотонов оранжевого излучения с длиной волны 600 нм. Какое давление создает это излучение?

4.4. Определите частоту колебаний световой волны, масса фотона которой $3,31 \cdot 10^{-36}$ кг.

4.5. Определите импульс фотона красного излучения, длина волны которого 720 нм, при его полном поглощении и при полном отражении телом.

4.6. Угол между первоначальным направлением светового пучка и направлением комптоновского рассеяния фотонов на неподвижных электронах равен 38° . На сколько больше длина волны рассеянного излучения длины волны первоначального излучения? Комптоновская длина волны электрона $\lambda_0 = 2,426 \cdot 10^{-12}$ м.

4.7. Определите длину волны видимого излучения, масса фотона которого равна $4 \cdot 10^{-36}$ кг.

4.8. Плотность потока солнечного излучения, приходящего на Землю, равна $1,4 \cdot 10^3$ Вт/м². Какое световое давление производит солнечное излучение на поверхность, коэффициент отражения которой равен единице (идеально зеркальная поверхность)?

4.9. Какой массе эквивалентна энергия $4,5 \cdot 10^{18}$ Дж?

4.10. На каждый квадратный сантиметр поверхности, полностью отражающей зеленое световое излучение

с длиной волны 540 нм, каждую секунду падает $2,7 \cdot 10^{17}$ фотонов. Какое давление создает это излучение?

4.11. Определите длину волны электромагнитного излучения, энергия кванта которого равна энергии покоя электрона. Масса покоя электрона равна $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

4.12. Плотность потока солнечного излучения, приходящего на Землю, равна $1,4 \cdot 10^3$ Вт/м². Вычислите световое давление на поверхность, которая полностью поглощает солнечное излучение.

4.13. Определите импульс кванта рентгеновского излучения, длина волны которого 5 нм, при его полном поглощении.

4.14. Наступит ли фотохимическая реакция в веществе, которое поглощает инфракрасное излучение с длиной волны 2 мкм? Энергия активации молекул $E_a = 2 \cdot 10^{-19}$ Дж/молекул.

5. Постулаты Бора.

Излучение и поглощение энергии атомом

5.1. Определите длину волны излучения, поглощенную атомом водорода при переходе его электрона со второй стационарной орбиты на четвертую, если энергия атома водорода в нормальном состоянии $E_1 = -13,53$ эВ.

5.2. Энергия атома водорода в нормальном состоянии $E_1 = -13,53$ эВ. Определите энергию кванта и длину волны излучения, поглощенного атомом водорода, если при этом электрон перешел с первого на третий энергетический уровень.

5.3. Какой длины волну электромагнитного излучения поглотил атом водорода, если он при этом перешел со второго на третий энергетический уровень? Энергия атома водорода в нормальном состоянии $E_1 = -13,53$ эВ.

5.4. Определите радиус орбиты электрона в атоме водорода, соответствующий его четвертому энергетическому уровню. Радиус орбиты электрона в нормальном состоянии атома $r_1 = 0,528 \cdot 10^{-10}$ м.

5.5. Определите минимальную энергию возбуждения атома водорода, если его энергия в нормальном состоянии $E_1 = -13,53$ эВ.

5.6. При облучении люминофора ультрафиолетовым излучением с длиной волны 200 нм возникает видимое излучение с длиной волны 500 нм. Какая часть энергии поглощенного кванта ϵ израсходована на неоптические процессы?

5.7. При катодолюминесценции электрон ускоряется электрическим полем при напряжении 100 В. Определите длину волны люминесцентного свечения, если в излучение перешло 2% кинетической энергии электрона.

5.8. При облучении люминофора ультрафиолетовым излучением с длиной волны $\lambda_{\text{н}} = 300$ нм возникает видимое излучение со средней длиной волны $\lambda_{\text{в}} = 480$ нм. Какая часть энергии поглощения превращается в энергию видимого излучения в данном люминофоре?

5.9. При катодолюминесценции электрон в момент удара об анод имеет скорость $2 \cdot 10^6$ м/с. Определите длину волны люминесцентного излучения, если в него переходит 20% кинетической энергии электрона. Масса электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

6. Естественная радиоактивность

6.1. За какое время в препарате с постоянной активностью $A = 15$ МБк распадается $N = 3 \cdot 10^9$ ядер атомов?

6.2. Имеется 4 г радиоактивного кобальта. Сколько граммов кобальта распадается за 216 сут, если его период полураспада 72 сут?

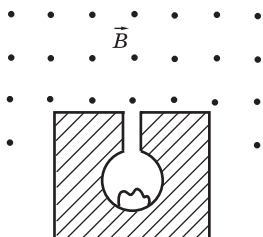


Рис. 105

6.3. На рис. 105 изображены положение кусочка урана и направление линий индукции однородного магнитного поля. Определите направление отклонения потоков α - и β -частиц и γ -излучения.

6.4. Имеется 8 кг радиоактивного цезия. Определите массу нераспавшегося цезия после 135 лет

радиоактивного распада, если его период полураспада 27 лет.

6.5. Какова активность радиоактивного распада, если за 100 с происходит $5 \cdot 10^4$ распадов ядер атомов?

6.6. Сколько ядер атомов радиоактивного кальция распадается за сутки из миллиона атомов, если период полураспада кальция равен 164 сут?

6.7. Имелось некоторое количество радиоактивного изотопа серебра. Масса радиоактивного серебра уменьшилась в 8 раз за 810 суток. Определите период полураспада радиоактивного серебра.

7. Атомное ядро

7.1. Какой изотоп образуется из радиоактивного изотопа лития ${}^8_3\text{Li}$ после одного α -распада и одного β -распада?

7.2. Дополните ядерную реакцию, протекающую под действием протонов: ${}^{55}_{25}\text{Mn} + {}^1_1\text{H} \rightarrow ? + {}^1_0\text{n}$.

7.3. Дополните ядерную реакцию: $X(p; \alpha) {}^{22}_{11}\text{Na}$.

7.4. Дополните ядерную реакцию, протекающую под действием нейтронов: ${}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n} \rightarrow ? + {}^4_2\text{He}$.

7.5. Дополните ядерную реакцию: ${}^{14}_7\text{N} (z; X) {}^{14}_6\text{C}$.

7.6. Какая энергия выделится при образовании ядра атома изотопа гелия ${}^3_2\text{He}$ из свободных, т. е. не взаимодействующих между собой, нуклонов, если $m_p = 1,00814$ а. е. м., $m_n = 1,00899$ а. е. м. и $m_{\text{я}} = 3,01699$ а. е. м. — соответственно массы протона, нейтрона и ядра?

7.7. Какую минимальную энергию требуется сообщить ядру атома изотопа кальция ${}^{40}_{20}\text{Ca}$, чтобы расщепить его на отдельные, не взаимодействующие между собой нуклоны, если $m_p = 1,00814$ а. е. м., $m_n = 1,00899$ а. е. м. и $m_{\text{я}} = 39,97542$ а. е. м. — соответственно массы протона, нейтрона и ядра?

7.8. Определите энергетический выход ядерной реакции ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$, если удельная энергия связи у ядра азота $e_{\text{св}}({}^{14}_7\text{N}) = 7,48$ МэВ/нуклон, у ядра гелия $e_{\text{св}}({}^4_2\text{He}) = 7,075$ МэВ/нуклон, у ядра атома изотопа кислорода $e_{\text{св}}({}^{17}_8\text{O}) = 7,75$ МэВ/нуклон.

7.9. Определите энергетический выход ядерной реакции ${}^3_2\text{He} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^2_1\text{H}$, если энергия связи у ядер атомов изотопа ${}^4_2\text{He}$ равна 28,3 МэВ, у ядер атомов изотопа ${}^3_2\text{He}$ 7,7 МэВ, у ядер атомов трития 8,5 МэВ и ядер атомов дейтерия 2,2 МэВ.

