

Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Горлов Б.Б., Баранов А.В.,
Невская Г.Е.**

ФИЗИКА

Теория, задачи, тесты

Издание переработанное и дополненное

Утверждено Редакционно-издательским советом НГТУ
в качестве учебного пособия

Новосибирск
2007

УДК 53(075)
Г695

Рецензент
канд. техн. наук, доц. *А. М. Погорельский*

Горлов Б. Б.
Г695 Физика. Теория, задачи, тесты: учеб. пособие для поступающих в вуз, перераб. и доп./Б.Б.Горлов, А.В. Баранов, Г.Е. Невская.— Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. — 280с.

Учебное пособие содержит краткие теоретические сведения по основным разделам физики, методические указания к решению задач, примеры их решения, задачи для самостоятельного решения и варианты экзаменационных тестов, предлагавшихся в 1996-2007 годах на вступительных экзаменах в НГТУ. В настоящем издании приведены ответы к заданиям вариантов тестов.

Учебное пособие позволяет за сравнительно небольшой срок повторить теоретический материал и получить основные сведения о методах решения задач.

Пособие предназначено для абитуриентов, учащихся средних школ, слушателей подготовительных отделений и студентов младших курсов вузов, а также может быть использовано для подготовки к вступительным экзаменам в высшие учебные заведения, к централизованному тестированию и Единому государственному экзамену по физике. Оно может быть полезным для преподавателей физики средних и высших учебных заведений.

УДК 53(075)

ISBN 5-7782-0548-1

© Б. Б. Горлов, А. В. Баранов, Г. Е. Невская, 2007
© Новосибирский государственный
технический университет, 2007

Содержание

Введение	7
Механика	9
1. Кинематика	9
1.1. Основные понятия	9
1.1. Равномерное прямолинейное движение	10
1.2. Движение с переменной скоростью. Средняя и мгновенная скорости. Ускорение	10
1.3. Равнопеременное прямолинейное движение	12
1.4. Кинематика вращательного движения тела	19
1.5. Относительность движения	21
1.6. Движение тела, брошенного под углом к горизонту	24
Задачи для самостоятельного решения	27
2. Динамика. Законы Ньютона	35
2.1. Сила. Силы в механике.	35
2.2. Инерциальные системы. Законы Ньютона.	36
2.3. Статика	41
2.4. Гидростатика	45
3. Законы сохранения в механике	49
3.1. Импульс. Законы сохранения импульса	49
3.2. Работа. Энергия. Закон сохранения энергии	49
Задачи для самостоятельного решения	57

Молекулярная физика и термодинамика	66
1. Молекулярная физика	66
1.1. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории	66
1.2. Уравнения состояния идеального газа. Газовые законы	67
1.3. Насыщенные и ненасыщенные пары. Влажность	73
2. Основы термодинамики	76
2.1. Внутренняя энергия тела	76
2.2. Работа в термодинамике	76
2.3. Теплота	77
2.4. Первый закон термодинамики и его применение к различным процессам	78
2.5. Уравнение теплового баланса	80
2.6. Тепловые машины. Цикл Карно	80
Задачи для самостоятельного решения	88
 Электричество и магнетизм	 98
1. Электростатика	98
1.1. Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда	98
1.2. Взаимодействие электрических зарядов. Закон Кулона	99
1.3. Электрическое поле. Напряженность электрического поля	102
1.4. Потенциал электрического поля. Работа электрического поля по перемещению заряда	106
1.5. Проводники в электрическом поле	111
1.6. Диэлектрики в электрическом поле	111
1.7. Конденсатор	111

2. Постоянный электрический ток	119
2.1. Постоянный электрический ток и условия его существования .	119
2.2. Электрические цепи постоянного тока. Законы Ома	120
2.3. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца	125
3. Магнитное поле	131
3.1. Магнитное поле. Вектор индукции.	
3.2. Силовые линии магнитного поля	131
3.3. Сила Лоренца	137
3.4. Сила Ампера	138
4. Электромагнитная индукция	145
4.1. Явление и закон электромагнитной индукции.	
Правило Ленца	145
4.2. Явление самоиндукции	140
4.3. Энергия магнитного поля	146
Задачи для самостоятельного решения	152
Колебания и волны	175
1. Колебания	175
1.1. Гармонические колебания (кинематическое описание)	175
1.2. Гармонические колебания (динамический подход)	183
1.3. Энергия гармонического осциллятора	184
1.4. Переменный ток	191
2. Волны	196
2.1. Основные понятия	196

2.2. Уравнение плоской волны	197
Задачи для самостоятельного решения	202
Оптика. Элементы теории относительности	211
1. Геометрическая оптика	211
1.1. Законы отражения и преломления	211
1.2. Линзы. Построение изображений	213
1.3. Увеличение линзы. Оптическая сила. Формула тонкой линзы .	215
2. Квантовая оптика	216
Задачи для самостоятельного решения	229
Атомная и ядерная физика	235
1. Элементы атомной физики	235
1.1. Ядерная модель атома Резерфорда и ее противоречивость	235
1.2. Постулаты Бора	235
2. Основные свойства и строение атомных ядер	236
2.1. Заряд и масса атомных ядер. Строение ядра	236
2.2. Естественная радиоактивность	237
2.3. Ядерные реакции	238
Задачи для самостоятельного решения	242
Тесты для самостоятельного решения	244
Ответы к тестам	274

Введение

На протяжении ряда лет итоговая аттестация в школах и вступительные испытания при приеме в высшие учебные заведения проводятся с использованием тестовых технологий.

Данное учебное пособие может быть использовано для подготовки к вступительным экзаменам в высшие учебные заведения, единому государственному экзамену и централизованному тестированию по физике.

В пособии содержатся краткие теоретические сведения по основным разделам физики, методические указания по решению задач, примеры решения задач и задачи для самостоятельного решения. Большинство задач, приведенных в пособии, предлагалось в 1996–2007 гг. на вступительных экзаменах в НГТУ и опубликовано в методических пособиях [1 – 4].

По сравнению с ранее изданными пособиями [3, 4] в данном учебном пособии рассмотрен более широкий круг теоретических вопросов и задач (например, добавлены разделы курса: статика, гидростатика, пары и др.). В отличие от издания 2004 года увеличено количество задач для самостоятельного решения, приведены варианты тестов с новой структурой (тест состоит из двух частей А и В, включающих 20 заданий), предлагавшиеся на вступительных экзаменах по физике в НГТУ в 2007 г., ответы к заданиям тестов.

Учебное пособие позволяет в сравнительно короткий срок повторить теоретический материал и ознакомиться с методикой решения задач различного типа. Пособие может быть полезно абитуриентам, слушателям подготовительных курсов, студентам младших курсов вузов и преподавателям физики средних учебных заведений. Содержание, уровень сложности заданий соответствуют программе курса физики для средней (полной) школы.

Работу с пособием целесообразно проводить в такой последовательности:

1. Прочитайте и разберите теоретический материал раздела. Помните, только свободное владение понятиями и законами позволяет эффективно решать задачи.

2. Прочитайте методические указания к решению задач. В них выделены наиболее существенные моменты и сформулированы подходы к решению большинства задач. Важно понимать, что, несмотря на большое разнообразие физических задач, многие из них имеют общие алгоритмы решения.

3. Ознакомьтесь с примерами решения задач. Если в приведенном примере все понятно, попробуйте самостоятельно воспроизвести решение. Проанализируйте, какие моменты или этапы решения вызвали у вас затруднения.

4. Решите задачи, приведенные в разделе: "Задачи для самостоятельного решения." Если возникают трудности, возвращайтесь к п.1-3.

5. После того как Вы повторили все разделы (для каждого выполнены п.1-4), приступайте к решению тестовых заданий, приведенных в конце пособия. На этом этапе постарайтесь не пользоваться вспомогательными материалами. Проанализируйте, какие задачи вызвали у Вас затруднения. Подумайте, с чем эти затруднения связаны. Повторите необходимый теоретический материал, просмотрите примеры решения подобных задач. Аналогичным образом поступайте, решая каждое тестовое задание.

1. Физика. Варианты экзаменационных заданий (тесты), в помощь поступающим в НГТУ. Баранов А.В., Горлов Б.Б., Кибис О.В., Кочеткова В.Н., Невская Г.Е., Селиванова Э.Б., Соколов Ю.В., Сагайдак Ю.В., НГТУ, 1998 г.

2. Физика. Сборник заданий в тестовой форме для поступающих в ВУЗ. Баранов А.В., Горлов Б.Б., Кибис О.В., Кочеткова В.Н., Невская Г.Е., Селиванова Э.Б., Соколов Ю.В., Сагайдак Ю.В., Юдин Б.И. /Учебное пособие/ НГТУ. 2000 г.

3. Физика. Учебное пособие для поступающих в ВУЗ. Горлов Б.Б., Баранов А.В., Невская Г.Е. НГТУ. 2000 г.

4. Физика. Теория, задачи, тесты. Учебное пособие. Горлов Б.Б., Баранов А.В., Невская Г.Е. НГТУ. 2004 г.

Механика

1 Кинематика

1.1 Основные понятия

Кинематика изучает движение тел без анализа причин, его вызывающих. Она устанавливает математические соотношения между различными характеристиками движения, такими как перемещение, пройденный путь, скорость, ускорение, время движения.

Положение какого-либо тела определяется лишь по отношению к другому материальному телу, называемому телом отсчета. Для описания движения с телом отсчета связывают какую-нибудь систему координат, например, декартову. Так как движение происходит не только в пространстве, но и во времени, то для описания движения необходимо отсчитывать так же и время. Совокупность тела отсчета, системы координат и часов образует *систему отсчета*.

Произвольное движение тела можно представить как сумму поступательного и вращательного движения твердого тела. Поступательное движение – это движение твердого тела, при котором все его точки движутся одинаково (по одинаковым траекториям). Поэтому кинематика поступательного движения тела сводится к кинематике точки.

Не нужно описывать движения каждой точки тела в случае, когда размерами тела в условиях данной задачи можно пренебречь. Это тело называют *материальной точкой*. Далее мы будем рассматривать кинематику движения материальной точки и поступательного движения твердого тела.

Пусть материальная точка переместилась по некоторой траектории (рис. 1) из точки 1 в точку 2. Расстояние между точками 1 и 2, измеренное вдоль траектории, называется *путем* S . Вектор, соединяющий начальное положение материальной точки с конечным положением, называют *вектором перемещения* $\Delta\vec{r}$. В случае прямолинейного движения в одном направлении модуль вектора перемещения и путь одинаковы $|\Delta\vec{r}| = S$.

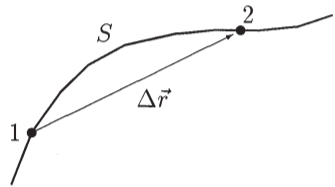


Рис. 1. Путь и перемещение

1.2 Равномерное прямолинейное движение

Движение, при котором материальная точка, двигаясь по прямой, за произвольные равные промежутки времени проходит равные пути, называют равномерным прямолинейным. Скорость равномерного движения – величина постоянная. Для ее расчета используют формулу $V = \frac{S}{t}$, где S – путь, пройденный телом за время t . Вектор скорости $\vec{V} = \frac{\Delta \vec{r}}{t}$. При равномерном движении тела его путь есть линейная функция от времени, т.е. $S = Vt$. В случае, если движущееся тело к некоторому моменту времени t_0 прошло путь S_0 , то в момент времени t пройденный им путь можно определить по формуле

$$S = S_0 + V(t - t_0).$$

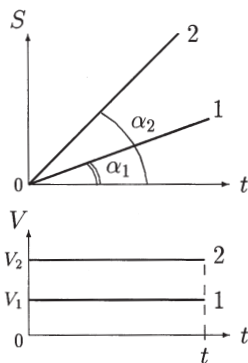


Рис. 2. Зависимость пути и скорости от времени при равномерном движении

Зависимость пути от времени для случая $t_0 = 0$, $S_0 = 0$ в случае двух различных скоростей движения представлена на рис. 2. График зависимости $S(t)$ – прямая линия, тангенс угла наклона которой к оси времени, равен $\frac{S}{t}$ или скорости равномерного движения: $tg\alpha_1 = V_1$, $tg\alpha_2 = V_2$.

График скорости равномерного движения представляет собой прямую, параллельную оси времени (рис. 2). Пользуясь графиком скорости, можно определить путь, пройденный телом за определенный промежуток времени t . Он численно равен площади прямоугольника, ограниченного осью времени, графиком скорости и двумя вертикальными отрезками, проведенными из точек, соответствующих началу и концу рассматриваемого промежутка времени.

1.3 Движение с переменной скоростью. Средняя и мгновенная скорости. Ускорение

Характеристиками неравномерного движения являются средняя и мгновенная скорости, ускорение.

Средняя скорость неравномерного движения за данный промежуток времени Δt равна скорости такого равномерного движения, при котором тело проходит тот же путь ΔS за тот же промежуток времени Δt , что и

при данном неравномерном движении:

$$V_{\text{cp}} = \frac{\Delta S}{\Delta t}.$$

Вектор скорости $\vec{V}_{\text{cp}}$ равен отношению соответствующего вектора перемещения к промежутку времени Δt :

$$\vec{V}_{\text{cp}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}.$$

В случае криволинейного движения модуль вектора средней скорости $\vec{V}_{\text{cp}}$ и величина средней скорости V_{cp} неодинаковы.

Мгновенная скорость является пределом средней скорости при $\Delta t \rightarrow 0$ или

$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \vec{r}' = \frac{d\vec{r}}{dt}.$$

Вектор скорости всегда направлен по касательной к траектории.

$$\text{Модуль скорости} \quad V = \left| \frac{d\vec{r}}{dt} \right| = \frac{dS}{dt}.$$

При описании движения тела часто используют понятие проекций скоростей на оси координат:

$$V_x = \frac{dx}{dt}; \quad V_y = \frac{dy}{dt}; \quad V_z = \frac{dz}{dt}.$$

Проекции скорости могут быть как положительными, так и отрицательными величинами.

При неравномерном движении мгновенная скорость тела непрерывно изменяется. Величиной, характеризующей быстроту изменения скорости, является *ускорение*. Рассмотрим движение, при котором его скорость за любые равные промежутки времени изменяется на одну и ту же величину. Такое движение называется *равнопеременным*. Ускорение тела, участвующего в равнопеременном движении

$$\vec{a} = \frac{\vec{V} - \vec{V}_o}{t - t_o} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t},$$

где $\vec{V}$ – скорость тела в момент времени t , $\vec{V}_o$ – скорость тела в момент времени t_o .

1.4 Равнопеременное прямолинейное движение

При равнопеременном прямолинейном движении вектор ускорения постояен. При равноускоренном движении $|\vec{V}| > |\vec{V}_0|$, поэтому вектор $\vec{a}$ совпадает по направлению с вектором скорости $\vec{V}_0$ (рис. 3 а)).

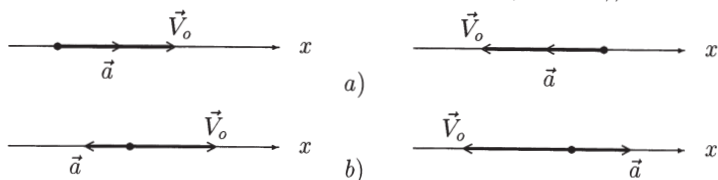


Рис. 3. Взаимное расположение векторов скорости, ускорения и оси x в равноускоренном (а) и равнозамедленном (б) движении

При равнозамедленном движении $|\vec{V}| < |\vec{V}_0|$, или $|\vec{V}| - |\vec{V}_0| < 0$, поэтому вектор $\vec{a}$ направлен противоположно скорости $\vec{V}_0$ (рис. 3 б)).

При вычислениях удобнее пользоваться уравнениями, в которые входят не векторы, а их проекции. При прямолинейном движении векторы $\vec{V}_0$ и $\vec{V}$ направлены вдоль одной прямой, которая является траекторией движения. Вдоль этой прямой принято направлять координатную ось x (рис. 3). Обозначим проекции векторов $\vec{V}$, $\vec{V}_0$, $\vec{a}$ через V_x , V_{x0} , a_x . Абсолютные значения проекций равны абсолютным значениям или модулям самих векторов. Знаки проекций определяются тем, как направлены эти векторы по отношению к выбранной оси. Если знаки проекций $\vec{V}_0$ и $\vec{a}$ совпадают – тело разгоняется (рис. 3 а). Если же знаки проекций $\vec{V}_0$ и $\vec{a}$ противоположны – тело тормозится (рис. 3 б). Если в начальный момент времени $t_0 = 0$ начальная скорость равна V_0 , то получим, что скорость в момент времени t равна

$$V_x = V_{0x} + a_x t.$$

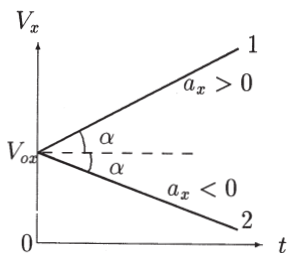


Рис. 4. Зависимость скорости от времени при равнопеременном движении

Графики скорости представлены на рис. 4. Прямая 1 соответствует равноускоренному движению, прямая 2 – равнозамедленному. Тангенс угла наклона этих прямых к оси времени $\operatorname{tg} \alpha$ численно равен величине проекции ускорения равнопеременного движения. Путь, пройденный телом при равнопеременном движении, определяется по формуле:

$$S = \left| V_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} \right|.$$

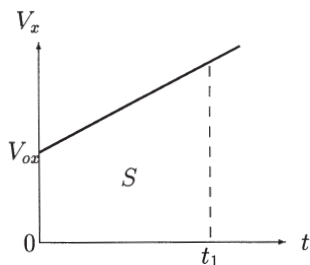


Рис. 5. Путь, пройденный телом за время t_1

Путь, пройденный телом за время t_1 , численно равен площади трапеции (рис. 5). Графики зависимости пути от времени для равноускоренного и равнозамедленного движения представлены соответственно на рис. 6. Кривые $S(t)$ являются ветвью параболы. Координата x тела в любой момент времени может быть определена по формуле:

$$x(t) = x_o + V_{ox} \cdot t + \frac{a_x t^2}{2},$$

где x_o координата тела в начальный момент времени ($t = 0$).

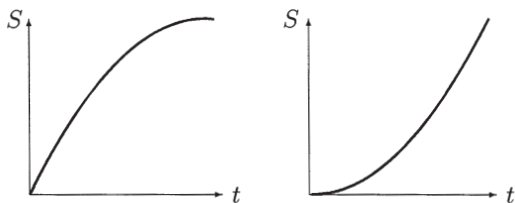


Рис. 6. Зависимость пути от времени при равнозамедленном и равноускоренном движении

Методические указания к решению задач

Задачи в кинематике довольно разнообразны. Имеется ряд задач на определение средней скорости движения тела (V_{cp}). Для расчета V_{cp} следует, как правило, использовать формулу $V_{cp} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$. Формула $V_{cp} = \frac{V_o + V}{2}$ может быть применена только в случае равнопеременного движения. Применение последней формулы при определении средней скорости в случае, когда движение не является равнопеременным, является типичной ошибкой абитуриентов. При решении задач на равнопеременное движение следует знать законы движения тела $S(t)$ или $x(t)$. В ряде задач по известному закону движения требуется определить другие физические характеристики движения, например, скорость или ее проекцию, ускорение. Имеются также обратные задачи: определение закона движения по известным параметрам движения (скорости, ускорения). Причем параметры движения могут быть заданы графически, например, $V_x(t)$; или представлены в виде векторов с указанием их модулей. При решении этих задач следует уделить особое внимание знакам величин. Необходимо помнить разницу между путем и координатой тела, проекцией скорости и модулем скорости (обратите внимание на знаки проекций). Имеется группа задач чисто графических: по графику зависи-

мости координаты от времени следует построить зависимость проекций скорости и ускорения от времени. А так же обратные задачи: по графикам зависимости проекций скорости и ускорения необходимо построить график зависимости координаты от времени. Для решения этих задач следует знать как законы равномерного и равнопеременного движения тел, так и уметь представлять их графически.