7.10. Определите энергию связи ядра атома изотопа алюминия ${}^{27}_{13}\text{Al}$, если $m_p = 1,00814$ а. е. м., $m_n = 1,00899$ а. е. м. и $m_{\text{я}} = 26,9898$ а. е. м. — соответственно массы протона, нейтрона и ядра.

7.11. Определите энергетический выход ядерной реакции ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow 2({}^4_2\text{He})$, если удельная энергия связи у ядра атома изотопа лития $e_{\text{св}}({}^7_3\text{Li}) = 5,6$ МэВ/нуклон, у гелия $e_{\text{св}}({}^4_2\text{He}) = 7,075$ МэВ/нуклон.

7.12. Определите энергетический выход ядерной реакции ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$, если энергия связи ядра изотопа гелия 7,7 МэВ, ядра атома дейтерия 2,2 МэВ.

7.13. Определите энергетический выход ядерной реакции ${}^7_3\text{Li} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^8_4\text{Be} + {}^1_0\text{n}$, если энергия связи ядра изотопа бериллия 56,4 МэВ, изотопа лития 39,2 МэВ, дейтерия 2,2 МэВ.

7.14. Определите удельную энергию связи $e_{\text{св}}$ в ядре атома изотопа урана ${}^{238}_{92}\text{U}$, если $m_p = 1,00814$ а. е. м., $m_n = 1,00899$ а. е. м. и $m_{\text{я}} = 238,12376$ а. е. м. — соответственно массы протона, нейтрона и ядра.

7.15. При реакции деления ядер урана-235 выдѣлилось $1,204 \cdot 10^{26}$ МэВ энергии. Определите массу распавшегося урана, если при делении одного ядра выделяется 200 МэВ энергии.

7.16. Выразите энергию протона в мегаэлектронвольтах. Масса протона $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

7.17. При делении одного ядра изотопа урана-235 освобождается 200 МэВ энергии. Определите энергию, которая выделится при делении всех ядер 10 кг урана. Ответ выразите в джоулях.

7.18. При реакции деления урана-235 распалась некоторая масса урана и выделилась энергия, равная $E = 2,56 \cdot 10^{28}$ МэВ. Определите массу распавшегося ура-

на, если при делении одного ядра выделяется 200 МэВ энергии.

7.19. Выразите энергию электрона в мегаэлектронвольтах. Масса электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

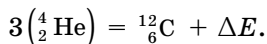
7.20. При захвате ядром ${}_{92}^{235}\text{U}$ нейтрона происходит деление его ядра на ядро стронция ${}_{38}^{94}\text{Sr}$ и ядро ксенона ${}_{54}^{140}\text{Xe}$, выбрасываются 2–3 нейтрона и выделяется энергия. Какая энергия выделится при распаде одного ядра урана, если удельная энергия связи ядра изотопа урана $e_{\text{св}}({}_{92}^{235}\text{U}) = 7,59$ МэВ/нуклон, стронция и ксенона $e_{\text{св}}({}_{38}^{94}\text{Sr}) = e_{\text{св}}({}_{54}^{140}\text{Xe}) = 8,6$ МэВ/нуклон?

8. Термоядерный синтез. Элементарные частицы

8.1. Напишите ядерную реакцию синтеза легких ядер дейтерия в ядро гелия и определите энергетический выход этой реакции.

8.2. Напишите последовательность превращения изотопа водорода ${}^1_1\text{H}$ ядра гелия при протонно-протонном цикле термоядерных реакций в звездах главной последовательности.

8.3. При температуре порядка $1,5 \cdot 10^8$ К в ядре звезды последовательности красных гигантов и сверхгигантов возможна следующая термоядерная реакция:



Определите энергетический выход этой реакции, если энергия связи ядра гелия-4 равна 28,3 МэВ, а ядра углерода-12 равна 92,2 МэВ.

8.4. Если температура в ядре звезды превышает $1,5 \cdot 10^8$ К (последовательность красных гигантов и сверхгигантов), то возможна следующая термоядерная реакция: ${}^{13}_6\text{C} + {}^4_2\text{He} = {}^{16}_8\text{O} + {}^1_0n + \Delta E$. Определите энергетический выход этой реакции, если энергия связи углерода-13 равна 97,1 МэВ, гелия-4 — 28,3 МэВ и кислорода-16 — 127,6 МэВ.

Ответы

Основы механики

1.1. 51,4 км/ч. **1.2.** 5 м/с. **1.3.** 0,28 ч; 20 км.
1.4. 8 м/с. **1.5.** 10 м/с. **1.6.** 90 км/ч. **1.7.** 30 м. **1.8.** 12 ч.
1.9. 1,5 м/с. **1.10.** 10 с.

2.1. 3 м/с²; 10 с. **2.2.** $x = 3t + t^2$. **2.3.** 16 м/с. **2.4.** 25 с.
2.5. а) 50 м; б) 22,2 м. **2.6.** 45 м. **2.7.** 51 м/с. **2.8.** -40 м/с².
2.9. Через 205 с. **2.10.** а) 10 с; 40 м; б) 45 м.

3.1. $t = 8$ с; $H = 313,6$ м. **3.2.** $t = 5$ с. **3.3.** 24,5 м.
3.4. $t = 6$ с; $H = 176,4$ м. **3.5.** При свободном падении тело за первую секунду проходит путь, численно равный половине ускорения свободного падения, а поэтому ускорение свободного падения на Юпитере равно 26 м/с².
3.6. $t = 0,25$ с. **3.7.** 1,85 м/с. **3.8.** $v_0 = 0,5$ м/с. **3.9.** $v_0 = 5$ м/с. **3.10.** $t = 10$ с.

4.1. В 24 раза. **4.2.** $R = 1,25$ м. **4.3.** $v = 1,57$ м/с; $T = 0,2$ с; $f = 5$ с⁻¹. **4.4.** $f = 100$ с⁻¹. **4.5.** Уменьшится в 2 раза. **4.6.** $\omega = 12$ рад/с. **4.7.** $R = 0,8$ м. **4.8.** 1200 об/мин.
4.9. $R = 0,4$ м.

5.1. $F_{\tau} = 696 \cdot 10^3 \text{ Н}$. 5.2. $a_2 = 0,25 \text{ м/с}^2$.
5.3. $a_2 = 0,15 \text{ м/с}^2$. 5.4. $a = 1,96 \text{ м/с}^2$. 5.5. 150 Н .
5.6. $\approx 10 \text{ т}$. 5.7. $a = -0,1 \text{ м/с}^2$; $F_{\tau} - F_{\text{тр}} = ma$.

6.1. $P_1 = 900 \text{ Н}$. 6.2. $a = 4,9 \text{ м/с}^2$. 6.3. $v_0 = 6 \text{ м/с}$.
6.4. $t = 300 \text{ с}$. 6.5. $F_{\text{торм}} = 2 \cdot 10^3 \text{ Н}$. 6.6. а) $F_1 = 600 \text{ Н}$;
б) $F_2 = 570 \text{ Н}$; в) $F_3 = 630 \text{ Н}$. 6.7. 1 м . 6.8. $27,9 \cdot 10^{-24} \text{ Н} \cdot \text{с}$.
6.9. $1,3 \text{ м/с}$; направлена в сторону движения человека.
6.10. $e = 0,89$. 6.11. $0,3 \text{ м}$.

7.1. $g = 0,4 \text{ м/с}^2$. 7.2. $v = 64 \text{ км/с}$. 7.3. $H = 19\,200 \text{ км}$.
7.4. $F = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$. 7.5. $v \approx 43 \text{ км/с}$.