Примеры решения задач

1. Электропоезд от пункта A до пункта B , лежащего посреди участка AC , шел со скоростью 80 км/ч , а от пункта B до пункта C – со скоростью 100 км/ч . Средняя скорость электропоезда на участке AC равна . . .
(численное значение).

Решение.

Весь путь AC обозначим буквой S , а полное время движения электропоезда разобьем на два промежутка: t_1 – время движения со скоростью $V_1 = 22,2 \text{ м/с}$ и t_2 – время движения со скоростью $V_2 = 27,7 \text{ м/с}$. Тогда $V_{\text{ср}} = \frac{S}{t_1 + t_2}$. Так как $AB = \frac{S}{2}$ и $BC = \frac{S}{2}$, то $t_1 = \frac{S/2}{V_1}$ и $t_2 = \frac{S/2}{V_2}$. Подставим эти выражения в формулу средней скорости

$$V_{\text{ср}} = \frac{S}{\frac{S}{2V_1} + \frac{S}{2V_2}} = \frac{2V_1V_2}{V_1 + V_2} = \frac{2 \cdot 22,2 \cdot 27,7}{22,2 + 27,7} = 24,6 \text{ м/с}.$$

Ответ: $V_{\text{ср}} = 24,6 \text{ м/с}$.

2. Приведены зависимости координаты x и проекции скорости V_x от времени:

$$1) x = A + Bt; \quad 2) x = A - Bt - Ct^2; \quad 3) x = A - Bt;$$

$$4) V_x = B - Ct; \quad 5) V_x = -Ct.$$

$$A > 0; \quad B > 0; \quad C > 0.$$

Зависимость, соответствующая равнозамедленному движению . . .
(укажите номер).

Решение.

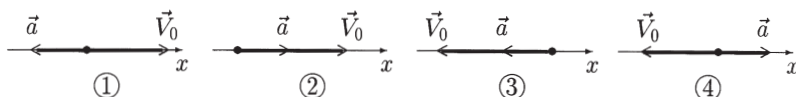
Из приведенных первых трех зависимостей $x(t)$ первая и третья описывают равномерное движение, т.к. x является линейной функцией t . Зависимости под номерами 2, 4, 5 соответствуют равнопеременному движению. Равнозамедленному движению соответствует зависимость 4: $V_x = B - Ct$.

Основанием для такого заключения являются различные знаки проекций скорости и ускорения. Это следует из сравнения равенства 4 с известной формулой $V_x = V_{ox} + a_x t$, где $V_{ox} = B$; $a_x = -C$.

Ответ: номер 4.

3. На рисунках 1 – 4 показаны векторы скорости в начальный момент времени и векторы ускорения материальной точки.

$$|\vec{V}_0| = 2 \text{ м/с}, \quad |\vec{a}| = 5 \text{ м/с}^2.$$



Зависимости $V_x(t) = 2 - 5t$ соответствует рисунок . . .

укажите номер

Решение.

Анализ приведенной в условии задачи зависимости позволяет сделать вывод, что проекции скорости и ускорения $V_{ox} > 0$, $a_x < 0$. Этому случаю соответствует рис. 1, т.к. начальная скорость $\vec{V}_0$ направлена в положительном направлении оси x вправо, а ускорение $\vec{a}$ направлено в отрицательном направлении оси x т.е. против скорости.

Ответ: номер 1.

4. На рисунке показаны вектор скорости в начальный момент времени и вектор ускорения материальной точки.

$$|\vec{V}_0| = 3 \text{ м/с}, \quad |\vec{a}| = 2 \text{ м/с}^2, \quad x_0 = 0 \text{ м}.$$



Такому расположению векторов соответствует зависимость $x(t) = . . .$

Решение.

Устанавливаем знак проекций начальной скорости и ускорения: $V_{ox} < 0$, $a_x > 0$. Тело движется в отрицательном направлении оси x замедленно. Соответствующая этому движению зависимость имеет вид:

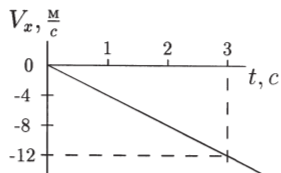
$$x(t) = V_{ox}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

Подставляя значения V_{x0} и a_x в предыдущую формулу, получим

$$x(t) = -3t + \frac{2t^2}{2} = (-3t + t^2) \text{ м}.$$

Ответ: $(-3t + t^2) \text{ м}$.

5. На рисунке приведен график зависимости проекции скорости тела на ось x от времени. Координата тела в момент времени $t = 0$ $x_0 = -3$ м. При движении тела его координата изменяется со временем по закону . . .



Решение.

Анализ графика позволяет сделать вывод о том, что тело движется в отрицательном направлении оси x равноускоренно, так как проекция скорости $V_x < 0$ и линейно возрастает по модулю. Вычислим ускорение данного тела:

$$a_x = \frac{V_x - V_{x0}}{\Delta t} = \frac{-12 - 0}{3} = -4 \text{ м/с}^2.$$

Тогда $x(t) = -3 - \frac{4t^2}{2} = (-3 - 2t^2)$ м.

Ответ: $x(t) = (-3 - 2t^2)$ м.

6. Два тела движутся так, что их координаты меняются с течением времени по законам $x_1 = 8t$ (м), $x_2 = 10 + 2t$ (м).

Первое тело догонит второе через . . . секунд.

численное значение.

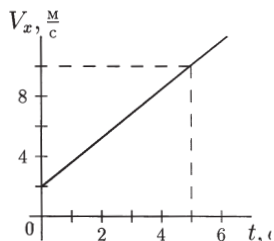
Решение.

Так как зависимости $x(t)$ для обоих тел линейные, то можно сделать вывод о том, что они движутся равномерно, но с разными скоростями: $V_{1x} = 8$ м/с; $V_{2x} = 2$ м/с. В начальный момент времени ($t = 0$) их координаты x_1 и x_2 равны соответственно 0 и 10 м. В некоторый момент времени t первое тело догонит второе, т.е. их координаты станут одинаковыми: $x_1 = x_2$. Это равенство позволяет найти время t

$$8t = 10 + 2t; \quad 6t = 10; \quad t = \frac{10}{6} = 1,7 \text{ с.}$$

Ответ: 1,7 с.

7. Тело движется вдоль оси ox . На рисунке приведен график зависимости проекции скорости тела от времени. В момент времени $t = 0$ координата тела $x_0 = 2$ м. Координата тела в момент времени $t = 5$ с равна . . .
численное значение



Решение.

Анализируя график, можно сделать вывод, что тело движется равноускоренно в положительном направлении оси x . Зависимость координаты от времени выражается законом

$$x(t) = x_0 + V_{ox}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

Начальная скорость тела $V_{ox} = 2$ м/с; ускорение определим по формуле

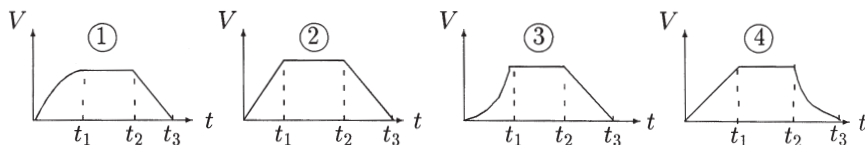
$$a_x = \frac{V_x - V_{x0}}{\Delta t} = \frac{10 - 2}{5} = \frac{8}{5} = 1,6 \text{ м/с}^2.$$

Координата тела в момент времени $t = 5$ с равна

$$x = 2 + 2 \cdot 5 + \frac{1,6 \cdot 25}{2} = 32 \text{ м.}$$

Ответ: 32 м.

8. Кабина лифта в промежутке времени от 0 до t_1 двигалась равноускоренно, в промежутке времени от t_1 до t_2 – равномерно, в промежутке времени от t_2 до t_3 – равнозамедленно. Указанному движению соответствует



приведенный на рисунке график зависимости скорости от времени . . .
укажите номер

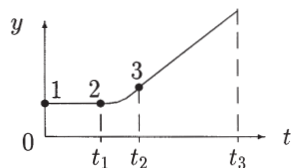
Решение.

В промежутке времени от 0 до t_1 движение кабины лифта равноускоренное, т.е. скорость движения лифта линейно возрастает со временем; от t_1

до t_2 – движение равномерное, т.е. $V = const$; от t_2 до t_3 – движение равнозамедленное, т.е. скорость должна уменьшаться линейно со временем. Всем этим условиям удовлетворяет график 2.

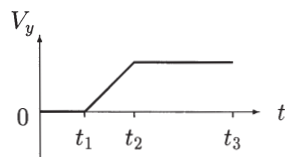
Ответ: номер 2.

9. Используя график зависимости координаты тела от времени $y(t)$, изобразите график зависимости проекции скорости тела V_y от времени (участок 2-3 – парабола).



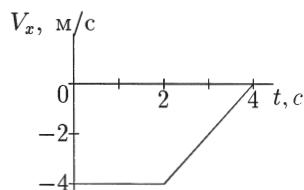
Решение:

На участке 1-2 – тело покоится ($y = const$), т.е. его скорость $V_y = 0$; на участке 2-3 – движется равноускоренно, т.е. V_y линейно растет со временем; на участке 3-4 – тело движется равномерно, т.е. его скорость $V_y = const$.



10. На рисунке показаны график зависимости проекции скорости тела V_x от времени.

Путь, пройденный телом за 4 с, равен . . .
численное значение



Решение.

Путь, пройденный телом, численно равен площади фигуры, ограниченной осью времени, графиком скорости и вертикальным отрезком, соответствующему началу движения. Поэтому можно, рассчитав площадь трапеции, определить величину пути. Как известно, площадь трапеции равна произведению полусуммы оснований на высоту. Поэтому $S = \frac{4+2}{2} \cdot 4 = 12$ м.

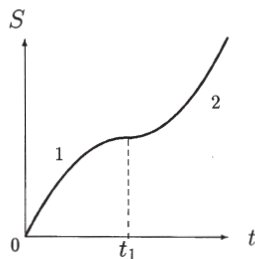
Ответ: $S = 12$ м.

11. Тело, брошенное вертикально вверх, через некоторое время упало на Землю. Изобразите график зависимости пути S , пройденного телом, от времени.

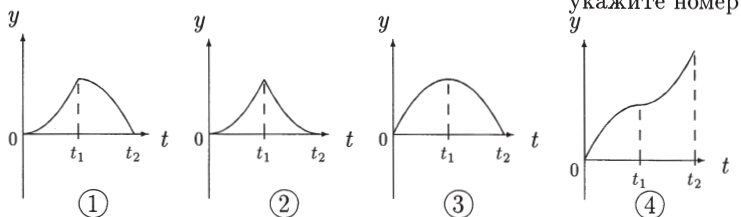
Решение.

Тело движется вверх равнозамедленно с ускорением свободного падения g . Графически – это парабола 1.

При падении на Землю тело движется равноускоренно с ускорением g . На графике – это парабола 2.



12. Стрела, выпущенная из лука вертикально вверх с начальной скоростью V_0 , через некоторое время упала на Землю. Движению стрелы соответствует зависимость, изображенная на рисунке . . .



Решение.

При решении предыдущей задачи проанализирован характер движения тела, брошенного вертикально вверх. В отличие от пути координата стрелы при равноускоренном движении вниз уменьшается. Поэтому следует выбрать график $y(t)$ на рис. 3.

1.5 Кинематика вращательного движения тела

При вращении твердого тела вокруг оси каждая точка этого тела описывает окружность с центром на оси. Так как радиус этих окружностей различен, то различными оказываются и скорости движения точек, называемые линейными скоростями. Для описания вращательного движения принято вводить угловую скорость, которая для всех точек тела одна и та же. Для равномерного вращения угловая скорость $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$, где $\Delta\varphi$ – угол поворота радиуса за время Δt , $\omega = \text{const}$ (рис. 7).

Путь, пройденный точкой по дуге окружности, пропорционален углу поворота $S = \Delta\varphi R$.

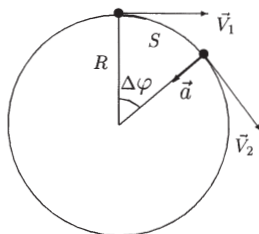


Рис. 7. Движение точки по окружности

Линейная скорость точек тела, движущихся по окружности радиуса R , равна:

$$V = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R\nu = \omega R,$$

где T – период вращения, ν – частота, ω – угловая скорость.

При движении тела по окружности линейная скорость изменяет свое направление. Поэтому даже в случае равномерного движения тело всегда имеет ускорение, направленное к центру окружности и потому называемое центростремительным. Величина этого ускорения равна:

$$a = \frac{V^2}{R} = \omega^2 R.$$

Методические указания к решению задач

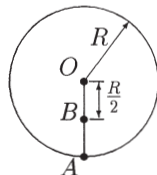
Задачи на кинематику вращательного движения не так разнообразны, как в случае поступательного движения. Для их решения необходимо владеть понятиями угловой и линейной скоростей, периода вращения, частоты, центростремительного ускорения и знать формулы, связывающие перечисленные величины между собой.

Примеры решения задач

1. На рисунке показан диск радиусом R , равномерно вращающийся относительно оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через точку O .

Отношение центростремительных ускорений точек A и B диска $\frac{a_A}{a_B} = \dots$

численное значение



Решение.

Центростремительные ускорения точек A и B соответственно равны:

$$a_A = \omega^2 R \quad a_B = \omega^2 R/2. \text{ Их отношение } \frac{a_A}{a_B} = \frac{R}{R/2} = 2.$$

Ответ: $\frac{a_A}{a_B} = 2$.

2. Точки земной поверхности, находящиеся на экваторе, за счет суточного вращения Земли движутся с ускорением, равным . . .

численное значение

Радиус Земли равен $6,4 \cdot 10^6$ м.

Решение.

Для расчета центростремительного ускорения можно использовать формулу $a = \omega^2 R$, где R – радиус Земли. $\omega = \frac{2\pi}{T}$, где T – период вращения Земли, равный 24 часам. Тогда

$$a = \frac{(2\pi)^2}{T^2} R = \frac{4 \cdot (3,14)^2 \cdot 6,4 \cdot 10^6}{(24 \cdot 3,6 \cdot 10^3)^2} = 33,6 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $0,0336 \text{ м/с}^2$.

1.6 Относительность движения

Движение одного и того же тела относительно различных систем отсчета может иметь разный характер. К примеру, идущий в вагоне движущегося поезда пассажир, будет иметь разные скорости относительно вагона и относительно Земли. При решении задач, в которых движение тела описывается в двух системах отсчета, одну из которых считают условно неподвижной, другую – подвижной, используют закон сложения скоростей. Этот закон формулируется следующим образом: скорость тела относительно неподвижной системы ($\vec{u}$) равна векторной сумме скорости тела относительно подвижной системы отсчета ($\vec{u}'$) и скорости самой подвижной системы относительно неподвижной ($\vec{v}$), т.е. $\vec{u} = \vec{u}' + \vec{v}$. Скорость $\vec{u}'$ называют относительной скоростью тела.

Методические указания к решению задач

Задачи на относительность движения часто вызывают затруднения у абитуриентов. Основой для их решения является закон сложения скоростей. Необходимо сделать выбор условно неподвижной системы отсчета и подвижной системы. Чаще всего в качестве неподвижной системы выбирают Землю или тела, покоящиеся относительно Земли. В случае, если в задаче заданы движения двух одинаковых тел (например, два поезда), то в качестве подвижной системы отсчета можно выбрать любое тело, так как в этом случае относительная скорость одна и та же. Далее следует выбрать систему координат и от векторной формы закона сложения скоростей необходимо перейти к скалярной форме. В случае движения тела по одной линии выбирают одну ось, проектируют скорости движения тел на эту ось и записывают закон сложения проекций скоростей. В случае движения тел в плоскости выбирают две оси координат и соответственно берутся проекции на обе оси координат. Иногда в условии задачи заданы углы между

векторами скоростей. В этом случае можно построить соответствующие векторы скоростей, определить их из треугольников, пользуясь формулами тригонометрии.

Примеры решения задач

1. Скорость движения теплохода вниз по реке 21 км/час, а вверх – 17 км/час. Скорость течения воды в реке и собственная скорость теплохода равны . . .

численное значение

Решение.

Применим закон сложения скоростей: $\vec{u} = \vec{u}' + \vec{v}$, где $\vec{u}$ – скорость движения теплохода относительно Земли (или берега), $\vec{u}'$ – скорость теплохода относительно воды и $\vec{v}$ – скорость течения воды. Так как скорости теплохода и реки направлены вдоль по одной оси, то векторную сумму можно заменить алгебраической. Тогда для движения вниз по реке: $u_1 = u' + v$; вверх по реке: $u_2 = u' - v$. Вычитая из первого равенства второе получаем $u_1 - u_2 = 2v$, т.е. $v = \frac{21-17}{2} = 2$ км/час. Далее из первого равенства получим, что $u' = u_1 - v = 19$ км/час.

Ответ: $v = 2$ км/час; $u' = 19$ км/час.

2. Два поезда идут навстречу друг другу со скоростями $v_1 = 12$ м/с и $v_2 = 18$ м/с. Скорость второго поезда по отношению к первому . . .

численное значение

Решение.

Пусть подвижная система отсчета связана с первым поездом, неподвижная система – с Землей. Согласно закону сложения скоростей $\vec{v}_2 = \vec{v}'_2 + \vec{v}_1$, где $\vec{v}'_2$ – скорость второго поезда относительно первого. Отсюда $\vec{v}'_2 = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$. Движение происходит вдоль одной оси. Выберем в качестве оси – ось x . Пусть второй поезд идет в положительном направлении оси, а первый – в отрицательном направлении. Найдем проекции векторов скорости на ось x : $v'_2 = v_2 - (-v_1) = v_2 + v_1$; $v'_2 = 12 + 18 = 30$ м/с

Ответ: 30 м/с

3. Капля дождя падает отвесно и оставляет на стекле вагона след под углом $\alpha = 45^\circ$ к вертикали. Скорость вагона $v=10$ м/с. Скорость капли относительно вагона равна . . .

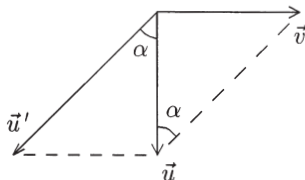
численное значение

Решение.

Применим теорему сложения скоростей: $\vec{u} = \vec{u}' + \vec{v}$, где $\vec{v}$ – скорость вагона, $\vec{u}'$ – скорость капли относительно вагона.