8.1. $a_{\text{ц}} = 2,4 \text{ м/с}^2$. 8.2. $R = 39,2 \text{ м}$. 8.3. $v = 360 \text{ км/ч}$.
8.4. $F_{\text{ц}} = 30 \text{ кН}$. 8.5. $v = 25,2 \text{ км/ч}$. 8.6. $v = 72 \text{ км/ч}$.
8.7. $F_{\text{д}} = 49,68 \text{ кН}$. 8.8. $F_{\text{ц}} = 100 \text{ Н}$.

9.1. $a = 0,2 \text{ м/с}^2$. 9.2. $A = 120 \text{ Дж}$. 9.3. $A = 38 \text{ Дж}$.
9.4. В случае а) совершается работа, в два раза большая,
чем в случае б). 9.5. $F = 200 \text{ Н}$. 9.6. $F = 2 \text{ кН}$.
9.7. $k = 0,005$. 9.8. $N_{\text{ср}} = 600 \text{ Вт}$; $N_{\text{мгн}} = 1,2 \text{ кВт}$.
9.9. $N = 1732 \text{ Вт}$. 9.10. $\eta = 60\%$. 9.11. $t = 20 \text{ с}$.
9.12. $N \approx 42,5 \text{ кВт}$. 9.13. $\eta = 30\%$.

10.1. Увеличить в 2 раза. 10.2. $H_{\text{л}} = 490 \text{ м}$.
10.3. $\eta = 25\%$. 10.4. $s = 36 \text{ м}$. 10.5. $N_3 = 4 \text{ кВт}$.
10.6. $E_{\text{к}} = 40 \text{ Дж}$. 10.7. 25 м . 10.8. $E_{\text{ц}} = 500 \text{ Дж}$.

11.1. $v = 132\,000 \text{ км/с}$. 11.2. $l = 12 \text{ м}$. 11.3. $u'_{\text{кл}} = 0,3\text{с}$;
 $u'_{\text{рел}} = 0,5\text{с}$. 11.4. $u' = 175\,600 \text{ км/с}$. 11.5. $u'_{\text{кл}} = 1,3\text{с}$;
 $u'_{\text{рел}} = 0,93\text{с}$. 11.6. $v = 259\,800 \text{ км/с}$. 11.7. $m = 134 \text{ т}$.
11.8. $v = 240\,000 \text{ км/с}$. 11.9. $p = 3,64 \cdot 10^{-22} \text{ Н} \cdot \text{с}$.

Основы молекулярной физики и термодинамики

1.1. $m_0 = 4,65 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$. 1.2. $m_0 = 1,79 \cdot 10^{-25} \text{ кг}$.
1.3. $m_0 = 4,65 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$. 1.4. $m_0 = 3,3 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$; $N = 1,8 \cdot 10^{26}$;

$v = 300$ моль. 1.5. $N = 9,4 \cdot 10^{24}$. 1.6. В 2,6 раза. 1.7. $N = 9,4 \cdot 10^{25}$.

1.8. $N = 1,2 \cdot 10^{24}$. 1.9. $\bar{z} = 9,05 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$. 1.10. $\bar{\lambda} = 2,82 \text{ см}$.

1.11. $\bar{\lambda} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ м}$. 1.12. $\bar{\lambda}_2 = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$. 1.13. $p = 3 \cdot 10^{-22} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

1.14. $p = 2 \cdot 10^4 \text{ Па}$. 1.15. $p = 16 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

2.1. $\bar{v}_{\text{KB}} = 1830 \text{ м/с}$. 2.2. $\bar{v}_{\text{KB}} = 223,6 \text{ м/с}$. 2.3. $\bar{v}_{\text{KB}} = 447 \text{ м/с}$.

2.4. $p = 150 \text{ кПа}$. 2.5. $U_{\text{моль}} = 3360 \text{ Дж}$. 2.6. $m_0 = 5 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$.

2.7. $U = 15 \text{ МДж}$.

3.1. $v = 3,61 \cdot 10^3$ моль. 3.2. $T = 286,4 \text{ К}$. 3.3. $m = 0,142 \text{ кг}$.

3.4. $\bar{E}_k = 5,65 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$. 3.5. $m_0 = 5,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$.

3.6. $p = 138 \text{ Па}$. 3.7. $9,03 \cdot 10^{25}$. 3.8. Процесс изобарный; плотность газа уменьшилась. 3.9. Давление увеличилось.

3.10. См. рис. 106. 3.11. $T_2 = 406,25 \text{ К}$. 3.12. $V_2 = 4 \text{ м}^3$.

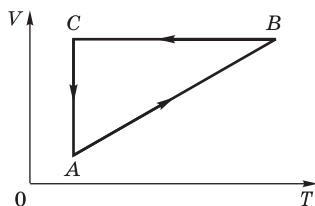


Рис. 106

3.13. $T_1 = 290 \text{ К}$. 3.14. $\Delta T = 0 \text{ К}$. 3.15. $p = 3,06 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

3.16. $\Delta T = 280 \text{ К}$. 3.17. $V_0 = 0,546 \text{ м}^3$.

4.1. $A = 20 \text{ кДж}$. 4.2. $m = 0,481 \text{ кг}$. 4.3. $A = 4,155 \text{ кДж}$; $\Delta U = 10,39 \text{ кДж}$. 4.4. $\Delta U = 49,86 \text{ кДж}$. 4.5. $\Delta U = 9,972 \text{ кДж}$.

4.6. $U = 24,93 \cdot 10^5 \text{ Дж} \approx 2,5 \text{ МДж}$. 4.7. Уменьшится на $1,247 \text{ МДж}$. 4.8. $m_2 = 85,7 \text{ кг}$. 4.9. $A = 24,93 \text{ кДж}$; $\Delta U = 62,325 \text{ кДж}$; $Q = 87,255 \text{ кДж}$. 4.10. Уменьшится на $5 \cdot 10^6 \text{ Дж}$; газ охладится. 4.11. $T_0 = 470 \text{ К}$.

4.12. $A = 4 \text{ кДж}$; $\Delta U = 10 \text{ кДж}$. 4.13. $\Delta T = 39,13 \text{ К}$.

4.14. $\Delta U = 75 \text{ кДж}$; $Q = 125 \text{ кДж}$. 4.15. $\Delta U = -6 \cdot 10^4 \text{ Дж}$.

4.16. $A = 10 \text{ кДж}$; $\Delta U = 30 \text{ кДж}$. 4.17. Увеличится на $3,88 \cdot 10^7 \text{ Дж}$; произойдет нагревание газа. 4.18. $A = 5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$; $\Delta U = 12,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$; $Q = 17,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$.

4.19. $A = 10 \text{ кДж}$; $\Delta U = 30 \text{ кДж}$. 4.20. Уменьшится на $5 \cdot 10^6 \text{ Дж}$; газ охладится. 4.21. $T_0 = 470 \text{ К}$.

4.22. $A = 4 \text{ кДж}$; $\Delta U = 10 \text{ кДж}$. 4.23. $\Delta T = 39,13 \text{ К}$.

4.24. $\Delta U = 75 \text{ кДж}$; $Q = 125 \text{ кДж}$. 4.25. $\Delta U = -6 \cdot 10^4 \text{ Дж}$.

4.26. $A = 10 \text{ кДж}$; $\Delta U = 30 \text{ кДж}$. 4.27. Увеличится на $3,88 \cdot 10^7 \text{ Дж}$; произойдет нагревание газа. 4.28. $A = 5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$; $\Delta U = 12,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$; $Q = 17,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$.

5.1. 1. Рис. 39: $1(V_2, p_1)$, $2(V_1, p_2)$, $3(V_1, p_3)$, $4(V_3, p_1)$.

2. а) Цикл прямой, потому что обход замкнутой кривой, изображающей последовательность изменений состояний газа, осуществлен по часовой стрелке;

б) $1-2$ — адиабатное сжатие, $2-3$ — изохорное нагревание, $3-4$ — адиабатное расширение, $4-1$ — изобарное охлаждение;

в) $A = S (V_1 - 3 - 4 - V_3 - V_1)$; $-A = S (V_3 - 4 - 1 - 2 - V_1 - V_3)$; $A_{\text{ц}} = S (3 - 4 - 1 - 2 - 3)$.

5.2. 1. См. рис. 107.

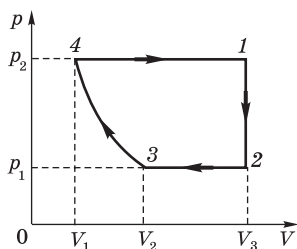


Рис. 107

2. Цикл прямой, потому что обход кривой, изображающей последовательность изменений состояний газа, осуществлен по часовой стрелке;

б) $1-2$ — изохорное охлаждение, $2-3$ — изобарное охлаждение, $3-4$ — изотермическое сжатие, $4-1$ — изобарное нагревание;

в) $A = S (V_1 - 4 - 1 - V_3 - V_1)$; $-A = S (V_3 - 2 - 3 - 4 - V_1 - V_3)$; $A_{\text{ц}} = S (4 - 1 - 2 - 3 - 4)$.

5.3. 1. Рис. 40: $1(V_1, p_4)$, $2(V_1, p_3)$, $3(V_2, p_1)$, $4(V_2, p_2)$.

2. а) Цикл обратный, потому что обход кривой, изображающей последовательность изменений состояний газа, осуществлен против часовой стрелки;

б) $1-2$ — изохорное охлаждение, $2-3$ — адиабатное расширение, $3-4$ — изохорное нагревание, $4-1$ — адиабатное сжатие;

в) $A = S (V_1 - 2 - 3 - V_2 - V_1)$; $-A = S (V_2 - 3 - 4 - 1 - V_1 - V_2)$; $A_{\text{ц}} = -S (3 - 4 - 1 - 2 - 3)$.

5.4. 1. См. рис. 108.

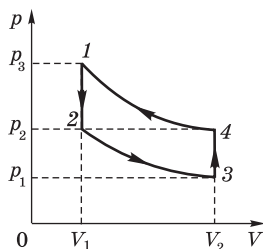


Рис. 108

2. а) Цикл обратный, потому что обход кривой, изображающей последовательность изменений состояний газа, осуществлен против часовой стрелки;

б) 1—2 — изохорное охлаждение, 2—3 — адиабатное расширение, 3—4 — изохорное нагревание, 4—1 — адиабатное сжатие;

в) $A = S (V_1 - 2 - 3 - V_2 - V_1)$; $-A = S (V_2 - 3 - 4 - 1 - V_1 - V_2)$; $A_{\text{ц}} = -S (3 - 4 - 1 - 2 - 3)$.

5.5. 1. Рис. 41: 1(V_1, p_2), 2(V_2, p_2), 3(V_3, p_1), 4(V_2, p_1).

2. а) Цикл прямой, потому что обход кривой, изображающей последовательность изменения состояний газа, осуществлен по часовой стрелке;

б) 1—2 — изобарное нагревание, 2—3 — изотермическое расширение, 3—4 — изобарное охлаждение, 4—1 — изотермическое сжатие;

в) $A = S (V_1 - 1 - 2 - 3 - V_3 - V_1)$; $-A = -S (V_3 - 3 - 4 - 1 - V_1 - V_3)$; $A_{\text{ц}} = S (1 - 2 - 3 - 4 - 1)$.

6.1. $\eta = 13,6\%$. 6.2. $T_1 = 900 \text{ К}$. 6.3. $T_2 = 369 \text{ К}$. 6.4. $A = 625 \text{ Дж}$; $Q_2 = 1875 \text{ Дж}$. 6.5. $\eta = 20\%$.

7.1. С повышением температуры увеличивается давление насыщенных паров, потому что одновременно увеличиваются средняя кинетическая энергия молекул и их плотность (концентрация). Увеличение плотности пара происходит вследствие дополнительного перехода молекул из жидкого состояния в пар. 7.2. $2,8 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$.

7.3. Ненасыщенный пар. 7.4. $\rho = 130 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$. 7.5. Перенасыщенный пар. 7.6. $\Delta n = 9 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$. 7.7. $\Delta m = 4,94 \text{ кг}$. 7.8. $\rho = 11,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; $\varphi = 37,6$. 7.9. $\Delta m = 2900 \text{ т}$. 7.10. Так как плотность насыщенных паров при T_2 больше, чем абсолютная влажность воздуха, то иней не выпадает. 7.11. $T_2 = 291 \text{ К}$. 7.12. $\Delta m = 5,54 \text{ кг}$. 7.13. 286 К . 7.14. $\Delta m = 8,65 \text{ кг}$. 7.15. 39% .

8.1. Выше критической. 8.2. При 140 К в состоянии жидкость — пар, при 180 К в газообразном состоянии. 8.3. Меньше критической, т. е. при $T < 304 \text{ К}$. 8.4. $m_2 = 0,593 \text{ кг}$. 8.5. $Q = 195,7 \text{ кДж}$. 8.6. $\Theta = 305 \text{ К}$. 8.7. $\Delta U = 5,2 \cdot 10^5 \text{ Дж}$. 8.8. $Q = 5,36 \text{ МДж}$. 8.9. В твердом состоянии при $T_b < 273 \text{ К}$; в жидком при $273 \text{ К} < T_b < 373 \text{ К}$; в парообразном при $373 \text{ К} < T_b < 674 \text{ К}$; в газообразном при $T_b > 647 \text{ К}$. 8.10. $\Delta U = 2,26 \cdot 10^7 \text{ Дж}$.

9.1. $A = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$. 9.2. $\Delta E = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$. 9.3. $\sigma = 5,9 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/м}^2$. 9.4. $F = 263 \text{ кН}$. 9.5. $F = 10,05 \text{ Н}$. 9.6. $d = 2,45 \text{ мм}$. 9.7. $d = 0,2 \text{ мм}$. 9.8. $h = 14,69 \text{ см}$. 9.9. $p \approx 105 \text{ кПа}$. 9.10. $l = 3 \text{ мм}$.

10.1. $m = 1,35 \text{ кг}$. 10.2. $N = 1,03 \cdot 10^{25}$. 10.3. $N = 7,5 \cdot 10^{24}$. 10.4. $N = 2 \cdot 10^{25}$. 10.5. $d = 3,214 \cdot 10^{-10} \text{ м}$. 10.6. $\Delta V = -6 \text{ см}^3$; $\varepsilon = -0,1$. 10.7. $E = 70 \text{ ГПа}$; алюминий. 10.8. $e = -2 \cdot 10^{-4}$. 10.9. $s = 264,6 \text{ кПа}$. 10.10. $d_{\max} = 5 \text{ мм}$. 10.11. $F = 340 \text{ кН}$. 10.12. $A = 360 \text{ Дж}$. 10.13. $F_d = 6,28 \text{ кН}$. 10.14. $V = 400,864 \text{ см}^3$. 10.15. $\sigma = 158,4 \text{ МПа}$. 10.16. $\Delta T = 367,6 \text{ К}$. 10.17. $8,36 \text{ кН}$. 10.18. $\Delta S = 43,2 \text{ см}^2$. 10.19. $\Delta T = 40 \text{ К}$. 10.20. $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$. 10.21. $\Delta T = 50 \text{ К}$.

Основы электродинамики

1.1. Азот; $+1,12 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}$. 1.2. Атом алюминия. 1.3. а) одновалентный положительный ион гелия; б) нейтральный атом лития; в) одновалентный отрицательный ион кислорода; г) одновалентный положительный ион водорода или протон. 1.4. $Q_p : Q_e = 1$; $m_p / m_e = 1840$.