Построим векторы скоростей. Из прямоугольного треугольника найдем

$$u' = \frac{v}{\sin \alpha} = \frac{10}{\sin 45^\circ} = \frac{10}{0,7} = 14,3 \text{ м/с}$$



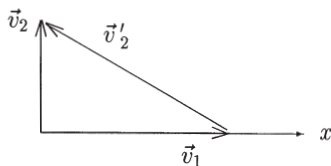
Ответ: 14,3 м/с

4. В море движутся два корабля со скоростями $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ перпендикулярно друг другу. Скорость второго корабля относительно первого (по модулю) равна . . .

выразить через заданные величины

Решение.

Подвижную систему координат свяжем с первым кораблем, приняв что он движется в положительном направлении оси x . Неподвижная система координат связана с водой. Скорость второго корабля в подвижной системе v'_2 . Согласно закону сложения скоростей $\vec{v}_2 = \vec{v}_2' + \vec{v}_1$. Отсюда $\vec{v}_2' = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$.



Построим векторы. Модуль вектора $\vec{v}_2'$ найдем из прямоугольного треугольника по теореме Пифагора

$$v'_2 = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}.$$

Ответ: $v'_2 = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$.

1.7 Движение тела, брошенного под углом к горизонту

Довольно часто приходится иметь дело с движением тел, получивших начальную скорость под некоторым углом к силе тяжести (или к горизонту). Если пренебречь сопротивлением воздуха, то тело, брошенное под углом к горизонту, движется по параболе (рис.1). Примем за начало отсчета (начало координат) точку, из которой было брошено тело. Ось x направим горизонтально, ось y – вертикально. За начало отсчета времени примем момент, в который было брошено тело. В процессе движения на тело действует только сила тяжести, поэтому ускорение тела направлено вертикально вниз и равно $\vec{g}$.

Движение тела можно представить как результат сложения двух прямолинейных движений: равномерного движения со скоростью V_{ox} в горизонтальном направлении и равнопеременного движения с начальной скоростью V_{oy} вдоль оси oy . Начальные условия:

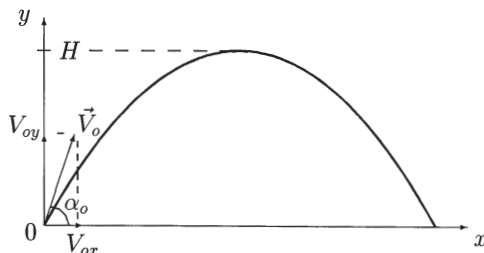


Рис.1 Траектория тела, брошенного под углом к горизонту

$$x_o = 0; \quad y_o = 0; \quad V_{ox} = V_o \cos \alpha_o; \quad V_{oy} = V_o \sin \alpha_o.$$

Проекции ускорения: $a_x = 0; \quad a_y = -g$. Зависимости проекций скорости от времени выражаются уравнениями:

$$V_{ox} = V_o \cos \alpha_o; \quad V_{oy} = V_o \sin \alpha_o - gt.$$

Модуль скорости в любой момент времени: $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$. Координаты тела в момент времени t равны:

$$\begin{aligned} x &= (V_o \cos \alpha_o)t; \\ y &= (V_o \sin \alpha_o)t - \frac{gt^2}{2}. \end{aligned}$$

В верхней точке $V_y = 0$, поэтому $V_o \sin \alpha_o - gt_1 = 0$, $t_1 = \frac{1}{g} V_o \sin \alpha_o$ – время подъема. Тогда наибольшая высота подъема H равна:

$$\begin{aligned} H &= (V_o \sin \alpha_o)t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = \frac{V_o^2 \sin^2 \alpha_o}{g} - \frac{gV_o^2 \sin^2 \alpha_o}{2g^2}; \\ H &= \frac{V_o^2 \sin^2 \alpha_o}{2g}. \end{aligned}$$

Так как время подъема t_1 равно времени падения t_2 , то полное время движения тела:

$$t = t_1 + t_2 = \frac{2V_o \sin \alpha_o}{g}.$$

Движение тела в горизонтальном направлении равномерное, и за время t тело в этом направлении проходит путь

$$S = V_{ox}t = V_o \cos \alpha_o \cdot \frac{2V_o \sin \alpha_o}{g}$$

или

$$S = \frac{V_o^2 \sin 2\alpha_o}{g}.$$

Примеры решения задач

1. Снаряд вылетел из пушки со скоростью $V_o = 600 \text{ м/с}$, направленной под углом $\alpha_o = 60^\circ$ к горизонту. Дальность полета снаряда и максимальная высота его подъема соответственно равны . . .

(Сопротивлением воздуха пренебречь) численное значение

Решение.

Примем за начало координат точку, в которой находится орудие, ось ox направим горизонтально в сторону движения снаряда, а ось oy – вертикально вверх. Для расчета используем формулы, выведенные в предыдущем разделе. Дальность полета

$$S = \frac{V_o^2 \sin 2\alpha_o}{g} = \frac{600^2 \sin^2 (120)}{9,8} = 32 \cdot 10^3 \text{ м} = 32 \text{ км}.$$

Максимальная высота полета

$$H = \frac{V_o^2 \sin^2 \alpha_o}{2g} = \frac{600^2 \cdot 3/4}{2 \cdot 9,8} \approx 13,76 \cdot 10^3 \text{ м} = 13,76 \text{ км}.$$

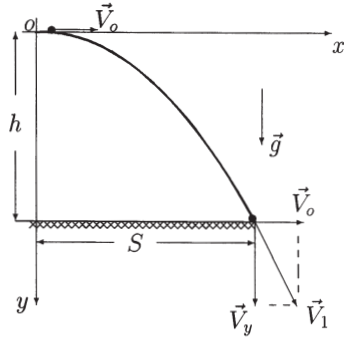
Ответ: $S = 32 \text{ км}; \quad H = 13,76 \text{ км}.$

2. Камень брошен с вышки в горизонтальном направлении, через время $t = 2 \text{ с}$ он упал на землю на расстоянии $S = 40 \text{ м}$ от основания вышки. Высота вышки h и модуль конечной скорости V соответственно равны . . .

(Сопротивлением воздуха пренебречь) численное значение

Решение.

Точку бросания камня примем за начало координат O , ось oy проведем вертикально вниз, ось ox – горизонтально (рис.). В этой системе координат движение камня можно представить как результат сложения двух прямолинейных движений: равномерного со скоростью $V_x = V_o$ в горизонтальном направлении и равноускоренного движения с ускорением $\vec{g}$ в вертикальном направлении.



Начальные условия: $x_o = 0$; $y_o = 0$; $V_{ox} = V_o$; $V_{oy} = 0$. Значения проекций ускорения на оси координат равны: $a_x = 0$; $a_y = g$. Тогда уравнения для координат и проекций скоростей запишем в виде:

$$\begin{aligned}x &= V_o t; & y &= \frac{gt^2}{2} \\V_x &= V_o; & V_y &= gt.\end{aligned}$$

В момент падения $y = h$; $x = S$; $t = t_1$, поэтому $S = V_o t_1$; $h = \frac{gt_1^2}{2}$. Откуда найдем $V_o = \frac{S}{t_1} = \frac{40}{2} = 20$ м/с; $h = \frac{9,8 \cdot 2^2}{2} = 19,6$ м. Модуль конечной скорости камня

$$V_1 = \sqrt{V_o^2 + gt_1^2} = \sqrt{20^2 + 9,8^2 \cdot 2^2} \approx 28 \text{ м/с.}$$

Ответ: $h = 19,6$ м; $V_1 = 28$ м/с.

1.8 Задачи для самостоятельного решения

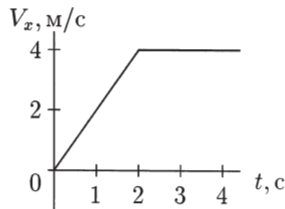
1. Первую половину пути машина двигалась со скоростью 80 км/час, а вторую половину пути со скоростью вдвое меньшей. Средняя скорость движения машины на всем пути . . .

численное значение

2. Тело начинает двигаться вдоль оси x из начала координат. На рисунке изображена зависимость проекции скорости V_x от времени.

Средняя скорость тела в интервале от $t = 0$ до $t = 4$ с равна . . .

численное значение



3. Точка движется по окружности радиуса $R = 0,2$ м. Первую половину окружности точка проходит за $\Delta t_1 = 3$ с, а вторую половину окружности за $\Delta t_2 = 2$ с. Средняя скорость движения точки равна . . .

численное значение

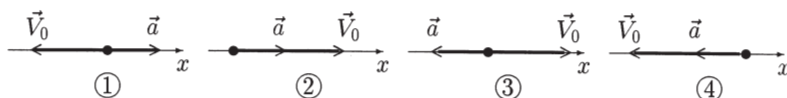
4. Пароход плывет по реке от пункта A до пункта B со скоростью $V_1 = 10$ км/час, а обратно со скоростью $V_2 = 20$ км/час.

Средняя скорость парохода равна . . .

численное значение

5. На рисунках 1 – 4 показаны векторы скорости в начальный момент времени и векторы ускорения материальной точки.

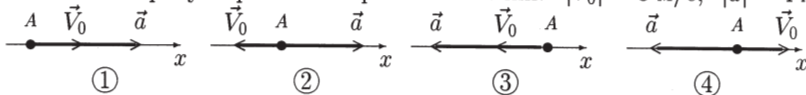
$|\vec{V}_0| = 5$ м/с, $|\vec{a}| = 2$ м/с².



Зависимости $V_x(t) = -5 + 2t$ соответствует рисунок . . .

укажите номер

6. На рисунках 1 – 4 показаны векторы скорости в начальный момент времени и векторы ускорения материальной точки. $|\vec{V}_0| = 3$ м/с, $|\vec{a}| = 4$ м/с².



Зависимости $x(t) = -3t + 2t^2$ соответствует рисунок . . .

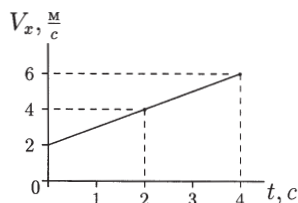
укажите номер.

7. Скорость тела, движущегося вдоль оси x , меняется с течением времени по закону $V = B + Ct$ ($B = 2$ м/с, $C = 3$ м/с²).

За первые 2 с движения из точки с координатой $x_0 = 0$ м тело пройдет путь, равный . . . (численное значение)

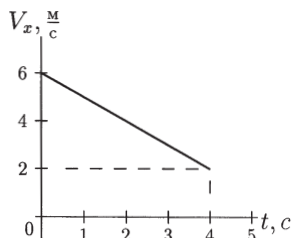
8. На рисунке приведен график зависимости проекции скорости тела на ось x от времени. При движении тела его скорость изменяется со временем по закону

$$V_x(t) = \dots$$



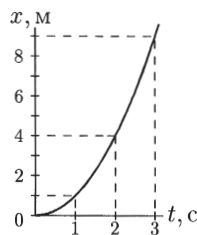
9. Тело движется вдоль оси ox . На рисунке приведен график зависимости проекции скорости тела от времени. В момент времени $t = 0$ координата тела $x_0 = -2$ м. Координата тела в момент времени $t = 4$ с равна . . .

численное значение



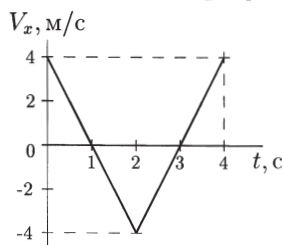
10. Тело движется вдоль оси ox . На рисунке приведен график зависимости координаты x тела от времени (кривая на рисунке – парабола). В момент времени $t = 0$ проекция скорости тела $V_x = 0$. Проекция скорости тела в момент времени $t = 3$ с равна . . .

численное значение.



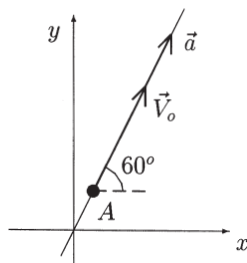
11. Тело движется вдоль оси x . На рисунке изображен график зависимости проекции скорости тела V_x от времени. Модуль перемещения тела за первые 4 с равен . . .

численное значение



12. Тело A движется прямолинейно в плоскости xoy . На рисунке изображено взаимное расположение векторов начальной скорости $\vec{V}_0$ и ускорения $\vec{a}$. В момент времени $t=0$ $x_0 = 2$ м, $|\vec{V}_0| = 3$ м/с, $|\vec{a}| = 2$ м/с². Координата тела x от времени изменяется по закону

$$x(t) = \dots$$

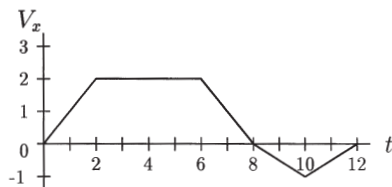


13. Тело из состояния покоя начинает двигаться вдоль прямой с постоянным ускорением $a = 10 \text{ м/с}^2$. За четвертую секунду движения тело проходит расстояние, равное . . .

численное значение

14. На рисунке представлен график зависимости проекции скорости тела от времени. В момент времени $t_0 = 0$ координата тела $x_0 = 0$. Координата тела (по модулю) имеет максимальное значение в момент времени, равный . . .

численное значение



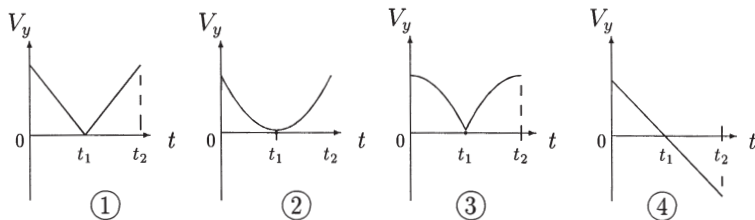
15. Материальная точка, имеющая начальную скорость 2 м/с , двигалась вдоль оси x первые 3 с равномерно, следующие 3 с равноускоренно ($a = 2 \text{ м/с}^2$). За все время движения точка прошла путь, равный . . .

численное значение

16. Стрела, выпущенная из лука вертикально вверх с начальной скоростью V_0 , через некоторое время упала на Землю. Движению стрелы соответствует зависимость проекции скорости $V_y(t)$, изображенная на рисунке . . .

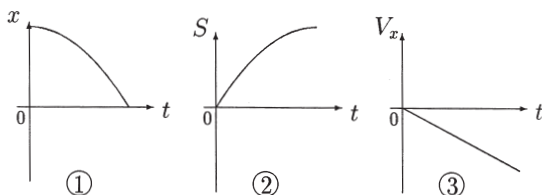
(Ось y направлена вертикально вверх.)

укажите номер



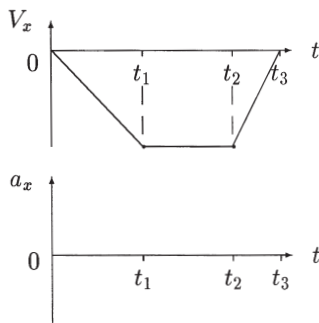
17. На рисунках представлены графики зависимости координаты x , пути S , проекции скорости V_x тела от времени.

Равнозамедленному движению соответствует график . . .
укажите номер

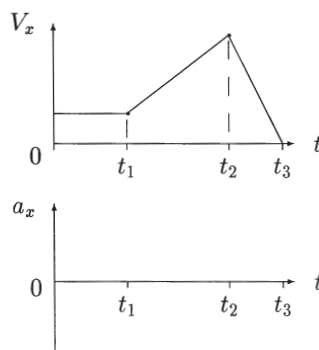


18. Два тела движутся так, что их координаты меняются с течением времени по законам $x_1 = -5t$ (м), $x_2 = 3 - 6t$ (м). Второе тело догонит первое через . . . секунд.

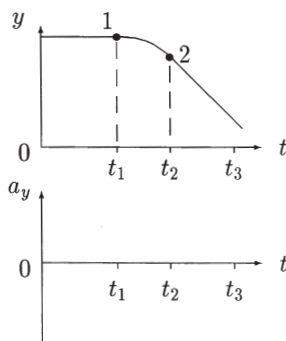
численное значение.



19. Используя график зависимости проекции скорости тела V_x от времени, изобразите график зависимости проекции ускорения тела a_x от времени.



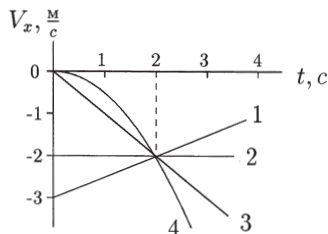
20. Используя график зависимости проекции скорости тела V_x от времени, изобразите график зависимости проекции ускорения тела a_x от времени.



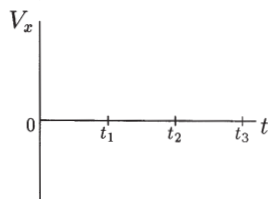
21. Используя график зависимости координаты тела y от времени, изобразите график зависимости проекции ускорения тела a_y от времени (участок 1-2 – парабола).

22. На рисунке приведены графики зависимостей проекции скорости четырех тел от времени. Наибольший путь за 2 с прошло тело . . .

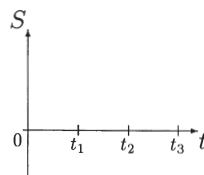
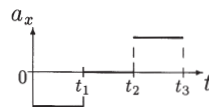
укажите номер



23. Тело движется в направлении оси ox . В момент времени $t = 0$ проекция вектора скорости $V_x = 0$. Используя график зависимости проекции вектора ускорения от времени, изобразите график зависимости проекции вектора скорости от времени.

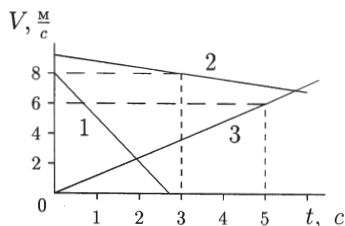


24. Используя график зависимости проекции вектора ускорения тела от времени, изобразите график зависимости пути, пройденного телом, от времени. В момент времени $t = 0$ проекция вектора скорости тела $V_x = 0$.



25. Из графиков, представленных на рисунке, движению с минимальным по модулю ускорением соответствует график . . .

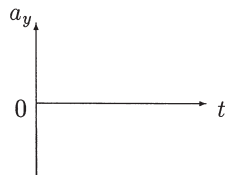
укажите номер



26. Поезд, достигнув скорости 15 м/с , стал двигаться равнозамедленно с ускорением $0,4 \text{ м/с}^2$. Скорость поезда уменьшится в три раза через время t , равное . . .

численное значение

27. Тело, брошенное вертикально вверх, через некоторое время падает на Землю. Изобразите график зависимости проекции ускорения a_y от времени. Ось y направлена вертикально вверх.



28. Тело падает с высоты $H = 490$ м. За последнюю секунду падения тело прошло путь, равный . . .

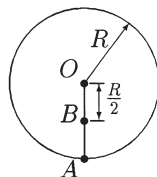
численное значение

29. Две материальные точки движутся по окружностям радиусами R_1 и R_2 , причем $R_1 = 2R_2$. При равенстве линейных скоростей точек отношение их центростремительных ускорений $\frac{a_1}{a_2} = . . .$

численное значение

30. На рисунке показан диск радиусом R , равномерно вращающийся относительно оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через точку O . Отношение угловых скоростей точек A и B диска $\frac{\omega_A}{\omega_B} = . . .$

численное значение



31. Из некоторой точки одновременно начинают двигаться в одном направлении два тела с ускорениями $a_1 = 10$ м/с² и $a_2 = 2$ м/с².

Скорость первого тела относительно второго через 3 с после начала движения равна . . .

численное значение

32. Вдоль оси ox движутся две частицы так, что проекции их скоростей изменяются в зависимости от времени по законам

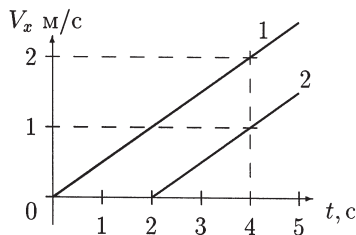
$$V_{x1} = 6 - 2t \text{ (м/с)}, \quad V_{x2} = -4 - 2t \text{ (м/с)}.$$

Скорость второй частицы относительно первой (по модулю) в момент времени $t = 0$ равна . . .

численное значение

33. Два тела движутся в направлении оси ox . На рисунке изображены графики зависимости проекций векторов скорости этих тел от времени. В интервале времени между 2 с и 4 с расстояние между телами увеличилось на . . .

численное значение



34. С платформы, движущейся по горизонтальной поверхности со скоростью $V_1 = 10$ м/с, вертикально вверх стартует ракета со скоростью $V_2 = 20$ м/с. Скорость ракеты относительно Земли равна . . .

численное значение

35. Две частицы равномерно движутся в плоскости xoy . Проекция векторов скоростей частиц имеют значения

$$V_{1x} = -6 \text{ м/с}, \quad V_{1y} = 0; \quad V_{2x} = 0, \quad V_{2y} = 8 \text{ м/с}.$$

Относительная скорость частиц (по модулю) равна . . .

численное значение

36. Капля дождя падает отвесно и оставляет на стекле вагона след под углом $\alpha = 60^\circ$ к вертикали. Скорость капли относительно вагона $V = 20$ м/с. Скорость вагона относительно Земли равна . . .

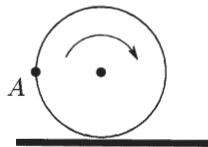
численное значение

37. Два камня падают в колодец. Один камень начал падение на 2 с раньше другого. Относительная скорость (по модулю) между камнями через 3 с после начала падения первого камня равна . . .

численное значение

38. Диск катится по горизонтальной поверхности с постоянной скоростью. Частота вращения диска ν , радиус R . Скорость точки A диска относительно поверхности $V_A = \dots$

выразить через заданные величины



39. В лифте, движущемся вниз равноускоренно с ускорением a , пассажир роняет авторучку. К моменту времени t после начала падения авторучка по отношению к лифту имела скорость $V = \dots$

выразить через заданные величины

40. В лифте, движущемся вниз равноускоренно с ускорением a , пассажир роняет авторучку. За время t после начала падения авторучка по отношению к лифту пролетела расстояние $S = \dots$

выразить через заданные величины

41. Камень брошен под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту со скоростью $V_0 = 10$ м/с. Время, через которое камень будет на высоте $h = 1$ м, равно . . .

численное значение

42. Камень брошен горизонтально со скоростью 15 м/с. Горизонтальная и вертикальная составляющие скорости камня через 0,3 с соответственно равны . . .

численное значение

43. Скорость, с которой надо бросить камень горизонтально с высоты H , чтобы дальность полета равнялась этой высоте, $V_0 = . . .$

выразить через заданные величины

44. Мяч брошен под углом 30° к горизонту со скоростью 10 м/с. Максимальная высота подъема и дальность полета соответственно равны . . .

численное значение

45. Угол к горизонту, под которым необходимо бросить тело, чтобы дальность полета равнялась высоте подъема, равен . . .

численное значение

2 Динамика. Законы Ньютона

Раздел механики, в котором изучается движение тел и те физические причины, вызывающие или изменяющие это движение, называется динамикой. Причинами, вызывающими ускорение тела, могут быть воздействия со стороны других тел и влияние свойств той системы отсчета, по отношению к которой рассматривается движение данного тела.

2.1 Сила. Силы в механике

При описании движения тела в инерциальных системах отсчета ускорение тела возникает только в результате его взаимодействия с другими телами. Для количественной характеристики этого взаимодействия тел вводится понятие силы. *Сила* – есть мера взаимодействия тел. При рассмотрении механического движения приходится иметь дело с тремя видами сил: с силой упругости, силой трения и силой тяготения. К ним сводятся все те как будто разнообразные силы, о которых идет речь в задачах.

Упругая сила возникает при деформации тела, она стремится вернуть тело в исходное состояние и направлена в сторону, противоположную смещению частиц тела при деформации. Сила упругости пропорциональна величине смещения x :

$$F = -kx,$$

где k – коэффициент пропорциональности. В случае деформации пружины k – коэффициент жесткости. Силу упругости, действующую на тело со стороны опоры, называют *силой реакции опоры*. Силу упругости, возникающую при растяжении нити, называют *силой натяжения нити*. Одним из проявлений упругой силы является *вес тела*.

В 1667г. Ньютон высказал предположение, что между всеми телами действуют силы взаимного притяжения. Он назвал эти силы *силами тяготения*. Им был сформулирован **закон всемирного тяготения**:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где r – расстояние между телами, G – гравитационная постоянная, равная $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$, m_1, m_2 – массы тел. Одним из проявлений силы всемирного тяготения является – *сила тяжести*, т.е. сила притяжения тел к Земле. Если M – масса Земли, то сила, действующая на тело массой m вблизи поверхности Земли, будет равна

$$F = G \frac{Mm}{R^2}.$$

Это и есть сила тяжести. Обычно ее записывают иначе, вводя ускорение *свободного падения*:

$$g = \frac{F}{m} = G \frac{M}{R^2}.$$

Тогда сила тяжести

$$\vec{F} = m\vec{g}.$$

Сила трения возникает при непосредственном соприкосновении тел и *всегда направлена вдоль по поверхности соприкосновения*. Если тело скользит по поверхности другого тела, то действующую силу трения называют *силой трения скольжения*. Она всегда направлена противоположно направлению скорости движения тела относительно соприкасающегося с ним тела. Сила трения скольжения пропорциональна силе давления N , действующей на тело. Модули этих сил связаны соотношением: $F_{\text{тр}} = \mu N$, где μ – коэффициент трения. Обычно μ меньше единицы.

2.2 Инерциальные системы. Законы Ньютона

Первый закон Ньютона определяет существование систем отсчета, называемых инерциальными. Это системы отсчета, относительно которых тело покоящееся или движущееся равномерно и прямолинейно сохраняет свое состояние до тех пор, пока другие тела не изменят его. Сформулированные в дальнейшем законы будут относиться только к инерциальным системам отсчета.

Опытным путем установлено, что инерциальной системой является система, связанная с Солнцем (гелиоцентрическая). При решении многих задач инерциальной системой считают систему, связанную с Землей, так как ускорение, с которым она движется, достаточно мало. Все системы, которые движутся равномерно и прямолинейно относительно Земли, также являются инерциальными.

Второй закон Ньютона является одним из важнейших законов механики. Его часто называют уравнением движения тела. Математически этот закон записывается следующим образом:

$$\vec{F} = m\vec{a},$$

где $\vec{F}$ есть равнодействующая всех действующих на тело сил:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i.$$

Третий закон Ньютона утверждает, что тела действуют друг на друга с силами, направленными вдоль одной и той же прямой, равными по абсолютному значению и противоположными по направлению, т.е.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 .$$

Следует помнить, что силы, появляющиеся при взаимодействии тел, приложены к разным телам и поэтому они не могут уравнивать друг друга. Уравниваться могут лишь силы, приложенные к одному и тому же телу.

Законы Ньютона позволяют решать любую задачу механики.

Методические указания к решению задач

При решении задач по динамике сначала необходимо выяснить, какие силы действуют на интересующее нас тело и изобразить их на чертеже. Затем следует выбрать систему отсчета. Координатные оси выбираются таким образом, чтобы проекции сил на них выражались возможно более просто. Далее для каждого тела в отдельности составляется уравнение движения (второй закон Ньютона) в векторной форме. Затем эти уравнения записываются в скалярной форме через проекции сил и ускорений на выбранные оси координат. Полученная система уравнений решается относительно искомых величин.

В задачах, где учитывается трение, необходимо находить силу реакции опоры, определяющую силу трения. Для этого составляется уравнение на основании того, что вдоль координатной оси, перпендикулярной скорости тела, ускорение отсутствует, и поэтому сумма проекций сил на эту ось равна нулю.

Примеры решения задач

1. По наклонной плоскости с углом наклона α скользит брусок массой m . Коэффициент трения бруска о плоскость равен μ . Ускорение бруска равно . . . (выразить через заданные величины).

Решение.

Построим чертеж и изобразим действующие силы. На брусок действуют три силы: сила тяжести $m\vec{g}$, сила реакции опоры $\vec{N}$ и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$. Движение бруска рассматриваем по отношению к неподвижной наклонной плоскости. Направим ось x вдоль наклонной плоскости вниз, ось y – перпендикулярно плоскости вверх. Уравнение движения тела: $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}}$.

Запишем это уравнение
в проекции на ось x :

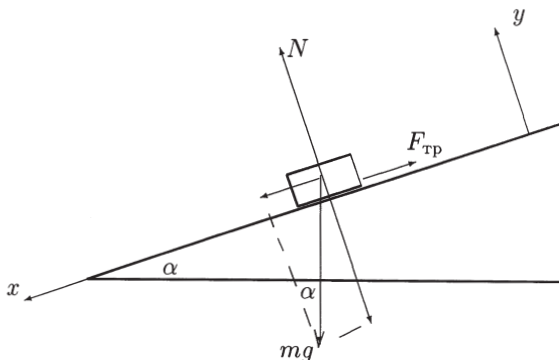
$$ma_x = mg \sin \alpha - F_{\text{тр}},$$

причем $a_x = a$.

В проекции на ось y :

$$0 = -mg \cos \alpha + N$$

или $N = mg \cos \alpha$.

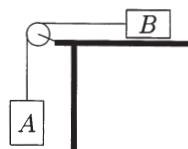


В первое уравнение подставим $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$, получим
 $ma = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha$ или $a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$.

Ответ: $a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$.

2. Невесомый блок укреплен на конце стола. Две гири A и B равной массы соединены нитью, перекинутой через блок. Коэффициент трения гири B о стол $\mu=0,1$. Трением в блоке пренебречь.

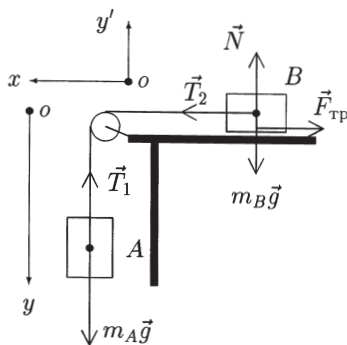
Ускорение, с которым движутся гири, равно . . .



численное значение

Решение.

Сделаем чертеж и укажем силы, действующие на тела A и B . На тело A действуют две силы: сила тяжести $m_A \vec{g}$ и сила натяжения нити (T_1). На тело B действуют четыре силы: сила тяжести $m_B \vec{g}$, сила натяжения нити (T_2), сила реакции опоры ($\vec{N}$), и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$. Из условия невесомости и нерастяжимости нити следует, что оба тела движутся с одинаковым ускорением.



Так же из условия невесомости блока следует, что силы натяжения T_1 и T_2 по модулю одинаковы: $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$. Движение тел будем рассматривать относительно стола. Уравнения движения:

$$\text{тело } A: \quad m_A \vec{a} = \vec{T}_1 + m_A \vec{g};$$

$$\text{тело } B: \quad m_B \vec{a} = \vec{T}_2 + m_B \vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N}.$$

Для тела А выберем ось y , направленную вертикально вниз. Проектируем действующие силы на эту ось:

$$m_A a = m_A g - T. \quad (1)$$

Для тела В ось x направим по горизонтали влево, y' – перпендикулярно к ней вверх.

Уравнение движения тела в проекциях

$$\text{на } x: \quad m_B a = T - F_{\text{тр}}; \quad (2)$$

$$\text{на } y': \quad 0 = N - m_B g. \quad (3)$$

Уравнение (3) используется для определения силы трения:

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu \cdot m g.$$

Решив систему уравнений (1) и (2) для случая $m_A = m_B = m$, получим для ускорения: $a = \frac{g(1-\mu)}{2}$.

Ответ: $a = \frac{g(1-\mu)}{2}$.

3. Груз, подвешенный на пружине:

1 - покоится,

2 - равноускоренно движется вверх,

3 - равноускоренно движется вниз.

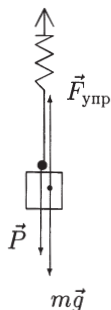
Укажите, в каком из перечисленных случаев вес тела будет наибольшим . .
укажите номер

Решение.

Вес тела – это сила, с которой тело действует на опору или на подвес. Рассмотрим последовательно три случая, указанные в задаче.

1). Груз, подвешенный на пружине, покоится.

Изобразим действующие силы. На груз действуют: $m\vec{g}$ – сила тяжести, $F_{\text{упр}}$ – сила упругости пружины. По третьему закону Ньютона груз действует на пружину с такой же по модулю силой, но направленной вниз. Эта сила есть вес тела, т.е. $|\vec{P}| = |\vec{F}_{\text{упр}}|$. Если тело вместе с подвесом покоится относительно Земли (или движется равномерно и прямолинейно), то $a = 0$ и $mg = F_{\text{упр}}$. Т.е. в этом случае вес тела равен силе тяжести: $P = mg$.



2). Груз движется равноускоренно вверх.

Изобразим действующие на груз силы $\vec{F}_{\text{упр}}$ и $m\vec{g}$. Под действием этих двух сил тело движется вверх равноускоренно. Уравнение движения тела: $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{\text{упр}}$. Выберем ось y , направленную вертикально вверх. Уравнение движения в проекции на эту ось:

$$ma = F_{\text{упр}} - mg;$$

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

$P = m(g + a)$, т.е. $P > mg$.

3). Груз равноускоренно движется вниз.

Изобразим действующие силы и напомним уравнение движения: $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{\text{упр}}$.

Выберем ось y , направленную вертикально вниз. Уравнение движения в проекции на эту ось:

$$ma = mg - F_{\text{упр}};$$

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

$P = m(g - a)$, т.е. $P < mg$. Таким образом из рассмотренных случаев вес тела наибольший во втором случае.

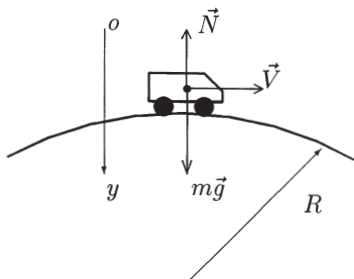
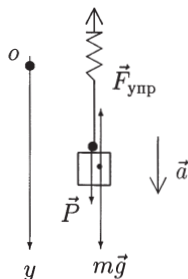
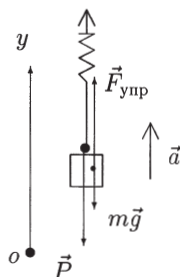
Ответ: 2.

4. Танк массой $5 \cdot 10^4$ кг движется по выпуклому мосту со скоростью 10 м/с. Радиус кривизны моста 500 м. Сила давления танка на середину моста равна . . . (численное значение)

Решение.

На танк действуют две силы: сила тяжести $m\vec{g}$ и сила реакции моста $\vec{N}$. Изобразим их на рисунке. Согласно третьему закону Ньютона, сила $\vec{P}$, с которой танк действует на мост, по модулю равна силе реакции моста и направлена вертикально вниз: $|\vec{P}| = |\vec{N}|$. Силу реакции $\vec{N}$ найдем из второго закона Ньютона:

$$m\vec{a} = \vec{N} + m\vec{g}.$$



Выберем ось y , направленную вертикально вниз. Ускорение танка a является центростремительным, оно направлено к центру окружности. Второй закон Ньютона в проекции на ось y :

$$ma = mg - N \quad \text{или} \quad N = mg - m \frac{V^2}{R} = m \left(g - \frac{V^2}{R} \right).$$

Таким образом сила давления танка на мост (вес танка) равна:

$$P = m \left(g - \frac{V^2}{R} \right) = 5 \cdot 10^4 \left(9,8 - \frac{10^2}{5 \cdot 10^2} \right) = 48 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Ответ: $48 \cdot 10^4 \text{ Н.}$

5. На некотором расстоянии R от поверхности Земли сила притяжения космического корабля к Земле уменьшилась в 100 раз.

Радиус Земли R_3 . Отношение $\frac{R}{R_3} =$
численное значение

Решение.

Применим закон всемирного тяготения. Если тело находится на поверхности Земли, то сила его притяжения к Земле $F_1 = G \frac{mM}{R_3^2}$. На некотором расстоянии R от поверхности Земли сила притяжения $F_2 = G \frac{mM}{(R_3+R)^2}$. Отношение сил

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{GmM(R_3+R)^2}{R_3^2 GmM} = \frac{(R_3+R)^2}{R_3^2}.$$

$$\frac{R_3+R}{R_3} = \sqrt{\frac{F_1}{F_2}} = 10; \quad \frac{R}{R_3} + 1 = 10; \quad \frac{R}{R_3} = 9.$$

Ответ: $\frac{R}{R_3} = 9.$

2.3 Статика

Статика – раздел механики, в котором изучаются условия равновесия материальных тел под действием приложенных сил. Равновесие тела – состояние, при котором тело находится в покое по отношению к рассматриваемой системе отсчета. Для равновесия материальной точки необходимо и достаточно, чтобы векторная сумма всех сил, приложенных к точке, была равна нулю.

Равновесие твердого тела зависит не только от модуля и направления действующих сил, но и от точки приложения сил. Если линия действия сил

проходит через центр масс тела (т. C), то эти силы могут вызывать только поступательное движение тела (рис. 1). Для равновесия тела в этом случае необходимо, чтобы сумма внешних сил, действующих на тело, была равна нулю, т.е.

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0.$$

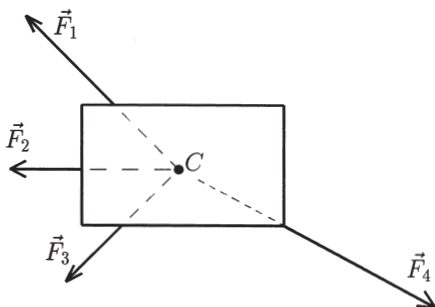


Рис.1 Равновесие твердого тела

Если линии действия сил не проходят через центр масс, то эти силы вызывают поворот тела и оно может вращаться вокруг некоторой оси. Сила, действующая на тело, закрепленное на оси, только тогда может вызвать его вращение, когда направление силы не проходит через ось. При этом вращательное действие силы зависит не только от ее величины, но и от расстояния между осью вращения и линией действия силы.

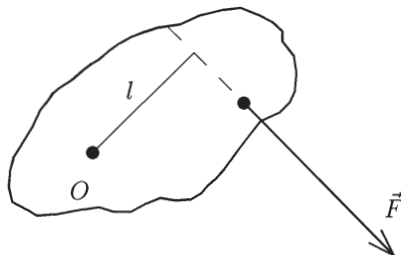


Рис.2 Плечо силы $\vec{F}$

Кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы, называется плечом силы. На рис. 2 плечо силы $\vec{F}$ обозначено буквой l . Величина, характеризующая вращательное действие силы, называется *моментом силы*. Он равен произведению силы на плечо: $M = F \cdot l$. Условимся считать моменты сил, вращающих тело по часовой стрелке, положительными, а моменты сил, вращающих тело против часовой стрелки, – отрицательными. При равновесии тела, имеющего неподвижную ось вращения, алгебраическая сумма моментов всех сил, действующих на тело, равна нулю

$$\sum_{i=1}^n M_i = 0.$$

Методические указания к решению задач

При решении задач на статику необходимо сделать чертеж и изобразить на нем все силы, действующие на рассматриваемое тело. Выбрать систему координат и при этом направить оси координат так, чтобы проекции сил на них выражались, по возможности, более просто. Найти проекции

всех действующих сил на оси ox и oy и записать, что алгебраическая сумма проекций сил на выбранные оси равна нулю

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; \quad \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0.$$

Составить уравнение для моментов сил относительно оси вращения: алгебраическая сумма моментов всех сил равна нулю

$$\sum_{i=1}^n M_i = 0.$$

При этом моменты сил, вращающих тело по часовой стрелке, считают положительными, а моменты сил, вращающих тело против часовой стрелки – отрицательными.