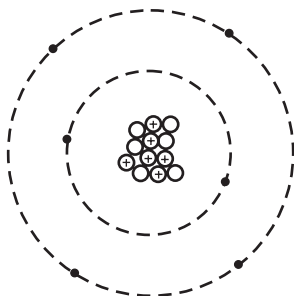


Рис. 109

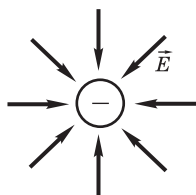


Рис. 110

1.5. $Q = 9,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; см рис. 109. 1.6. $Q_2 = +2,5 \cdot 10^{-6}$ Кл.

1.7. $e_{\text{ж}} = 4$.

2.1. $E_2 = 0,5$ Н/Кл. 2.2. $E_{\text{ш}} = -900$ Н/Кл; см. рис. 110.

2.3. $r = 300$ км. 2.4. $F = 0,01$ Н.

2.5. $Q = -5,9 \cdot 10^5$ Кл; $\sigma = -1,1 \cdot 10^{-9}$ Кл/м². 2.6. Уменьшится в 40,5 раза.

2.7. $\varphi = 4$ кВ.

2.8. $U = 22,75$ В. 2.9. $A = 0,11$ Дж.

2.10. $U_{AB} = 270$ В.

2.11. $d = 0,2$ м. 2.12. $A = -10,8$ Дж.

2.13. $\varphi = 9$ кВ. 2.14. $U = 4550$ В.

2.15. $\varphi = 4,32$ В. 2.16. $\Delta W_{\text{п}} = 0,18$ Дж.

2.17. Положительные заряды от точек с бóльшим потенциалом к точкам с меньшим потенциалом (т. е. в сторону убывания потенциала) и отрицательные заряды от точек с меньшим потенциалом к точкам с бóльшим потенциалом (т. е. в сторону возрастания потенциала).

3.1. 10 см. 3.2. $Q = 3 \cdot 10^{-2}$ Кл. 3.3. $C = 7,1 \cdot 10^{-4}$ Ф.

3.4. $Q = 10^{-12}$ Кл. 3.5. $C = 1,8$ нФ. 3.6. $C = 100$ пФ.

3.7. $C_6 = 444,4$ пФ. 3.8. $C_6 = 0,6$ мкФ. 3.9. $C_6 = 1,5$ мкФ.

3.10. $C_{\text{мин}} = 500$ пФ; $C_{\text{макс}} = 1,2$ нФ.

3.11. $C_{\text{мин}} = 80$ пФ; $C_{\text{макс}} = 90$ пФ.

3.12. $C = 62$ нФ.

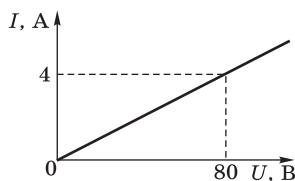


Рис. 111

4.1. $U_2 = 60$ В. 4.2. 4 А; см. рис. 111. 4.3. $N = 2,1 \cdot 10^{23}$.

4.4. $R_{\text{мин}} = 110$ Ом. 4.5. $R = 4$ Ом; $U = 12$ В.

5.1. $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$. 5.2. $r = 1 \text{ Ом}$. 5.3. $U_{\text{внутр}} = 4 \text{ В}$.
 5.4. $I_{\text{к.з}} = 48 \text{ А}$. 5.5. $R = 53,5 \text{ Ом}$. 5.6. $\mathcal{E} = 126 \text{ В}$.
 5.7. $R_2 = 8 \text{ Ом}$.

6.1. а) Сопротивление проводника не зависит от приложенного к нему напряжения; б) сила тока на участке цепи без ЭДС прямо пропорциональна напряжению на этом участке; в) сопротивление проводника не зависит от силы тока, протекающего по нему. 6.2. $R_2 = 40,74 \text{ Ом}$. 6.3. $\rho = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. 6.4. $\Delta T = 606 \text{ К}$. 6.5. $U = 3,1 \text{ В}$. 6.6. $t_2 = 2110 \text{ }^\circ\text{С}$. 6.7. $I = 1,4 \text{ А}$. 6.8. $U = 12 \text{ В}$. 6.9. $\alpha = -0,00045 \text{ К}^{-1}$. 6.10. $R_2 = 275 \text{ Ом}$. 6.11. $R_{06} = 6 \text{ Ом}$. 6.12. $U_2 = 16 \text{ В}$; $R_3 = 480 \text{ Ом}$. 6.13. $R_{06} = 9 \text{ Ом}$. 6.14. $I_1 = I_2 = 1,1 \text{ А}$. 6.15. $I_1 = I_2 = 0,55 \text{ А}$. 6.16. $U_1 = 16 \text{ В}$; $U_2 = 64 \text{ В}$; $U_3 = 64 \text{ В}$; $U_4 = 120 \text{ В}$; $U_0 = 200 \text{ В}$. 6.17. См. рис. 112. 6.18. $I_2 = 4 \text{ А}$.

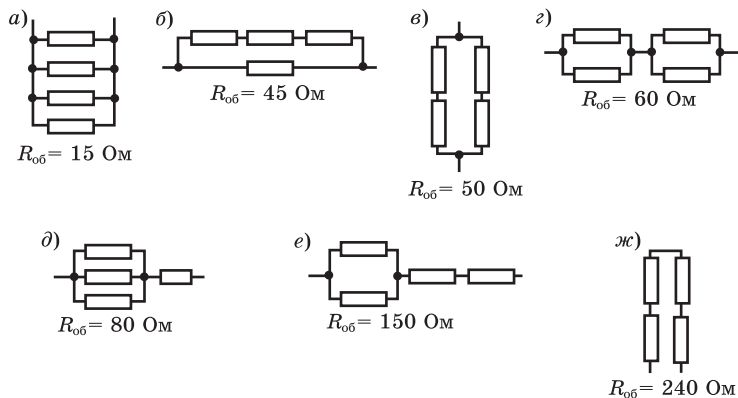


Рис. 112

7.1. $r_6 = 3,6 \text{ Ом}$. 7.2. $I = 1 \text{ А}$. 7.3. а) $r_6 = 0,8 \text{ Ом}$; $U = 0$;
 б) $r_6 = 0,8 \text{ Ом}$; $U = 7 \text{ В}$; в) $r_6 = 0,2 \text{ Ом}$; $U = 3,5 \text{ В}$.
 7.4. $\mathcal{E}_6 = 12 \text{ В}$; $r_6 = 0,4 \text{ Ом}$. 7.5. 5. 7.6. $R = 12 \text{ Ом}$.
 7.7. $R_{06} = 20,5 \text{ Ом}$. 7.8. $r_2 = 3 \text{ Ом}$. 7.9. $R = r$.

8.1. $I_1 = 2 \text{ А}$; $I_2 = 3 \text{ А}$; $I_3 = 5 \text{ А}$. 8.2. $U_1 = 5 \text{ В}$; $U_2 = 8 \text{ В}$; $U_3 = 3 \text{ В}$. 8.3. $U_1 = 20 \text{ В}$; $U_2 = 21 \text{ В}$; $U_3 = 4 \text{ В}$.
 8.4. $U_1 = 52 \text{ В}$; $U_2 = 24 \text{ В}$; $U_3 = 8 \text{ В}$.

- 9.1. $A = 6$ кДж. 9.2. $P = 30$ Вт. 9.3. $R = 161,3$ Ом.
- 9.4. $P_2 = 3P_1$. 9.5. $\eta = \frac{R}{R+r}$. 9.6. $N = 2 \cdot 10^{18}$. 9.7. 80 р.
- 9.8. $P_1 = 40$ Вт; $P_2 = 80$ Вт; $P_3 = 20$ Вт; $P_4 = 40$ Вт; $P_{об} = 180$ Вт. 9.9. $R \approx 119$ Ом. 9.10. $P_1 = 40$ Вт; $P_2 = 10$ Вт; $P_3 = 200$ Вт; $P_{об} = 250$ Вт. 9.11. В 3 раза.
- 10.1. 440 Ом. 10.2. $Q_1 = 30$ кДж. 10.3. $Q_1 = 66$ кДж. 10.4. $Q_2 = 90$ кДж. 10.5. $Q = 4,32$ МДж. 10.6. $Q = 17,6$ кДж. 10.7. $I = 2,5$ А. 10.8. $Q_{об} = 18$ кДж. 10.9. R_4 . 10.10. $R = 23,5$ Ом. 10.11. $Q_1 = 18$ кДж; $Q_2 = 27$ кДж; $Q_3 = 45$ кДж; $Q_{об} = 90$ кДж.
- 11.1. а) Потенциальная энергия электронов вне металла больше по сравнению с энергией электронов, находящихся внутри металла. б) В металле I. 11.2. $v_{\min} = 1147$ км/с. 11.3. $v_{\min} = 1300$ км/с. 11.4. $\mathcal{E} = 58$ мВ. 11.5. Не может. 11.6. а) – б) равна нулю; в) не равна нулю. 11.7. 0,73 В.
- 12.1. $m = 0,294$ кг. 12.2. $m = 0,02$ кг. 12.3. 1 ч 30 мин. 12.4. $A = 0,5$ кВт·ч. 12.5. $k = 3,67 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл. 12.6. $t \approx 14$ ч. 12.7. $m_{\text{Ag}} = 22,36$ г. 12.8. $n_{\text{Fe}} \approx 3$. 12.9. $R = 2,66$ Ом.
- 13.1. $Q = 5,5$ А·ч. 13.2. $Q = 16$ А·ч. 13.3. $\eta = 80\%$.
- 14.1. $I = 6,4$ А. 14.2. $I_{\text{н}} = 0,8$ А. 14.3. 1) 500 Ом при напряжениях 0,5, 1 и 1,5 кВ; 666,7 Ом и 833,3 Ом соответственно при напряжениях 2 и 2,5 кВ (по закону Ома для участка цепи без ЭДС $I = U/R$; $2000 \text{ В} : 3 \text{ А} = 666,7$ Ом; $2500 \text{ В} : 3 \text{ А} = 833,3$ Ом). Сопротивление газа при напряжениях, превышающих 2,5 кВ, резко уменьшается. 14.4. $\lambda = 0,79$ мм. 14.5. $T = 104$ 350 К. 14.6. $I = 25$ мА; $R = 2000$ Ом. 14.7. $I = 20$ мА; $R_1 = 4000$ Ом; $R_2 = 3000$ Ом; см. рис. 113. 14.8. $N = 4,5 \cdot 10^{20}$.

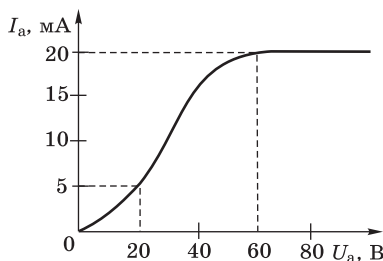


Рис. 113

15.1. Электронной. **15.2.** График 1 представляет собой зависимость сопротивления металла от температуры, график 2 — зависимость сопротивления полупроводника от температуры. **15.3.** По знакам основных зарядов устанавливаем, что слева расположен полупроводник n -типа, а справа — p -типа. Через диод на рис. 82,а (см. условие) ток не проходит, потому что полупроводнику n -типа сообщен положительный потенциал, а полупроводнику p -типа — отрицательный. Через диод на рис. 82,б ток проходит, потому что полупроводнику n -типа сообщен отрицательный потенциал, а полупроводнику p -типа — положительный.

16.1. KMN . **16.2.** См. рис. 114. **16.3.** $\alpha = 30^\circ$. **16.4.** $B = 5$ Тл. **16.5.** $B = 12$ Тл. **16.6.** Перпендикулярно плоскости чертежа к нам. **16.7.** $\alpha = 90^\circ$. **16.8.** $I = 4$ А. **16.9.** $l = 0,3$ м. **16.10.** $F = 4 \cdot 10^{-6}$ Н. **16.11.** $r = 0,4$ м. **16.12.** $I = 10$ А. **16.13.** $\alpha = 90^\circ$. **16.14.** $I = 20$ А. **16.15.** $I = 10$ А.

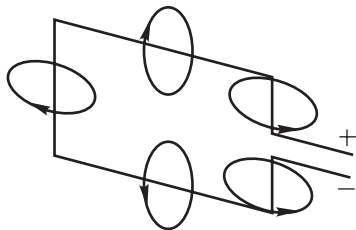


Рис. 114

17.1. $I = 8$ А. **17.2.** $A = 0$. **17.3.** $r = 1$ см. **17.4.** $\Phi = 0,5$ Вб. **17.5.** $M = 0,14$ Н·м. **17.6.** $A = 0,9$ Дж. **17.7.** $\Phi = 1,256 \cdot 10^{-6}$ Вб.

18.1. $F_{\text{л}} = 1,6 \cdot 10^{-12}$ Н. **18.2.** $r = 4,55$ мм. **18.3.** $r = 10,39$ см. **18.4.** Линии индукции перпендикулярны плоскости рисунка и направлены от нас.

18.5. $m = 6,65 \cdot 10^{-27}$ кг.

18.6. $r = \frac{mv \sin \alpha}{Be} = 2087,5$ м;

см. рис. 115. **18.7.** $a = 8 \cdot 10^{13}$ м/с². **18.8.** $p_{\text{м}} = 3,8 \cdot 10^{22}$ А·м².

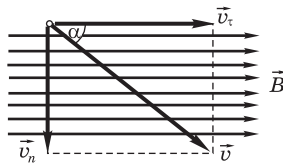


Рис. 115

19.1. Северный магнитный полюс находится слева, а южный — справа. **19.2.** В каждой части проволоки, образующей петлю, возникают ЭДС, равные по модулю и противоположные по знаку, поэтому общая ЭДС равна нулю и в проволочной петле индукционного тока не будет. **19.3.** Вниз. **19.4.** $\alpha = 45^\circ$. **19.5.** $v = 5$ м/с. **19.6.** $l = 2,5$ м. **19.7.** $\mathcal{E} = 4$ В. **19.8.** См. рис. 116. **19.9.** См. рис. 117.

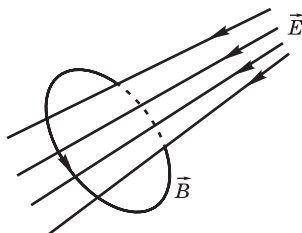


Рис. 116

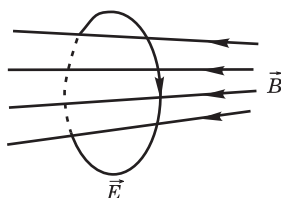


Рис. 117

19.10. $\Phi = 3,6 \cdot 10^{14}$ Вб. **19.11.** При приближении северного полюса магнита к кольцу в нем возникает индукционный ток; северный полюс его магнитного поля будет слева от кольца. Следовательно, ток в кольце имеет направление $3-2-1$ (см. рис. 95 из условия задачи). При удалении северного полюса магнита в кольце возникает индукционный ток в направлении $1-2-3$. **19.12.** $B = 0,4$ Тл.

20.1. $\mathcal{E}_{\text{ог}} = 150$ В. **20.2.** $n = 500$. **20.3.** $\mathcal{E} = -100$ В. **20.4.** 25 А/с. **20.5.** $L = 0,04$ Гн. **20.6.** $\Phi = 10\,000$ Вб. **20.7.** $\mathcal{E} = -2500$ В. **20.8.** $6,4$ Дж.