Примеры решения задач

1. Шар радиусом R и массой m висит на веревке длиной l , прикрепленной к гладкой стене.

Сила давления шара на стенку $P = \dots$
выразить через заданные величины

Решение.

На шар действуют три силы: сила тяжести $m\vec{g}$, сила натяжения веревки $\vec{T}$, и сила реакции стены $\vec{N}$ (см. рис.). Шар находится в равновесии, поэтому выполняется условие:

$$\vec{T} + m\vec{g} + \vec{N} = 0.$$

Проектируем это уравнение на оси ox и oy :

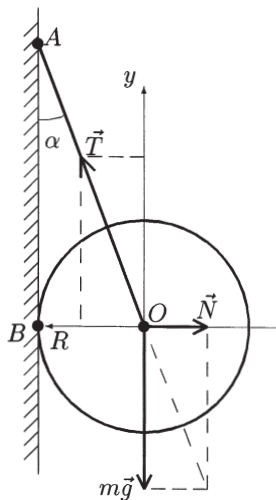
$$\begin{aligned} N - T \sin \alpha &= 0 \\ T \cos \alpha - mg &= 0. \end{aligned}$$

Отсюда $N = mg \cdot \operatorname{tg}(\alpha)$. Из треугольника AOB находим

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{OB}{AB} = \frac{R}{\sqrt{(l+R)^2 - R^2}} = \frac{R}{\sqrt{l^2 + 2Rl}}.$$

Тогда

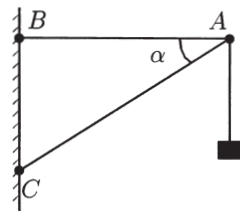
$$N = \frac{mgR}{\sqrt{l^2 + 2Rl}}.$$



Сила давления шара на стенку P , по третьему закону Ньютона равна модулю N и направлена в противоположную сторону $P = |N|$.

Ответ: $P = \frac{mgR}{\sqrt{l^2 + 2Rl}}$.

2. Угол между стержнями AB и AC (см. рис.) равен 60° , сила тяжести груза 900 Н . Силы, действующие на стержни AB и AC , равны . . . численное значение



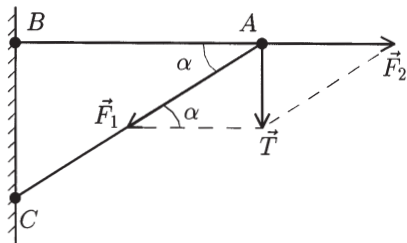
Решение.

В точке A на стержни действует сила натяжения нити $\vec{T}$, равная силе тяжести груза $\vec{T} = m\vec{g}$. Разложим $\vec{T}$ на составляющие. Искомые силы F_1 и F_2 легко определить из треугольника сил:

$$F_1 = \frac{mg}{\sin \alpha}; \quad F_2 = \frac{mg}{\operatorname{tg}(\alpha)};$$

$$F_1 = \frac{900}{\sin 60^\circ} = \frac{900}{0,866} = 1040 \text{ Н};$$

$$F_2 = \frac{900}{\operatorname{tg}(60^\circ)} = \frac{900}{1,732} = 520 \text{ Н}.$$



Ответ: $F_1 = 1040 \text{ Н}; \quad F_2 = 520 \text{ Н}.$

3. Труба массой 2 т лежит на земле. Наименьшая сила, которую надо приложить, чтобы приподнять трубу за один из ее концов, равна . . . численное значение

Решение.

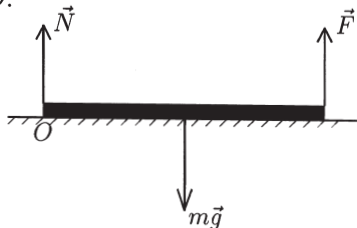
Чтобы приподнять трубу за один из ее концов, нужно приложить к этому концу некоторую силу F , направленную вверх. Пусть l – длина трубы. Уравнение моментов относительно точки O :

$$mg \frac{l}{2} - F \cdot l = 0.$$

Отсюда

$$F = \frac{mg}{2} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 9,8}{2} = 9,8 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

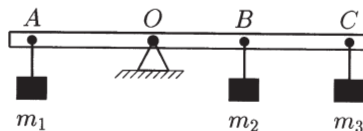
Ответ: $F = 9,8 \text{ кН}.$



4. На рисунке изображен однородный стержень, ось которого проходит через точку O . На нем в точках A и B подвешены грузы массой $0,2$ и $0,4$ кг соответственно. Расстояния: $AO = 0,4$ м; $OB = 0,1$ м; $OC = 0,4$ м.

Масса груза (m_3), который должен быть подвешен в точке C , чтобы стержень находился в равновесии, равна . . .

численное значение



Решение.

Условие равновесия стержня: алгебраическая сумма моментов всех сил, действующих на тело, равна нулю. Создают моменты три силы тяжести m_1g ; m_2g ; m_3g . Моменты сил m_2g и m_3g (M_2 и M_3) – положительные, т.к. вызывают вращения по часовой стрелке. Момент силы m_1g (M_1) – отрицательный. Запишем условие равновесия: $-M_1 + M_2 + M_3 = 0$ или $-m_1g \cdot l_1 + m_2g \cdot l_2 + m_3g \cdot l_3 = 0$, где $l_1 = AO$; $l_2 = OB$; $l_3 = OC$. Из этого уравнения определяем m_3 :

$$m_3 = \frac{m_1g \cdot l_1 - m_2g \cdot l_2}{gl_3} = \frac{m_1l_1 - m_2l_2}{l_3} = \frac{0,4 \cdot 0,2 - 0,1 \cdot 0,4}{0,4} = 0,1 \text{ кг.}$$

Ответ: $m_3 = 0,1$ кг.

2.4 Гидростатика

Гидростатика изучает условия равновесия жидкости. Одной из важнейших характеристик жидкости (и газа) является давление – физическая величина, численно равная силе, действующей в направлении нормали на единицу площади поверхности. Если на поверхность S действует по нормали сила давления F , то давление равно

$$P = \frac{F}{S}.$$

Эта формула верна в случае равномерного распределения давления по поверхности. В системе СИ давление измеряется в Паскалях: $1 \text{ Па} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2}$. Понятия "давление" и "сила давления" совершенно различны. Например, танк массой 40 т может проехать по непроходимому для человека болоту – сила давления танка, конечно, больше, чем человека, а давление меньше.

Закон Паскаля. Жидкость (или газ) передает производимое на нее внешнее давление по всем направлениям одинаково. Это закон Паскаля. Одно из применений этого закона – гидравлический пресс (рис. 3). Два сообщающихся сосуда заполнены жидкостью и закрыты поршнями разной площади.

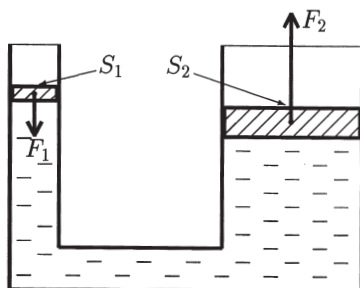


Рис.3 Схема гидравлического пресса

По закону Паскаля давление под поршнями одинаково: $P_1 = P_2$. Пренебрежем малым давлением столба жидкости по сравнению с внешним давлением. Тогда

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}.$$

Т.е. сила давления второго поршня больше силы давления первого во столько раз, во сколько площадь второго поршня больше площади первого. Гидравлический пресс позволяет развить колоссальные силы, используемые для прессования различных изделий из металлов и пластмасс.

Рассмотрим равновесие жидкости в поле сил тяжести. Для любых двух точек в жидкости (A и B) разность давлений численно равна весу столба жидкости с единичной площадью поперечного сечения и высотой, равной разности глубин этих точек (рис. 4) $P_B - P_A = \rho g \Delta h$. Давление жидкости, обусловленное ее весом, называется гидростатическим. На любой глубине h гидростатическое давление равно $P = \rho g h$, где ρ – плотность жидкости.

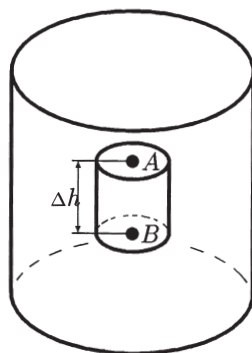


Рис.4 Гидростатическое давление столба жидкости $P_B - P_A = \rho g \Delta h$

Давление по высоте стенки сосуда распределено неравномерно. У верхнего края стенки давление равно атмосферному ($P_{\text{атм}}$). С ростом высоты столба жидкости давление на стенки сосуда растет и у нижнего края давление складывается из атмосферного и давления столба жидкости высо-

той h (P_h). Используют понятие среднего давления на стенку:

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{атм}} + \frac{\rho gh}{2};$$

Из закона Паскаля вытекает закон сообщающихся сосудов: однородная жидкость устанавливается так, что давления во всех точках, расположенных в одной горизонтальной плоскости, одинаковы. В случае одной жидкости $\rho gh_1 = \rho gh_2$ и $h_1 = h_2$, т.е. такая жидкость устанавливается на одном уровне. Если в коленях трубок различные жидкости, то высоты столбов жидкостей в сообщающихся сосудах обратно пропорциональны плотностям жидкостей.

Закон Архимеда. Условия плавания тел. Закон Архимеда определяет величину выталкивающей силы, действующей на тело, погруженное в жидкость (или газ). Закон Архимеда формулируется следующим образом: на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости, вытесненной телом. Возникновение силы Архимеда объясняется различием сил давления, действующих на верхнюю и нижнюю части тела, помещенного в жидкость: $F_{\text{выт}} = \rho_1 g V$, где ρ_1 – плотность жидкости, V – объем жидкости, вытесненной телом.

На тело, погруженное в жидкость, действуют две силы: сила тяжести ($F_{\text{тяж}}$), выталкивающая сила ($F_{\text{выт}}$). Если $F_{\text{тяж}} > F_{\text{выт}}$, то тело опускается вниз; если $F_{\text{тяж}} = F_{\text{выт}}$, то тело находится в равновесии; если $F_{\text{тяж}} < F_{\text{выт}}$, то тело всплывает.

Примеры решения задач

1. К малому поршню гидравлического пресса площадью 5 см^2 приложена сила 100 Н . Площадь второго поршня равна 500 см^2 . Сила давления второго поршня равна . . .
численное значение

Решение.

Сила давления второго поршня больше силы давления первого во столько раз, во сколько площадь второго поршня больше площади первого, т.е. $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$

Отсюда $F_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1} = 100 \cdot 100 = 10^4 \text{ Н} = 10 \text{ кН}$.

Ответ: $F_2 = 10 \text{ кН}$.

2. В цилиндрический сосуд радиусом R налита жидкость. Высота столба жидкости, при которой силы давления жидкости на дно и стенки сосуда

были бы одинаковы, $h = \dots$

выразить через заданные величины

Решение.

Сила гидростатического давления на дно сосуда: $F_1 = \rho gh \cdot S_1 = \rho gh \cdot \pi R^2$. По высоте стенки гидростатическое давление распределено неравномерно. Воспользуемся понятием среднего гидростатического давления жидкости на стенку:

$$P_{\text{ср}} = \frac{\rho gh}{2}.$$

Тогда сила гидростатического давления на стенку равна: $F_2 = P_{\text{ср}} \cdot S_2$, где S_2 – площадь стенки сосуда. Площадь боковой поверхности цилиндра высотой h : $S_2 = 2\pi R \cdot h$. Поэтому

$$F_2 = \frac{\rho gh}{2} \cdot 2\pi R \cdot h.$$

По условию $F_1 = F_2$, поэтому $\rho gh \cdot \pi R^2 = \frac{1}{2} \rho gh \cdot 2\pi R \cdot h$. Отсюда следует, что $h = R$.

Ответ: $h = R$.

3. Однородное тело объемом V плавает на поверхности керосина так, что объем погруженной части составляет 0,92 всего объема тела. Объем погруженной части при плавании тела на поверхности воды равен $\dots$

выразить через заданные величины

(Плотности керосина и воды соответственно равны $0,8 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ и $1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.)

Решение.

Обозначим: V – объем всего тела; $V_{\text{п}}$ – объем погруженной части тела, плавающего в керосине; $V'_{\text{п}}$ – объем погруженной части тела, плавающей в воде. На плавающее тело действует сила тяжести и выталкивающая сила F . Из условия плавания следует равенство этих сил: $mg = F$. В случае плавания тела в керосине

$$mg = \rho_{\text{к}} V_{\text{п}} g = \rho_{\text{к}} \cdot 0,92 V g \quad (1)$$

Условия плавания тела в воде:

$$mg = \rho_{\text{в}} V'_{\text{п}} g, \quad (2)$$

где $\rho_{\text{к}}$ и $\rho_{\text{в}}$ – плотности керосина и воды. Из уравнений (1) и (2) получим

$$\rho_{\text{к}} \cdot 0,92 V g = \rho_{\text{в}} V'_{\text{п}} g; \quad V'_{\text{п}} = \frac{0,92 \rho_{\text{к}}}{\rho_{\text{в}}} V; \quad V'_{\text{п}} = \frac{0,92 \cdot 0,8 \cdot 10^3}{10^3} V \approx 0,74 V.$$

Ответ: $V'_{\text{п}} = 0,74 V$.

3 Законы сохранения в механике

Во многих случаях определение значений сил, действующих на тело, представляет значительные трудности. В таких случаях для решения задач механики используются законы сохранения, являющиеся фундаментальными законами природы.

3.1 Импульс. Законы сохранения импульса

Импульс тела массой m , движущегося со скоростью $\vec{V}$, равен $\vec{P} = m\vec{V}$. Связь импульса и силы для равнопеременного движения $\frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t} = \vec{F}$. Более общая формула:

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F},$$

т.е. сила равна первой производной от импульса тела. Импульс системы тел равен векторной сумме импульсов всех тел системы.

Закон сохранения импульса: импульс замкнутой системы тел остается постоянным при любых взаимодействиях этих тел между собой:

$$\vec{P}_{\text{сист}} = m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 + \dots + m_n\vec{V}_n = \text{const.}$$

Система называется замкнутой, если на нее извне не действуют силы или равнодействующая внешних сил равна нулю.

3.2 Работа. Энергия. Закон сохранения энергии

Работа постоянной силы $\vec{F}$ при прямолинейном движении тела

$$A = F \cdot S \cos \alpha,$$

где S – путь, α – угол между векторами силы и перемещения.

Мощность $N = \frac{A}{t}$ или $N = F \cdot V \cos \alpha$, где α – угол между векторами $\vec{F}$ и $\vec{V}$.

Кинетическая энергия тела массой m , имеющего скорость V , равна: $E_k = \frac{mV^2}{2}$.

Потенциальная энергия тела массой m , поднятого на высоту h относительно Земли, равна $E_p = mgh$. Потенциальная энергия деформации $E_p = \frac{k\Delta x^2}{2}$, где k – коэффициент упругости, Δx – величина деформации.

Закон сохранения механической энергии: сумма кинетической и потенциальной энергии тел, составляющих замкнутую систему и взаимодействующих друг с другом силами тяготения и силами упругости, остается постоянной.

Обычно сумму кинетической и потенциальной энергии системы тел называют *полной механической энергией*.

Если система тел не замкнута, ее полная механическая энергия изменяется на величину работы внешней силы. При наличии силы трения полная механическая энергия не сохраняется. При этом механическая энергия превращается во внутреннюю энергию тела.

Очень часто законы сохранения импульса и энергии применяются при решении задач на соударение тел. Различают два вида удара: абсолютно упругий и абсолютно неупругий.

Абсолютно упругим ударом называется такой удар, при котором полная механическая энергия сохраняется.

Абсолютно неупругим ударом называется такое столкновение тел, в результате которого полная механическая энергия уменьшается вследствие того, что часть ее превращается во внутреннюю энергию.

Закон сохранения импульса выполняется как при абсолютно упругом, так и при неупругом ударе.

Методические указания к решению задач

При решении задач с применением закона сохранения импульса необходимо сначала установить, является ли данная система тел замкнутой. Если система не замкнута, но есть такое направление, что сумма проекций всех внешних сил на него равна нулю, то можно применить закон сохранения импульса для данного направления. В этом случае сумма проекций импульсов всех тел системы на это направление остается постоянной.

Если система замкнута, то законы сохранения импульса записываются в векторном виде

$$m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 + \dots + m_n\vec{V}_n = m_1\vec{V}'_1 + m_2\vec{V}'_2 + \dots + m_n\vec{V}'_n.$$

Затем выбирается система координат так, чтобы проекции скоростей на координатные оси выражались по возможности проще. Если число неизвестных больше числа составленных уравнений, то необходимо добавить к ним уравнения, связывающие кинематические величины, и решать полную систему уравнений.

При решении задач на закон сохранения энергии для замкнутой системы тел записывается равенство $E_{к1} + E_{п1} = E_{к2} + E_{п2}$, где $E_{к1}$ и $E_{п1}$ – соответственно кинетическая и потенциальная энергия системы в начальном состоянии, $E_{к2}$ и $E_{п2}$ – кинетическая и потенциальная энергия системы в конечном состоянии.

Если при переходе системы тел из начального состояния в конечное действовали внешние силы, то записывается равенство

$$(E_{к2} + E_{п2}) - (E_{к1} + E_{п1}) = A,$$

где A – работа внешних сил.

Если в системе действуют силы трения, то изменение внутренней энергии тел (или количество выделившейся теплоты) равно

$$\Delta U = (E_{к1} + E_{п1}) - (E_{к2} + E_{п2}).$$

Примеры решения задач

1. Движение тела массой 1 кг описывается уравнением $x = A + Bt + Ct^2$ (м), где $A = 3$ м; $B = 2$ м/с; $C = 4$ м/с².

Импульс тела в начальный момент времени равен . . .

численное значение

Решение.

Импульс тела в начальный момент времени равен $\vec{P}_0 = m\vec{V}_0$. Движение тела происходит по оси x равноускоренно, т.к. знаки скорости и ускорения одинаковы. Анализируя уравнения движения, получим, что $V_0 = B$. Тогда модуль импульса тела $P_0 = mB = 1 \cdot 2 = 2$ кг · м/с.

Ответ: $P_0 = 2$ кг · м/с.

Примечание: импульс тела в любой момент времени равен $P = mV = m \frac{dx}{dt} = m(B + 2Ct)$.

2. Материальная точка массой m равномерно движется по окружности со скоростью V .

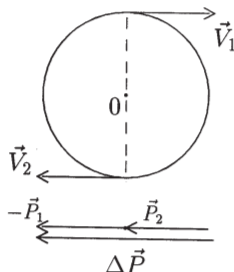
Изменение импульса за половину периода $|\Delta \vec{P}| = . . .$

выразить через заданные величины

Решение.