Колебания и волны

1.1. $A = 0,3$ м; $T = 0,4$ с. **1.2.** $A = 5$ см; $\nu = 0,25$ Гц. **1.3.** Уменьшить в 9 раз. **1.4.** $g = 9,86$ м/с². **1.5.** $l = 9,4$ см. **1.6.** $\Delta t = 2$ с. **1.7.** $n = 500$. **1.8.** $\Delta E = 0,0005$ Дж. **1.9.** $\Delta E = 0,004$ Дж.

2.1. $\lambda = 0,14$ см. 2.2. $s = 50$ м. 2.3. Наибольшее усиление колебаний. 2.4. Ослабление колебаний. 2.5. Наибольшее ослабление колебаний. 2.6. Не наступит. 2.7. $v = 100$ кГц. 2.8. $v_{\text{рез}} = 25$ Гц. 2.9. а) Наибольшее усиление колебаний; б) наибольшее ослабление колебаний.

3.1. $L = 0,15$ мГн. 3.2. $v = 6,37$ кГц. 3.3. $T = 37,68$ мкс; $v = 2,65$ кГц. 3.4. $T = 3,14$ мкс. 3.5. $Q_m = 2 \cdot 10^{-4}$ Кл; $I_m = 2$ А. 3.6. $C = 10^{-7}$ Ф. 3.7. $I_m = 0,6$ А; $T = 0,01$ с; $i = 0$. 3.8. $I_m = 0,03$ А. 3.9. $i = 4\pi \cdot 10^{-2} \cos 1000\pi t$. 3.10. $i = 0,942$ А. 3.11. $i = -1,256$ А. 3.12. $i = -1,256$ А.

4.1. $I_m = 3$ А; $I_d = 2,12$ А; $T = 0,4$ с $^{-1}$; $v = 25$ Гц; $i = 3$ А. 4.2. $e(t) = 10 \sin 100\pi t$. 4.3. $e(t) = 31,4 \sin 314t$; $\mathcal{E}_m = 22,2$ В; $T = 0,02$ с; $v = 50$ Гц. 4.4. $v = 1,06$ кГц. 4.5. $L = 6,3$ Гн. 4.6. $X_C = 7,96$ Ом. 4.7. $C = 10$ мкФ. 4.8. $v_{\text{рез}} = 16$ Гц. 4.9. $X_L = 251,2$ Ом.

5.1. $i_2 = 2 \sin 100\pi t$. 5.2. Так как $k > 1$, то трансформатор понижающий. В таком трансформаторе сила тока во вторичной обмотке в 15 раз больше, чем в первичной, поэтому сечение провода во вторичной обмотке больше, чем в первичной. 5.3. 200. 5.4. $I_2 = 6,4$ А. 5.5. $\eta = 95,4\%$. 5.6. $w_1 = 300$; $w_2 = 75$; $k = 4$. 5.7. $k = 5,83$. 5.8. $\eta = 90,9\%$. 5.9. Трансформатор может сгореть.

6.1. $v = 15$ ГГц. 6.2. $n = 2000$. 6.3. $\lambda = 753,6$ м. 6.4. См. рис. 118. 6.5. $\lambda = 100$ м.

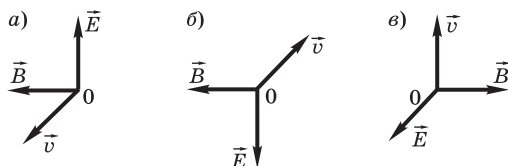


Рис. 118

7.1. Прямолинейно и с постоянной скоростью. 7.2. $\lambda = 245$ нм. 7.3. $v = 1,98 \cdot 10^8$ м/с. 7.4. $n = 1,5$.

8.1. Могут. Цвет световой волны зависит от ее частоты, а не от длины волны. Так как $\lambda_{\text{кр}} > \lambda_3$, то, если пропустить красный луч через прозрачную среду с показателем

телом преломления n , большим показателя преломления воздуха, можно получить, что $\lambda_{\text{кр}} = n \lambda'_{\text{кр}}$, а $\lambda'_{\text{кр}}$ — длина волны красного луча в этой среде. По условию задачи

$\lambda_3 = \lambda'_{\text{кр}}$, откуда следует, что $\lambda_{\text{кр}} = n \lambda_3$. Тогда $n = \frac{\lambda_{\text{кр}}}{\lambda_3}$;

$n = 1,33$. **8.2.** $d_0 = 125$ нм; $d_1 = 375$ нм; $d_2 = 625$ нм; $d_3 = 875$ нм. **8.3.** $a = 3,3$ мм. **8.4.** Максимальное усиление интенсивности света. **8.5.** $d_{\text{мин}} = 0,1$ мкм. **8.6.** $\alpha = 17''$. **8.7.** Максимальное ослабление интенсивности света. **8.8.** $d = 20$ мкм. **8.9.** $\lambda_1 = 600$ нм. **8.10.** $\lambda = 430$ нм. **8.11.** $\alpha = 62^\circ$. **8.12.** Вода. **8.13.** $n = 1,632$. **8.14.** $i_{\text{пол}} = 55^\circ 50'$; $i_{\text{пр}} = 34^\circ 10'$. **8.15.** Любые электромагнитные волны, в том числе красные и фиолетовые излучения, распространяются в вакууме с одинаковой скоростью, равной $3 \cdot 10^8$ м/с. Скорость распространения электромагнитных волн в средах, отличных от вакуума, зависит от их частоты: чем больше частота, тем меньше скорость. Так как частота фиолетового излучения больше, чем красного, то скорость распространения фиолетовых лучей в воде меньше, чем красных. **8.16.** Да, будет наблюдаться. В дисперсионном спектре цветные лучи располагаются от основания призмы к ее вершине в такой последовательности: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. **8.17.** Чем больше длина волны монохроматического излучения в вакууме, тем меньше показатель преломления его в стекле. Так как $\lambda_{\text{ж}} > \lambda_{\text{с}}$, то $n_{\text{ж}} < n_{\text{с}}$. **8.18.** В одной и той же среде, например воде, скорость распространения фиолетовых лучей меньше, чем красных, поэтому $n_{\text{ф}} > n_{\text{к}}$, т. е. $n_{\text{ф}} = 1,3428$.

Квантовая физика

1.1. $\varepsilon = 3,9 \cdot 10^{-19}$ Дж. **1.2.** $\nu = 5 \cdot 10^{14}$ Гц; да, вызовет. **1.3.** $N = 1333$. **1.4.** Не вызовет. **1.5.** В $1,875$ раз.

2.1. $\varepsilon \approx 2 \cdot 10^{-12}$ Дж. 2.2. 96 600 К. 2.3. $R = 567$ МВт/м².
 2.4. В 81 раз. 2.5. В 625 раз. 2.6. 73,48 МДж. 2.7. $\lambda_{\text{макс}} =$
 $= 724$ нм. 2.8. $R = 459,3$ Вт/м². 2.9. $\lambda_{\text{макс}} = 193$ нм.

3.1. $v = 1180$ км/с. 3.2. $A_{\text{вых}} = 2,1$ эВ. 3.3. $\lambda = 80$ нм.
 3.4. $N = 3,3 \cdot 10^{32}$. 3.5. $\varphi = 4,59$ В. 3.6. $E_{\text{к}} = 0,843$ эВ.