Изобразим положение тела через половину периода и укажем скорости его движения.

Изменение импульса за половину периода: $\Delta \vec{P} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1$. Изобразим векторы $\vec{P}_2$ и $-\vec{P}_1$. Переходя к модулям, получим: $|\Delta \vec{P}| = |m\vec{V}_2 - m\vec{V}_1| = mV_2 + mV_1 = 2mV$.



Ответ: $|\Delta \vec{P}| = 2mV$.

3. Платформа массой $2 \cdot 10^4$ кг перемещается по горизонтальному участку железнодорожного пути со скоростью $1,5$ м/с. Ее нагоняет платформа массой $1 \cdot 10^4$ кг, движущаяся со скоростью 4 м/с. Скорость платформ после сцепления равна . . .

численное значение

Решение.

На систему тел (две платформы), движущихся в горизонтальном направлении, внешние силы в направлении оси x не действуют. Следовательно, суммарный импульс платформ не изменяется. Запишем закон сохранения импульса:

$$m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 = (m_1 + m_2) \vec{V}.$$

Так как движение тел происходит в одном направлении, то

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) V,$$

где V – скорость платформ после сцепления.

$$V = \frac{m_1 V_1 + m_2 V_2}{m_1 + m_2} = \frac{2 \cdot 10^4 \cdot 1,5 + 1 \cdot 10^4 \cdot 4}{2 \cdot 10^4 + 1 \cdot 10^4} = 2,3 \text{ м/с}$$

Ответ: $2,3$ м/с.

4. Конькобежец массой 60 кг, стоя на коньках на льду, бросает груз массой 10 кг под углом 30° к горизонту со скоростью 6 м/с.

Максимальная скорость конькобежца равна . . .

численное значение

Решение.

Направим ось x по горизонтали. В этом направлении внешние силы на систему тел (конькобежец и груз) не действуют. Согласно закону сохранения импульса сумма проекций импульсов конькобежца и груза на ось x до бросания камня равна сумме проекций и импульсов этих тел после бросания камня:

$$m_1 V_{1x} + m_2 V_{2x} = m_1 V'_{1x} + m_2 V'_{2x}.$$

Так как $V_{1x} = 0$, $V_{2x} = 0$; то $m_1 V'_{1x} + m_2 V'_{2x} = 0$, где m_1 и m_2 – массы груза и конькобежца соответственно. Отсюда

$$V'_{2x} = -\frac{m_1 V'_{1x}}{m_2} = -\frac{m_1 V'_1 \cos \alpha}{m_2} = -\frac{10 \cdot 6 \cdot 0,87}{60} = -0,87 \text{ м/с}.$$

Знак минус означает, что скорости конькобежца и груза (в направлении оси x) направлены в противоположные стороны.

Ответ: $-0,87$ м/с.

5. Под действием силы тело массой m равномерно перемещается по горизонтальной поверхности на расстояние S . Направление силы совпадает с направлением движения, коэффициент трения равен μ .

Совершаемая этой силой работа равна . . .

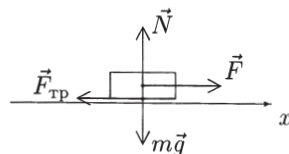
выразить через заданные величины

Решение.

Работа, совершаемая силой, заставляющей перемещаться данное тело, равна: $A = F \cdot S \cos \alpha$. Так как направление силы совпадает с направлением перемещения, то угол $\alpha = 0$ или $\cos \alpha = 1$. Изобразим действующие на тело силы.

Уравнение движения этого тела:

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N} + m\vec{g}$$



Так как $\vec{a} = 0$, то переходя к проекциям сил

на направление оси x , получим: $F - F_{\text{тр}} = 0$;

или $F = \mu N = \mu mg$. Работа силы F равна $A = \mu mgS$.

Ответ: $A = \mu mgS$.

6. Груз массой m поднимают на высоту h с постоянным ускорением a .

Работа, совершаемая при перемещении, $A = . . .$

выразить через заданные величины

Решение.

Работа, совершаемая при перемещении, равна $A = F \cdot h \cos \alpha$, где F - сила, заставляющая тело перемещаться вверх с ускорением a . Направление этой силы совпадает с направлением перемещения, поэтому $\cos \alpha = 1$.

Изобразим силы, действующие на тело и запишем

уравнение движения: $m\vec{a} = \vec{F} + m\vec{g}$. Спроектируем уравнение движения на ось y :

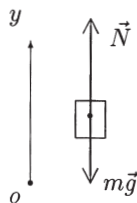
$$ma = F - mg.$$

Найдем силу F :

$$F = ma + mg = m(a + g).$$

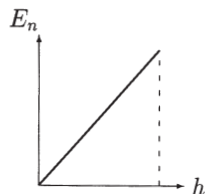
Работа совершаемая при перемещении, равна:

$$A = F \cdot h = m(a + g)h.$$



Ответ: $A = m(a + g)h$.

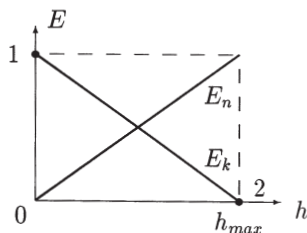
7. На рисунке представлена зависимость потенциальной энергии тела, брошенного вертикально вверх, от расстояния. На том же рисунке изобразите зависимость кинетической энергии этого тела от расстояния. Сопротивлением воздуха пренебречь.



Решение.

Согласно закону сохранения энергии, полная механическая энергия тела остается постоянной, т.е. $E_k + E_n = \text{const}$ в любой точке траектории. Так как при $h = 0$ $E_n = mgh = 0$, то в

этой точке полная энергия тела равна кинетической энергии (точка 1). На высоте h тело имеет скорость, равную нулю, поэтому в этой точке тело имеет только потенциальную энергию и она является полной энергией данного тела (точка 2). Изобразим эти точки на графике. Проведем через точки 1 и 2 прямую, которая представляет зависимость кинетической энергии от расстояния.



8. Тело свободно падает на Землю с высоты h . В некоторый момент времени его кинетическая энергия равна потенциальной.

Скорость тела в этот момент времени $V = \dots$

выразить через заданные величины

Решение.

Согласно закону сохранения энергии сумма кинетической и потенциальной энергии тела является постоянной величиной. Запишем закон сохранения для тела на высоте h и h_1 : $mgh = mgh_1 + E_{k1}$. Так как по условию $E_{k1} = mgh_1$, то $mgh = 2mgh_1$. Определим $h_1 = \frac{h}{2}$; Величина кинетической энергии на высоте $\frac{h}{2}$: $\frac{mV^2}{2} = mg\frac{h}{2}$. Отсюда $V = \sqrt{gh}$.

Ответ: $V = \sqrt{gh}$.

9. Санки с мальчиком общей массой m съезжают с горы высотой h и длиной l . В конце горы они достигли скорости V (начальная скорость равна нулю).

Средняя сила сопротивления движению санок $F_{\text{сопр}} = \dots$

выразить через заданные величины

Решение.

Санки с мальчиком на горе высотой h имеют потенциальную энергию $E_{\text{п}} = mgh$. В конце горы они обладают кинетической энергией, равной $E_{\text{к}} = \frac{mV^2}{2}$. При движении с горы была совершена работа по преодолению силы сопротивления $A = F_{\text{сопр}} \cdot l$. Составим уравнение для решения задачи:

$$mgh = \frac{mV^2}{2} + F_{\text{сопр}} \cdot l.$$

Из этого уравнения выразим силу сопротивления:

$$F_{\text{сопр}} = \frac{mgh - mV^2/2}{l} = \frac{m(2h - V^2)}{2l}.$$

Ответ: $F_{\text{сопр}} = \frac{m(2h - V^2)}{2l}.$

10. Пружина имеет жесткость 350 Н/м . Удлинение изменяется от 4 до 6 см. Работа, совершаемая при этом, равна . . .

численное значение

Решение.

Работа, которую необходимо совершить, чтобы изменить удлинение пружины от x_1 до x_2 , равна разности потенциальных энергий деформированной пружины:

$$A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2} = \frac{k}{2}(x_1^2 - x_2^2).$$

Подставим значения k , x_1 , x_2 в эту формулу:

$$A = \frac{350}{2}(4^2 \cdot 10^{-4} - 6^2 \cdot 10^{-4}) = -0,35 \text{ Дж}.$$

Работа сил упругости является отрицательной величиной, так как она совершается внешними силами против сил упругости.

Ответ: $-0,35 \text{ Дж}.$

11. Пуля массой 0,01 кг, летящая со скоростью 600 м/с, ударяется в центр шара массой 0,1 кг и застревает в нем. Скорость шара с пулей сразу после удара равна . . .

численное значение

Решение.

Согласно закону сохранения импульса, сумма импульсов пули и шара является постоянной величиной. Сумма импульсов тел до удара равна импульсу пули, так как шар до удара покоился. После удара шар движется вместе с пулей с одной и той же скоростью. На основании сказанного запишем закон сохранения импульса: $m_1 V_1 = (m_1 + m_2) V'$, где m_1 , m_2 - соответственно массы пули и шара, V_1 - скорость пули до удара, V' - скорость шара и пули после удара. Выразим

$$V' = \frac{m_1 V_1}{m_1 + m_2} = \frac{0,01 \cdot 600}{0,11} = 54,6 \text{ м/с}$$

Ответ: 54,6 м/с.

12. Используя данные предыдущей задачи, определите ту часть кинетической энергии пули, которая при ударе превратилась во внутреннюю энергию. Она равна . . .

численное значение

Решение.

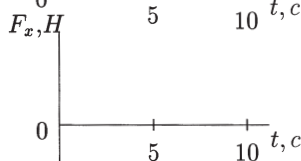
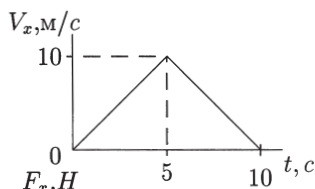
Так как удар пули о шар является неупругим, то часть кинетической энергии расходуется на совершение работы против силы сопротивления. Изменение внутренней энергии тел равно совершенной работе. Выразим величину работы как разность начальной и конечной энергии пули и шара

$$A = \frac{m_1 V_1^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) V'^2}{2} = \frac{0,01 \cdot (600)^2}{2} - \frac{0,1 + 0,01}{(54,6)^2} = 1,64 \text{ кДж.}$$

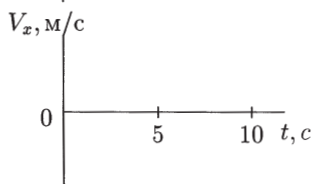
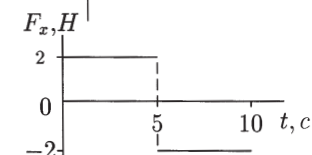
Ответ: 1,64 кДж.

Задачи для самостоятельного решения

1. На графике представлена зависимость проекции скорости тела от времени $V_x(t)$. Какую силу надо приложить к телу массой в 1 кг, чтобы вызвать такое изменение скорости? Результаты представить на графике $F_x(t)$.



2. На графике представлена зависимость проекции силы F_x , действующей на тело массой 1 кг, от времени. Изобразите в масштабе зависимость проекции скорости V_x этого тела от времени (начальная скорость тела равна нулю).



3. Зависимость от времени модуля скорости тела, движущегося прямолинейно, представлена на рис.1. Укажите, какой из графиков, приведенных на рис.2, выражает зависимость от времени равнодействующей силы F

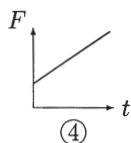
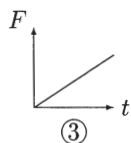
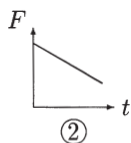
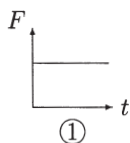
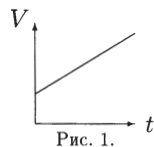
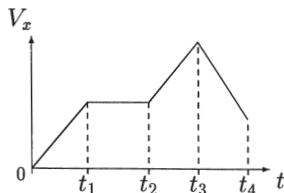


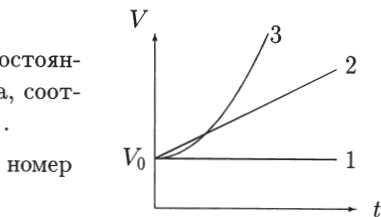
Рис. 2.

номер графика . . .

4. На рисунке представлен график зависимости проекции скорости тела V_x от времени. Укажите промежуток времени, в который сила тяги равна силе трения . . .



5. Тело движется под действием постоянной силы. Укажите номер графика, соответствующего этому движению . . .



6. Сани равномерно съезжают с горы высотой H и длиной L . Коэффициент трения саней о снег $\mu = \dots$

выразить через заданные величины

7. По наклонной плоскости с углом наклона α соскальзывает тело. Коэффициент трения равен μ

Ускорение тела $a = \dots$

выразить через заданные величины

8. Две гири массами $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 1$ кг соединены нитью, перекинутой через невесомый блок. Трением в блоке пренебречь.

Ускорение, с которым движутся гири, равно . . .

численное значение

9. Самолет, скорость которого равна V , описывает окружность в вертикальной плоскости радиусом R . В нижней точке окружности

отношение веса летчика к его силе тяжести $\frac{P}{mg} = \dots$

выразить через заданные величины

10. Шар массой m , подвешенный на нити длиной l , приведен во вращение в вертикальной плоскости. Период вращения T .

Сила натяжения нити в нижней точке траектории $F_n = \dots$

выразить через заданные величины

11. Мальчик массой m качается на качелях с длиной подвеса l . Его скорость при прохождении положения равновесия равна V . Сила, с которой мальчик давит на сидение в этом положении, $F_d = \dots$

выразить через заданные величины

12. Мотоциклист движется равномерно по горизонтальной плоскости, описывая дугу окружности радиусом 100 м. При этом он отклоняется от вертикального положения на угол 22° .

Скорость движения мотоциклиста равна . . .

численное значение

13. Поднимающийся лифт массой 620 кг между этажами движется равномерно, а перед остановкой с ускорением $a = -0,6 \text{ м/с}^2$. Изменение силы натяжения троса, на котором висит лифт, при этом равно . . .

численное значение

14. Груз массой m , подвешенный на пружине, движется по вертикали, причем его вес $P > mg$. Укажите, какому движению груза соответствует это неравенство:

1 – равнозамедленное движение вверх;

2 – равнозамедленное движение вниз;

3 – равномерное движение вниз; укажите номер . . .

15. Радиус планеты Марс составляет 0,53 радиуса Земли, а масса 0,11 массы Земли.

Ускорение свободного падения на Марсе равно . . .

численное значение

16. Ускорение свободного падения в космическом корабле, летящем вокруг Земли на расстоянии от ее поверхности равном диаметру Земли равно . . .

численное значение

17. Спутник движется по круговой орбите вблизи поверхности Земли (радиус Земли $R_z = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$). Первая космическая скорость, сообщенная ему при запуске с Земли, равна . . .

численное значение.

18. Фонарь массой 10 кг подвешен на двух одинаковых тросах, угол между которыми равен 120° .

Сила натяжения тросов равна . . .

численное значение

19. Электрическая лампа подвешена на шнуре и оттянута горизонтальной оттяжкой. Масса лампы равна 0,5 кг, угол между шнуром и оттяжкой 120° . Силы натяжения шнура AB и горизонтальной оттяжки BC соответственно равны . . .

численное значение

20. К концам нити, перекинутой через два блока, подвешены грузы $m_1 = 100 \text{ г}$ и $m_2 = 200 \text{ г}$. Масса груза, который необходимо повесить к нити между блоками, чтобы при равновесии угол между нитями был равен 90° , равна . . .

численное значение

21. Балка длиной 10 м и массой 10 т лежит на двух опорах. На расстоянии 2 м от левого конца балки лежит груз массой 5 т. Сила давления балки на опоры равна . . .

численное значение

22. Стержень, на одном конце которого подвесили тело массой 0,2 кг, находится в равновесии, если точка опоры расположена от тела на расстоянии $1/5$ длины стержня. Масса стержня равна . . .

численное значение

23. Двое рабочих несут бревно массой 100 кг. Один поддерживает бревно на расстоянии 2 м от его конца, а второй – противоположный конец бревна. Длина бревна 8 м.

Силы давления на каждого из рабочих равны . . .

численное значение

24. К двум одинаковым пружинным динамометрам подвешен груз массой 10 кг. Масса динамометров пренебрежимо мала. Показания верхнего и нижнего динамометра соответственно равны . . .

численное значение

25. В полный закрытый куб с ребром l налита доверху жидкость плотностью ρ . Сила давления жидкости на дно и сила давления на боковые грани куба

$$F_{\text{дно}} = \dots$$

$$F_{\text{бок}} = \dots$$

выразить через заданные величины

26. В баке, доверху заполненном керосином ($\rho_k = 0,8 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$), имеется боковое отверстие площадью 10 см^2 , центр которого находится на расстоянии 2 м от поверхности жидкости. Сила гидростатического давления на пробку, закрывающую отверстие, равна . . .

численное значение

27. Глубина воды в озере, на которой давление приблизительно в 4 раза больше атмосферного, равна . . .

численное значение

28. Кусок дерева плавает в воде, погружаясь на $3/4$ своего объема. Плотность дерева равна . . .

численное значение

29. Лыдина плавает в воде. Часть ее объемом 150 м^3 находится под водой. Масса лыдины равна . . .

численное значение

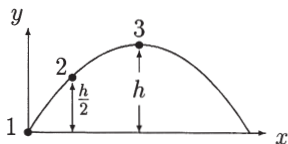
30. Движение тела массой 1 кг описывается уравнением $x = A + Bt + Ct^2$ (м), где $A = 3$ м; $B = 2$ м/с; $C = 4$ м/с².

Импульс тела в начальный момент времени равен . . .

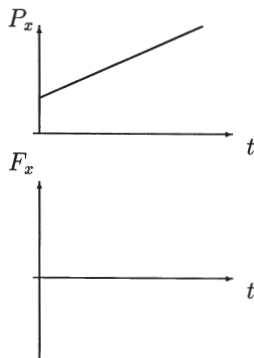
численное значение

31. На рисунке представлена траектория движения тела, брошенного под углом к горизонту. Импульс тела имеет максимальное значение в точке . . .

укажите номер



32. На графике представлена зависимость проекции импульса тела от времени $P_x(t)$. Изобразите зависимость проекции силы, действующей на это тело от времени.



33. Охотник, находящийся в неподвижной лодке, выстрелил под углом 30° к горизонту. Масса пули 10 г, ее скорость 700 м/с, масса лодки вместе с охотником 140 кг. Скорость лодки сразу после выстрела равна . . .

численное значение

34. Мяч массой m имея скорость V ударился о горизонтальную плоскость. Удар абсолютно упругий.

Угол падения α .

Изменение импульса мяча при ударе $|\Delta \vec{P}| = . . .$

выразить через заданные величины



35. Тело массой 2 кг брошено с начальной скоростью 10 м/с под углом 60° к горизонту. Импульс тела (по модулю) при достижении им наибольшей высоты равен . . . (численное значение)

36. Плот массой m_1 плывет по реке со скоростью V_1 . На плот с берега перпендикулярно направлению его движения прыгает человек массой m_2 со скоростью V_2 . (Силой трения плота о воду пренебречь.)

Скорость плота с человеком $V = . . .$

выразить через заданные величины

37. Вагонетка массой m_1 движется по рельсам со скоростью V_1 . На подножку вагонетки прыгает человек массой m_2 в направлении перпендикулярном ее скорости.

Скорость вагонетки вместе с человеком $V = \dots$

выразить через заданные величины

38. С лодки массой M , движущейся со скоростью V_1 , ныряет с кормы мальчик массой m , двигаясь в горизонтальном направлении со скоростью u .

Скорость лодки после прыжка мальчика $V_2 = \dots$

выразить через заданные величины

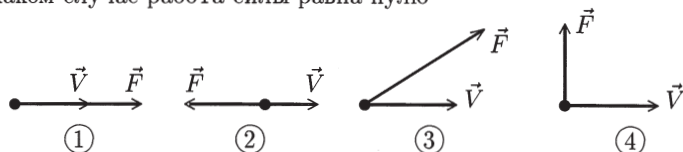
39. Неупругие шары массой 1 кг и 2 кг движутся навстречу друг другу со скоростями соответственно 1 м/с и 2 м/с. Изменение кинетической энергии после удара равно $\dots$

численное значение

40. Масса ружья в 100 раз больше массы заряда. Отношение кинетической энергии вылетающей при выстреле дроби (вместе с пороховыми газами) к кинетической энергии ружья равно $\dots$

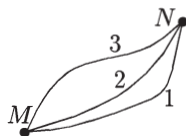
численное значение

41. На рисунке представлены четыре различных варианта расположения вектора силы, действующей на тело, и вектора скорости тела. Укажите в каком случае работа силы равна нулю



номер графика $\dots$

42. Турист может подняться на гору от точки M до точки N по одной из показанных на рисунке траекторий. Сравните работы силы тяжести по различным траекториям $A_1 \dots A_2 \dots A_3$.



43. Автомобиль при движении развивает силу тяги F , сила сопротивления движению F_c . Работа, затрачиваемая на увеличение скорости на пути S , равна $\dots$

выразить через заданные величины

44. Лыжник скатывается с горы и имеет кинетическую энергию у подножия горы E_k .

Масса лыжника с лыжами равна m . Работа силы трения равна A .

Высота горы $h = \dots$

выразить через заданные величины

45. Груз массой m поднимают на некоторую высоту с постоянным ускорением a , совершая работу A . Высота поднятия груза $H = \dots$

выразить через заданные величины

46. Горизонтально летящая пуля массой m попадает в центр деревянного куба, лежащего на полу, и пробивает его. Начальная скорость пули V_1 , скорость ее после вылета из куба V_2 , масса куба M . Трение между кубом и полом не учитывать.

Скорость куба после вылета из него пули $V = \dots$

выразить через заданные величины

47. Мальчик на санках скатывается с горы высотой h и имеет у подножия горы скорость V . Масса мальчика с санками равна m . Работа силы трения $A_{тр} = \dots$

выразить через заданные величины

48. Транспортёр поднимает песок на автомашину, совершая при этом работу, равную $3 \cdot 10^3$ Дж. Длина транспортёра 3 м угол наклона к горизонту 30° .

Масса поднятого песка, равна $\dots$

численное значение

49. Автомобиль при движении развивает силу тяги 5 кН. Сила сопротивления движению 280 Н. Работа, которая идет на увеличение скорости на пути 500 м, равна $\dots$

численное значение

50. Санки массой m скатились с горы высотой H и, прокатившись некоторый путь, остановились. После этого санки подняли на гору и на ту же высоту. При этом коэффициент трения на всем пути, как вниз так и вверх, был одинаковый.

Работа по поднятию санок на гору равна $\dots$

выразить через заданные величины

51. Насос поднимает нефть массой m на высоту h за время t . КПД насоса равен η . Мощность насоса $N = \dots$

выразить через заданные величины

52. Лыжник массой m поднимается равномерно в гору. Уклон горы α . На пути S лыжник совершает работу, равную . . . (численное значение)

53. Тело массой m свободно падает с высоты h_1 .

На высоте h_2 кинетическая энергия этого тела $E_k = \dots$

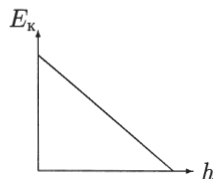
выразить через заданные величины

54. Пружина детского пистолета, жесткость которой k , имеет длину l_1 . В результате сжатия пружины до l_2 пружинный пистолет выстреливает вертикально вверх шарик массой m .

Высота, на которую поднимется шарик, $h = \dots$

выразить через заданные величины

55. На рисунке представлена зависимость кинетической энергии тела, брошенного вертикально вверх, от расстояния. На том же рисунке изобразите зависимость потенциальной энергии этого тела от расстояния. Сопротивлением воздуха пренебречь.



56. Лыжник скатывается с горы высотой h , Масса лыжника с лыжами равна M . Работа силы трения равна A .

Кинетическая энергия лыжника у подножия горы $E_k = \dots$

выразить через заданные величины

57. Тело скользит с наклонной плоскости длиной l и углом наклона α . В конце горы оно приобретает скорость V .

Коэффициент трения $\mu = \dots$

выразить через заданные величины

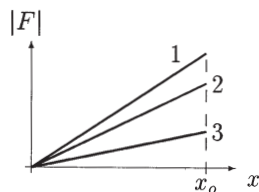
58. Тело массой m_1 движется со скоростью V_1 и ударяется о неподвижное тело. Удар центральный и неупругий. Количество теплоты, выделившееся при ударе, равно Q .

Кинетическая энергия тел сразу после удара $E_k = \dots$

выразить через заданные величины

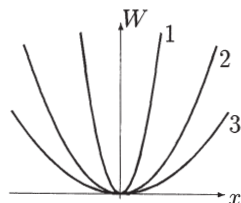
59. Зависимость модуля силы упругости от величины деформации для различных пружин представлена на рисунке. При одинаковой деформации максимальную потенциальную энергию имеет пружина . . .

укажите номер



60. Зависимость потенциальной энергии трех пружин от величины их деформации представлена на рисунке. Наибольший коэффициент упругости имеет пружина . . .

укажите номер



61. Потенциальная энергия упруго деформированной пружины при увеличении деформации в 5 раз изменилась: $\frac{W_2}{W_1} = \dots$
во сколько раз?

62. К горизонтальной пружине прикреплена тележка массой m , которая без трения может двигаться по поверхности стола. Максимальная деформация пружины x_{max} . Максимальная скорость тележки V_{max} .

Коэффициент жесткости пружины $k = \dots$

выразить через заданные величины

63. При деформации пружины, равной x_1 , пружинный пистолет выстреливает шарик вертикально вверх на высоту h_1 . При деформации пружины, равной x_2 , высота поднятия шарика

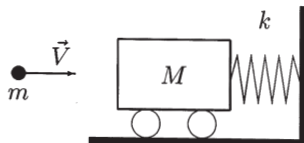
$$h_2 = \dots$$

выразить через заданные величины

64. Тележка с песком массой M соединена с пружиной, жесткость которой k . Пуля массой m , летящая со скоростью V , попадает в тележку и застревает в песке.

Деформация пружины $\Delta x = \dots$

выразить через заданные величины



Молекулярная физика и термодинамика

1 Молекулярная физика

1.1 Основное уравнение молекулярно-кинетической теории

Основными положениями молекулярно-кинетической теории являются следующие утверждения: вещество состоит из большого количества частиц (атомов, молекул); эти частицы беспорядочно движутся; частицы взаимодействуют друг с другом. Молекулярно-кинетическая теория устанавливает количественные связи между измеряемыми на опыте величинами (давлением, температурой и др.) и свойствами самих молекул, их числом, скоростью движения. Наиболее просто с помощью молекулярно-кинетической теории описывается *идеальный газ*: это газ, взаимодействие между молекулами которого пренебрежимо мало. Реальный газ ведет себя подобно идеальному газу, если он является достаточно разреженным.

Давление газа есть результат ударов молекул о стенку сосуда. В теории рассчитывается среднее значение давления, которое оказывается вполне определенной величиной, так как число ударов молекул о стенку очень велико. Величина давления газа равна

$$P = \frac{1}{3} n m_o \overline{v^2}, \quad (1)$$

где m_o – масса одной молекулы, n – концентрация молекул (число молекул в единице объема), $\overline{v^2}$ – средний квадрат скорости молекулы. Величину, скорости, равную $\sqrt{\overline{v^2}}$ называют средней квадратичной скоростью ($v_{кв}$).

Формула (1) является основным уравнением молекулярно-кинетической теории. При решении задач часто требуются и другие формулы для давления газа. Обозначим через $\overline{E}$ среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы:

$$\overline{E} = \frac{m_o \overline{v^2}}{2}.$$

Подставив эту величину в уравнение (1), получим

$$P = \frac{2}{3} n \overline{E}. \quad (2)$$

Далее в молекулярно-кинетической теории вводится связь между температурой и средней кинетической энергией молекул: *абсолютная температура* есть мера средней кинетической энергии движения молекул. Они связаны следующим соотношением:

$$\overline{E} = \frac{3}{2}kT, \quad (3)$$

где k – постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$. Подставив выражение (3) в уравнение (2), получим, что давление газа связано с температурой следующим образом:

$$P = nkT. \quad (4)$$

Соотношения (1), (2), (3), (4) используются при решении задач на молекулярно-кинетическую теорию идеальных газов.

1.2 Уравнения состояния идеального газа. Газовые законы

Состояние газа характеризуют тремя параметрами: давлением P , объемом V и температурой T . Их называют параметрами состояния. Уравнение состояния идеального газа связывает все три макроскопические параметра P, V, T . Для произвольной массы газа m его записывают следующим образом:

$$PV = \frac{m}{M}RT, \quad (5)$$

где M – молекулярная масса газа; R – универсальная газовая постоянная, равная $8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$. Величина R связана с постоянной Больцмана следующим соотношением: $R = k \cdot N_A$, где N_A – постоянная Авогадро (число молекул в одном моле вещества), равная $6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$. Уравнение (5) также называют *уравнением Менделеева-Клапейрона*.

С помощью уравнения состояния идеального газа можно исследовать процессы, в которых масса газа и один из трех параметров – давление, объем или температура – остаются неизменными. Эти процессы называются *изопроцессами*. Законы, описывающие изопроцессы, называются *газовыми законами*. Рассмотрим изопроцессы и соответствующие им законы.

Изотермический процесс. Процесс, происходящий в идеальном газе при постоянной температуре ($T = \text{const}$), называют изотермическим. Из уравнения (5) при $T = \text{const}$ произведение давления газа на его объем для данной массы газа остается постоянным:

$$PV = \text{const} \quad \text{при} \quad T = \text{const}. \quad (6)$$

Этот закон называют законом Бойля-Мариотта. На рис. 1 изображены *изотермы* для двух различных температур. Кривые, описывающие зависимость давления от объема, являются гиперболами. При повышении температуры согласно уравнению состояния (5) давление газа при $V = \text{const}$ увеличивается. Поэтому изотерма, соответствующая более высокой температуре T_2 , лежит выше изотермы, соответствующей более низкой температуре T_1 .

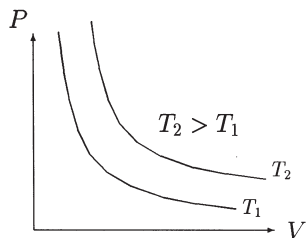


Рис. 1. Графики изотермических процессов в PV координатах

Изобарный процесс. Процесс, происходящий в идеальном газе при постоянном давлении $P = \text{const}$, называют изобарным. Согласно уравнению (5), отношение

$$\frac{V}{T} = \frac{m R}{M P} = \text{const}.$$

Таким образом, закон, описывающий изобарный процесс, записывают в виде:

$$\frac{V}{T} = \text{const} \quad \text{при} \quad P = \text{const}. \quad (7)$$

Этот закон носит название закона Гей-Люссака по имени ученого, впервые экспериментально установившего этот закон. Согласно уравнению (7), объем газа линейно зависит от температуры: $V = \text{const} \cdot T$. Эта зависимость графически изображается прямой, которая называется *изобарой* (рис. 2). С ростом давления газа объем его при $T = \text{const}$ уменьшается. Поэтому изобара, соответствующая более высокому давлению P_2 , лежит ниже изобары, соответствующей более низкому давлению P_1 . Все изобары идеального газа сходятся в точке $T = 0$.

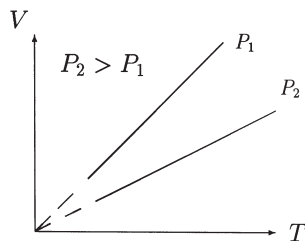


Рис. 2. Графики изобарических процессов в VT координатах

Изохорный процесс. Процесс изменения состояния идеального газа при постоянном объеме ($V = \text{const}$) называют изохорным. Из уравнения (5) следует, что отношение

$$\frac{P}{T} = \frac{m R}{M V} = \text{const}.$$

Таким образом, закон, описывающий изохорный процесс, записывают в виде:

$$\frac{P}{T} = \text{const} \quad \text{при} \quad V = \text{const}. \quad (8)$$

Этот закон установлен французским физиком Ж. Шарлем и носит название закона Шарля. Согласно уравнению (8), давление газа линейно зависит от температуры:

$$P = \text{const} \cdot T.$$

Эта зависимость изображается прямой, называемой *изохорой* (рис 3.). С ростом объема газа при постоянной температуре давление его падает. Поэтому изохора, соответствующая большему объему V_2 , лежит ниже изохоры, соответствующей меньшему объему V_1 .

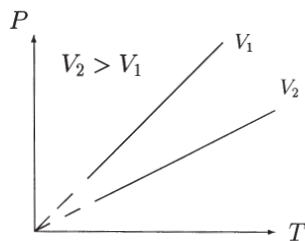


Рис. 3. Графики изохорических процессов в PT координатах

Адиабатный процесс. Процесс, проходящий в газе при отсутствии теплообмена с окружающей средой, называют адиабатным. Он описывается уравнением Пуассона:

$$PV^\gamma = \text{const},$$

где величина $\gamma > 1$ – показатель адиабаты. Графически этот процесс изображается кривой, называемой *адиабатой*. Адиабата всегда круче изотермы. На рис. 4 представлена изотерма (кривая 1) и адиабата (кривая 2).

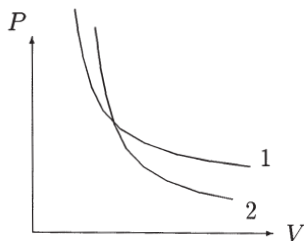


Рис. 4. Графики изотермического (1) и адиабатического (2) процессов в PV координатах

Методические указания к решению задач

Для решения задач на молекулярно-кинетическую теорию газов необходимо знать основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов, владеть основными понятиями этой теории. Задачи на газовые законы достаточно разнообразны. Имеется ряд графических задач. Например, может быть задан процесс (или несколько процессов) в координатах P - V ,

его (или их) следует изобразить в координатах P - T или V - T . Для решения этих задач надо знать газовые законы для различных изопроцессов и их графическое представление. Если в задаче задано одно состояние газа и требуется определить какой-либо параметр этого состояния, то нужно воспользоваться уравнением Менделеева-Клапейрона. В том случае, если в задаче рассматриваются два различных состояния газа, то необходимо установить: меняется ли масса газа при переходе из одного состояния в другое. Если при постоянной массе в данном процессе изменяется какой-либо из параметров состояния, то применяется соответствующий закон (Гей-Люссака, Шарля или Бойля-Мариотта). Если в двух состояниях масса газа разная, то для каждого состояния записывается уравнение Менделеева-Клапейрона. Затем система уравнений решается относительно искомой величины.

Примеры решения задач

1. В закрытом сосуде средняя квадратичная скорость молекул идеального газа увеличилась в 4 раза. Давление газа на стенки сосуда . . .
увеличилось, уменьшилось, во сколько раз?

Решение.

Согласно основному уравнению молекулярно-кинетической теории давление газа равно: $P = \frac{1}{3}nm_o\overline{v^2}$. Так как сосуд закрыт, то концентрация молекул в нем остается постоянной величиной ($n = const$). Найдем отношение давлений:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1/3nm_o\overline{v_2^2}}{1/3nm_o\overline{v_1^2}} = \frac{\overline{v_2^2}}{\overline{v_1^2}}.$$

Так как $v_{кв2} = 4v_{кв1}$, то $\frac{P_2}{P_1} = \frac{4^2\overline{v_1^2}}{\overline{v_1^2}} = 16$.

Ответ: Давление газа на стенки сосуда увеличилось в 16 раз.

2. Концентрации молекул кислорода и водорода равны, средние квадратичные скорости молекул одинаковы. Молярная масса кислорода в 16 раз больше молярной массы водорода.

Отношение давлений этих газов $\frac{P_{O_2}}{P_{H_2}} = \dots$

численное значение

Решение.

Для решения задачи используем основное уравнение молекулярно-кинетической теории и найдем отношение давлений, учитывая, что концентрация молекул H_2 и O_2 и их средние квадратичные скорости одинаковы

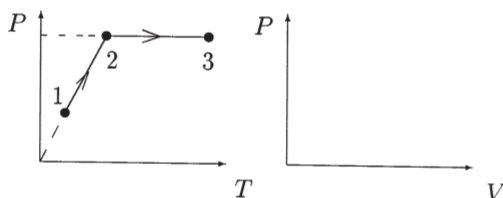
$$\frac{P_{O_2}}{P_{H_2}} = \frac{1/3nm_{O_2}\overline{v^2}}{1/3nm_{H_2}\overline{v^2}} = \frac{m_{O_2}}{m_{H_2}}.$$

Масса молекулы газа может быть найдена из формулы $m = \frac{M}{N_A}$, где M – молярная масса газа, N_A – число Авогадро. Подставим это выражение в предыдущую формулу

$$\frac{P_{O_2}}{P_{H_2}} = \frac{m_{O_2}}{m_{H_2}} = \frac{M_{O_2}N_A}{N_A M_{H_2}} = \frac{M_{O_2}}{M_{H_2}} = 16.$$

Ответ: $\frac{P_{O_2}}{P_{H_2}} = 16$.

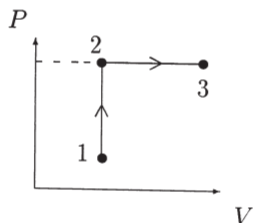
3. На рисунке изображен график некоторого процесса в осях PT для идеального газа. Изобразите график этого процесса в осях PV .



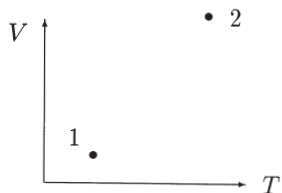
Решение.

Проведем анализ изображенных процессов. Процесс 1-2 является изохорным, т.к. описывается уравнением $P = const \cdot T$. В координатах $P-V$ – изохора, прямая линия, параллельная оси давлений.

Процесс 2-3 – изобарный $P = const$. В координатах $P-V$ изобара является прямой, параллельной оси V . При построении следует обратить внимание на соответствие численных величин, изображенных на графике $P-T$ и изображенных в осях $P-V$. В первом процессе давление растет, достигая постоянного значения указанного на первом рисунке. В процессе 2-3 объем возрастает. Сделаем соответствующее построение на рисунке.