4.1. $\theta = 33^\circ 20'$. 4.2. $\lambda = 220$ нм. 4.3. $p = 3,31 \cdot 10^{-5}$ Па.
 4.4. $4,5 \cdot 10^{14}$ Гц. 4.5. $p_{\text{и}} = 9,2 \cdot 10^{-28}$ Н·с; $p_o = 1,84 \cdot 10^{-27}$ Н·с.
 4.6. $\Delta\lambda = 5 \cdot 10^{-13}$ м. 4.7. $\lambda = 552$ нм. 4.8. $p = 9,3 \cdot 10^{-6}$ Па.
 4.9. $\Delta m = 50$ кг. 4.10. $p = 6,62 \cdot 10^{-6}$ Па. 4.11. $\lambda = 2,4$ пм.
 4.12. $p = 4,7 \cdot 10^{-6}$ Па. 4.13. $p = 1,32 \cdot 10^{-25}$ Н·с. 4.14. Не наступит.

5.1. $\lambda = 489$ нм. 5.2. $\varepsilon = 12,02$ эВ; $\lambda = 103$ нм. 5.3. $\lambda =$
 660 м. 5.4. $r_4 = 8,448 \cdot 10^{-10}$ м. 5.5. $E_{\text{мин}} = 10,15$ эВ.
 5.6. $k = 0,6\varepsilon$. 5.7. $\lambda = 620$ нм. 5.8. $\eta = 62,5\%$. 5.9. $\lambda =$
 $= 546$ нм.

6.1. $t = 200$ с. 6.2. $\Delta m = 3,5$ г. 6.3. α -частицы отклоняются вправо, β -частицы — влево, γ -излучение распространяется прямолинейно. 6.4. $m = 0,25$ кг. 6.5. $A =$
 $= 500$ Бк. 6.6. $N = 4226$. 6.7. $T_{1/2} = 270$ сут.

7.1. ${}^8_3\text{Li} \rightarrow 2({}^4_2\text{He}) + {}^0_{-1}e$. 7.2. ${}^{55}_{25}\text{Mn} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{55}_{26}\text{Fe} + {}^1_0n$.
 7.3. ${}^{25}_{12}\text{Mg} (\nu, \alpha) {}^{22}_{11}\text{Na}$. 7.4. ${}^{10}_5\text{B} + {}^1_0n \rightarrow {}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He}$.
 7.5. ${}^{14}_7\text{N} (\nu, {}^1_1\text{H}) {}^{14}_6\text{C}$. 7.6. $E_{\text{св}} = 7,7$ МэВ. 7.7. $E_{\text{св}} = 341,8$ МэВ.
 7.8. $\Delta E = -1,27$ МэВ. 7.9. $\Delta E = 14,3$ МэВ.
 7.10. $E_{\text{св}} = 225,19$ МэВ. 7.11. $\Delta E = 17,4$ МэВ. 7.12. $\Delta E =$
 $= 3,3$ МэВ. 7.13. $\Delta E = 15$ МэВ. 7.14. $e_{\text{св}} = 7,58$ МэВ/нуклон.
 7.15. $m = 235$ г. 7.16. $E_0 = 939$ МэВ. 7.17. $E =$
 $= 8,197 \cdot 10^{14}$ Дж. 7.18. $m = 50$ кг. 7.19. $E_0 = 0,51$ МэВ.
 7.20. $\Delta E = 228,75$ МэВ.

8.1. $\Delta E = 23,9$ МэВ. 8.2. 1) ${}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^2_1\text{H} + {}^0_{+1}e + \nu$;
 2) ${}^2_1\text{H} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + \gamma$; 3) ${}^3_2\text{He} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H}$.
 8.3. $\Delta E = 7,3$ МэВ. 8.4. $\Delta E = 2,2$ МэВ.

Содержание

Предисловие	3
-------------------	---

ЧАСТЬ I. ЗАДАЧИ С РЕШЕНИЯМИ

Основы механики

1. Равномерное движение	5
2. Равнопеременное движение	9
3. Свободное падение	13
4. Кинематика вращательного движения	14
5. Динамика поступательного движения. Второй закон Ньютона	16
6. Третий закон Ньютона. Закон сохранения импульса	18
7. Закон всемирного тяготения. Искусственные спутники Земли	21
8. Динамика равномерного движения тел по окружности	23
9. Механическая работа. Мощность	26
10. Закон сохранения механической энергии	29
11. Элементы специальной теории относительности	32

Основы молекулярной физики и термодинамики

1. Основные понятия и положения молекулярно-кинетической теории	35
2. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа	37
3. Уравнение состояния идеального газа. Изопроцессы и их графики	39
4. Первое начало термодинамики и применение его к изопроцессам	43
5. Обратимые и необратимые изопроцессы. Второе начало термодинамики	48
6. Круговые процессы. КПД теплового двигателя	49
7. Насыщенный пар и его свойства. Влажность воздуха ..	50
8. Критическое состояние вещества	53
9. Жидкости и их свойства	55
10. Кристаллические тела и их свойства	59

Основы электродинамики

1. Электрическое поле. Закон Кулона	62
2. Напряженность и потенциал электрического поля	63
3. Электрическая емкость. Конденсаторы	68
4. Постоянный электрический ток. Закон Ома для участка цепи	70
5. Закон Ома для полной цепи	73
6. Сопротивление проводника	75
7. Соединение источников тока	78
8. Закон Кирхгофа для разветвленной цепи	81
9. Работа и мощность постоянного электрического тока ...	83
10. Тепловое действие тока	86
11. Электронная проводимость металлов	88
12. Электрический ток в электролитах	91
13. Химические источники тока	93
14. Электрический ток в газах и вакууме	95
15. Электрический ток в полупроводниках	98
16. Магнитное поле. Закон Ампера	99
17. Магнитный поток. Работа при перемещении проводника с током в магнитном поле	102
18. Действие магнитного и электрического полей на движущийся заряд	104
19. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца ..	107
20. Самоиндукция. Энергия магнитного поля	111

Колебания и волны

1. Механические колебания	114
2. Волновое движение	116
3. Электромагнитные колебания. Колебательный контур....	118
4. Вынужденные электрические колебания. Перемен- ный ток	122
5. Трансформатор	125
6. Электромагнитные волны и их свойства	127
7. Электромагнитная природа света	128
8. Волновые свойства света	130

Квантовая физика

1. Энергия кванта	135
2. Тепловое излучение	138
3. Фотоэлектрический эффект	139
4. Эффект Комптона. Давление света	141
5. Постулаты Бора	143
6. Естественная радиоактивность	146

7. Атомное ядро	148
8. Термоядерный синтез. Элементарные частицы	153

ЧАСТЬ II. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Основы механики	156
Основы молекулярной физики и термодинамики	170
Основы электродинамики	186
Колебания и волны	217
Квантовая физика	228
Ответы	238

Учебное издание

Самойленко Петр Иванович

**Сборник задач
по физике
с решениями**

для техникумов

Ответственный редактор *Е. С. Гридасова*
Младшие редакторы *О. А. Федорова, К. А. Калугина*
Художественный редактор *Е. П. Хазова*
Технический редактор *Л. Б. Чуева*
Корректоры *Е. В. Морозова, Р. К. Сапожникова*
Компьютерная верстка *С. В. Сухарева*

Подписано в печать 09.04.2003. Формат 84×108^{1/32}.
Гарнитура «Школьная». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 13,44. Тираж экз. Заказ № .

Общероссийский классификатор продукции
ОК-005-93, том 2; 953005 — учебная литература

ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век».
Изд. лиц. ИД № 02795 от 11.09.2000.
105066, Москва, ул. Доброслободская, д. 5а.
Отдел реализации: тел. (095) 310-75-25, 150-52-11
Internet: www.onyx.ru; e-mail: mail@onyx.ru

ООО «Издательство «Мир и Образование».
Изд. лиц. ИД № 05088 от 18.06.2001.
109193, Москва, ул. 5-я Кожуховская, д. 13, стр. 1.
Тел./факс (095) 928-78-26
E-mail: mir-obrazovanie@rambler.ru