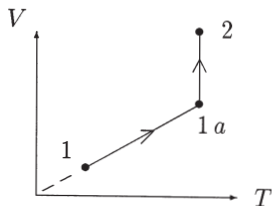


4. В осях VT изображены два состояния идеального газа. Переведите газ из состояния 1 в состояние 2, используя изобарический и изотермический процессы. Изобразите их на рисунке.

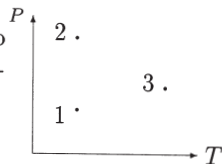


Решение.

Изобарный процесс в координатах $V-T$ есть прямая линия, проходящая через начало координат. Уравнение этой прямой: $V = \text{const} \cdot T$. Изотерма в координатах $V-T$ есть прямая линия, параллельная оси V ($T = \text{const}$). На рисунке: процесс 1-1а – изобара; 1а-2 – изотерма.



5. На рисунке показаны три состояния идеального газа. Наибольшей плотности газа соответствует состояние . . .
укажите номер



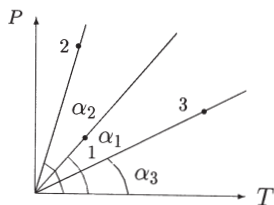
Решение.

Плотность газа ρ есть отношение массы газа к его объему: $\rho = m/V$.
Используем уравнение Менделеева-Клапейрона:

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

и выразим из него

$$\frac{m}{V} = \rho; \quad \rho = \frac{MP}{RT}.$$



Так $\frac{M}{R}$ – величина постоянная, то определяющим фактором в задаче является отношение $\frac{P}{T}$. Если провести изохоры через точки 1, 2, 3, то тангенс угла наклона этих прямых равен отношению $\frac{P}{T}$ ($\text{tg} \alpha = \frac{P}{T}$). Изобразим изохоры и сравним соответствующие углы наклона. Из рисунка видно, что $\text{tg} \alpha_2 > \text{tg} \alpha_1 > \text{tg} \alpha_3$. Таким образом наибольшую плотность газ имеет в состоянии 2.

Ответ: номер 2.

6. В сосуде находится водород, масса которого равна m . Молярная масса водорода равна M .

Количество молекул водорода в этом сосуде $N = \dots$
выразить через заданные величины.

Решение.

Количество молекул в сосуде можно определить, используя число Авогадро:

$$N = N_A \cdot \frac{m}{M},$$

где $\frac{m}{M}$ – число молей газа в сосуде.

Ответ: $N = N_A \cdot \frac{m}{M}$.

7. Плотность некоторого газа при температуре 283 К и давлении 0,2 МПа равна 0,34 кг/м³.

Молярная масса газа равна $\dots$
численное значение.

Решение.

Для решения используем уравнение Менделеева-Клапейрона:

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

Выразим молярную массу, учитывая, что плотность газа $\rho = m/V$

$$M = \frac{mRT}{PV} = \frac{\rho RT}{P}.$$

Подставим численные значения величин:

$$M = \frac{0,34 \cdot 8,31 \cdot 283}{0,2 \cdot 10^6} = 4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}.$$

Ответ: $M = 4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.

1.3 Насыщенные и ненасыщенные пары. Влажность

Над поверхностью жидкости вследствие ее испарения всегда находится пар этой жидкости. Различают пары насыщенные и ненасыщенные.

Насыщенным называется такой пар, который находится в динамическом равновесии с жидкостью (число молекул, вылетающих с поверхности жидкости за 1 с, равно числу молекул, возвращающихся в жидкость).

Ненасыщенным называется такой пар, плотность и давление которого меньше, чем плотность и давление насыщенного пара при данной температуре. Ненасыщенный пар по своей природе не отличается от обычного газа. Поэтому для него справедливо уравнение Менделеева-Клапейрона. Давление насыщенного пара при неизменной температуре не зависит от объема. Воздух, содержащий водяной пар, называется влажным, а не содержащий водяного пара – сухим.

Различают абсолютную и относительную влажность. Абсолютной влажностью ρ называют массу водяного пара, содержащегося в 1 м^3 воздуха при данной температуре, т.е. плотность водяного пара при данной температуре. Относительной влажностью B называют отношение плотности ρ водяного пара при данной температуре к плотности ρ_n насыщенного пара при той же температуре:

$$B = \frac{\rho}{\rho_n} 100\%.$$

Ненасыщенный пар может быть превращен в насыщенный в результате изохорического охлаждения. Температура, при которой пар становится насыщенным в результате изохорического охлаждения, называется точкой росы T_p . При охлаждении пара до температуры ниже точки росы он частично превращается в жидкость (конденсируется).

Примеры решения задач

1. Температура воздуха 60°C . Абсолютная влажность воздуха, если парциальное давление пара в нем 14 КПа , равна . . .
численное значение

Решение.

Используя уравнение Менделеева-Клапейрона $PV = \frac{m}{M}RT$, имеем

$$\frac{m}{V} = \frac{MP}{RT}.$$

Следовательно, абсолютная влажность воздуха равна

$$\rho = \frac{MP}{RT}; \quad \rho = \frac{18 \cdot 10^{-3} \cdot 1,4 \cdot 10^4}{8,3 \cdot 333} \approx 9,1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Ответ: $\rho = 9,1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$

2. В комнате размером $5 \times 4 \times 3$ м при температуре 20°C относительная влажность воздуха составляет 70%. Плотность насыщенного пара равна: при 20°C $\rho_{\text{н1}} = 1,73 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; при 11°C $\rho_{\text{н2}} = 1,0 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Количество влаги, выделившейся из воздуха при понижении температуры в этой комнате до 11°C , равно . . .
численное значение

Решение.

Из формулы $B = \frac{\rho_o}{\rho_{\text{н1}}}$ определим абсолютную влажность

$$\rho_o = B\rho_{\text{н1}}; \quad \rho_o = 0,7 \cdot 1,73 \cdot 10^{-2} = 1,21 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Сравнив абсолютную влажность с плотностью насыщенных паров при температуре 11°C , можно определить массу росы: $m = \rho V$ (ρ – плотность паров, выпавших в виде росы, $V = 5 \cdot 4 \cdot 3 = 60 \text{ м}^3$). Тогда

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_o - \rho_{\text{н2}} = 1,21 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - 1,0 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,21 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \\ m &= 0,21 \cdot 10^{-2} \cdot 60 = 12,6 \cdot 10^{-2} \text{кг}. \end{aligned}$$

Ответ: $12,6 \cdot 10^{-2} \text{кг}$.

3. Температура воздуха 18°C , точка росы соответствует 8°C . Плотность насыщенного пара равна: при 8°C – $8,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; при 18°C – $15,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Абсолютная и относительная влажность соответственно равны . . .
численное значение

Решение.

Абсолютная влажность (ρ) при 18°C будет равна плотности насыщенного водяного пара при температуре, равной точке росы. Следовательно, $\rho = 8,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Найдем относительную влажность воздуха:

$$B = \frac{\rho}{\rho_{\text{н}}} \cdot 100\%,$$

где $\rho_{\text{н}}$ – плотность насыщенного пара при 18°C . Тогда

$$B = \frac{8,3 \cdot 10^{-3}}{15,4 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 54\%.$$

Ответ: $\rho = 8,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $B = 54\%$.

2 Основы термодинамики

Термодинамика изучает свойства макроскопических тел и протекающие в них процессы, не интересуясь внутренним механизмом этих процессов. В основе термодинамики лежат два фундаментальных закона (или начала), установленные путем обобщения очень большого числа опытных фактов.

2.1 Внутренняя энергия тела

Наряду с механической энергией макроскопические тела обладают также внутренней энергией. Эта энергия равна сумме кинетических энергий беспорядочного движения молекул (или атомов) и потенциальных энергий взаимодействия всех молекул данного тела друг с другом. Наиболее просто рассчитывается внутренняя энергия одноатомного идеального газа. Так как взаимодействие молекул идеального газа пренебрежительно мало, внутренняя энергия идеального газа представляет собой кинетическую энергию беспорядочного движения его молекул. Для вычисления этой энергии нужно умножить среднюю кинетическую энергию одной молекулы на число молекул:

$$U = \frac{3}{2}kT \cdot N = \frac{3}{2}kT \frac{m}{M}N_A.$$

Учитывая, что $kN_A = R$, получим, что *внутренняя энергия одноатомного идеального газа*

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT. \quad (1)$$

Формула (1) свидетельствует о том, что внутренняя энергия идеального газа зависит от одного параметра – температуры.

2.2 Работа в термодинамике

В термодинамике движение тела как целого не рассматривается, речь идет о перемещении частей макроскопического тела относительно друг друга. В результате меняется объем тела. Вычислим работу, совершаемую газом. Пусть газ заключен в цилиндрический сосуд, закрытый, легко скользящим поршнем (рис. 5). Если по каким-либо причинам газ станет расширяться, он будет перемещать поршень и совершать над ним работу. Если перемещение

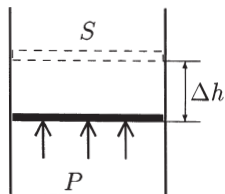


Рис. 5. Работа газа при перемещении поршня

Δh мало, то давление газа можно считать постоянным. Работа газа равна:

$$A = F\Delta h,$$

где F – сила, с которой газ действует на поршень. Заменяв эту силу произведением давлением газа P на площадь поршня S , получим

$$A = PS\Delta h.$$

Произведение $S\Delta h$ представляет собой приращение объема газа. Поэтому выражение для работы в случае $P = \text{const}$ можно записать в виде:

$$A = P\Delta V. \quad (2)$$

Полученное выражение справедливо также при любых изменениях объема твердых, жидких и газообразных тел (в случае $P = \text{const}$). Работа является алгебраической величиной. При расширении газ совершает положительную работу, так как $\Delta V > 0$. При сжатии $V_2 < V_1$, то есть $\Delta V < 0$, поэтому работа при сжатии газа отрицательна. Работа в термодинамике имеет простое геометрическое истолкование. Рассмотрим сначала изобарный процесс (рис. 6).

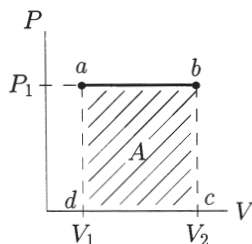


Рис. 6. Работа газа в изобарном процессе

Работа газа в процессе $a - b$ равна $P_1(V_2 - V_1)$. Это есть площадь прямоугольника $abcd$. При совершении других процессов давление не остается постоянным (рис. 7). В этом случае сначала можно вычислить элементарные (малые) работы. Эта работа численно равна площади заштрихованного прямоугольника. Затем все элементарные работы следует сложить. Работа в процессе $a - b$ будет численно равна площади фигуры $abcd$.

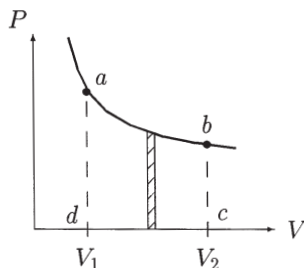


Рис. 7. Работа газа в изотермическом процессе

2.3 Теплота

Из эксперимента известно, что при соприкосновении двух тел их температуры выравниваются. Процесс передачи энергии от одного тела к другому без совершения работы называют теплообменом. В процессе теплооб-

мена часть внутренней энергии тела, обладающего более высокой температурой, передается телам с меньшей температурой. Эту часть внутренней энергии тела называют *количеством теплоты* (Q). Условились, что $Q > 0$, если она сообщается системе, и $Q < 0$, если она забирается от системы.

Для нагревания тела массой m требуется количество теплоты, равное

$$Q_{\text{н}} = cm\Delta T,$$

где c – удельная теплоемкость вещества (количество теплоты, которое получает 1 кг вещества при изменении его температуры на 1 К); $\Delta T = T_2 - T_1$ – изменение температуры тела при его нагревании.

Для превращения жидкости массой m в пар необходимо ей передать количество теплоты, равное:

$$Q_{\text{п}} = rm,$$

где r – удельная теплота парообразования (количество теплоты, необходимое для превращения в пар при постоянной температуре 1 кг жидкости).

Для того, чтобы расплавить кристаллическое тело массы m , необходимо количество теплоты, равное:

$$Q_{\text{пл}} = \lambda m,$$

где λ – удельная теплота плавления (количество теплоты, необходимое для превращения 1 кг кристаллического вещества при температуре плавления в жидкость той же температуры). При конденсации пара и при кристаллизации жидкости происходит выделение теплоты. Для расчета этих теплот применяются соответственно формулы

$$Q_{\text{к}} = -rm, \quad Q_{\text{кр}} = -\lambda m.$$

Количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива массой m , равно:

$$Q = qm,$$

где q – удельная теплота сгорания топлива (количество теплоты, выделяемое при сгорании 1 кг топлива).

2.4 Первый закон термодинамики и его применение к различным процессам

Первый закон термодинамики – это закон сохранения энергии для тепловых явлений. Он был сформулирован на основании обобщения опытных

фактов. В общем случае при переходе системы из одного состояния в другое внутренняя энергия изменяется как за счет совершения работы, так и за счет передачи теплоты. Первый закон термодинамики можно записать в виде:

$$Q = \Delta U + A \quad (3)$$

и сформулировать следующим образом: **количество теплоты, переданное системе, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение системой работы над внешними телами.**

Пусть системой является идеальный газ. Рассмотрим различные изопроцессы.

1. Изохорный процесс ($V = \text{const}$) Так как объем газа не изменяется, работа в этом процессе равна нулю ($A = 0$). Тогда, согласно уравнению (3) $Q = \Delta U$ или количество теплоты, переданное системе, идет только на изменение ее внутренней энергии. Используя формулу (1), получаем:

$$Q = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T.$$

2. Изотермический процесс ($T = \text{const}$) Согласно уравнению (1) внутренняя энергия газа при $T = \text{const}$ не изменяется: $\Delta U = 0$. В этом случае вся переданная теплота идет на совершение работы: $Q = A$. Если газ получает теплоту ($Q > 0$), то он совершает положительную работу ($A > 0$). Если газ отдает теплоту, то $Q < 0$ и $A < 0$.

3. Изобарный процесс ($P = \text{const}$). В этом процессе теплота идет как на изменение внутренней энергии, так и на совершение работы: $Q = \Delta U + A$. Величина работы в изобарном процессе определяется формулой: $A = P \Delta V$.

4. Адиабатный процесс. Это процесс, протекающий в системе, которая не обменивается теплотой с окружающими телами. При адиабатном процессе $Q = 0$. Тогда согласно уравнению (3) $A = -\Delta U$. В этом процессе работа совершается газом за счет убыли его внутренней энергии. Это равенство для случая одноатомного газа можно переписать следующим образом:

$$A = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R (T_1 - T_2).$$

Таким образом при адиабатном расширении газа его температура уменьшается, при адиабатном сжатии – она увеличивается.

2.5 Уравнение теплового баланса

Рассмотрим теплообмен внутри системы, состоящей из нескольких тел, имеющих первоначально различные температуры. Будем считать, что система изолирована от окружающих тел и ее внутренняя энергия не изменяется. Внутри системы также не совершается никакой работы. Тогда согласно первому началу термодинамики изменение внутренней энергии любого тела системы равно количеству теплоты, отданной или полученной этим телом до наступления теплового равновесия внутри системы: $\Delta U_i = Q_i$. Складывая подобные выражения для всех тел системы, получим:

$$\sum_{i=1}^n \Delta U_i = \sum_{i=1}^n Q_i.$$

Учитывая, что суммарная внутренняя энергия системы не изменяется ($\sum_{i=1}^n \Delta U_i = 0$), получим следующее уравнение: $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0$. Это уравнение носит название уравнения теплового баланса. Здесь $Q_1, Q_2, Q_3, \dots$ – количества теплоты, полученные или отданные телами. Для их расчета используются формулы, приведенные ранее:

$$Q_{\text{н}} = cm\Delta T, \quad Q_{\text{п}} = rm, \quad Q_{\text{пл}} = \lambda m.$$

2.6 Тепловые машины. Цикл Карно

Тепловая машина – это периодически действующий двигатель, совершающий работу за счет получаемой извне теплоты. В основе работы любой тепловой машины лежит многократно повторяющийся циклический процесс (цикл). Пусть в ходе цикла рабочее вещество (например, газ) сначала расширяется до объема V_2 , а затем снова сжимается до объема V_1 (рис.8). Притом работа в первом процессе $A_1 > 0$, во втором $A_2 < 0$. Результирующая работа $A = A_1 - A_2$. Работа A численно равна площади, ограниченной графиком цикла. Чтобы работа за цикл была больше нуля, давление (и температура) в процессе расширения должны быть больше, чем при сжатии. Для этого рабочему веществу в ходе расширения нужно сообщать теплоту (Q_1), а в ходе сжатия отнимать от него теплоту (Q_2). Совершив цикл, рабочее вещество возвращается в исходное состояние. Поэтому изменение внутренней энергии за цикл равно нулю. Количество те-

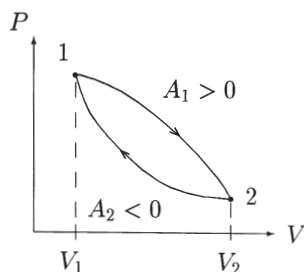


Рис. 8. Циклический процесс

плоты, сообщаемое за цикл рабочему телу равно $Q_1 - Q_2$, оно согласно первому закону термодинамики должно быть равно работе, совершаемой за цикл: $A = Q_1 - Q_2$. Коэффициент полезного действия тепловой машины (η) определяется отношением совершаемой за цикл работы A к получаемой за цикл теплоте Q_1 :

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}.$$

Из определения КПД следует, что он не может быть равен единице.

Рассмотрим схему устройства теплового двигателя независимо от его конструктивных особенностей. Любой тепловой двигатель состоит из трех основных частей: рабочего тела, нагревателя и холодильника (рис. 9). Рабочим телом служит какой-либо газ (или пар), за счет расширения которого совершается работа. Рабочее тело получает количество теплоты Q_1 от нагревателя. При сжатии газ передает количество теплоты Q_2 холодильнику. За счет этого давление газа при сжатии ниже, чем при расширении, что является необходимым условием работы двигателя. Холодильником может служить окружающая среда, как это имеет место в двигателях внутреннего сгорания.

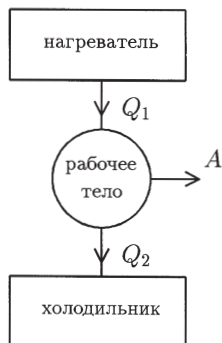


Рис. 9. Схема теплового двигателя

Наибольший коэффициент полезного действия имеет идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно (рис. 10). Цикл Карно состоит из двух изотерм (1-2; 3-4) и двух адиабат (2-3; 4-1). КПД идеальной тепловой машины Карно имеет следующее значение:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где T_1 и T_2 — соответственно температуры нагревателя и холодильника. Любая реальная тепловая машина не может иметь КПД, превышающий КПД идеальной тепловой машины.

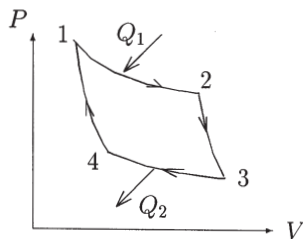


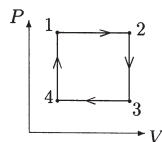
Рис. 10. Цикл Карно

2.6.1 Методические указания к решению задач

При решении задач по данному разделу необходимо обратить внимание, прежде всего, на характер процесса, протекающего в газе и начать решение с графического изображения процессов. Следует помнить, что внутренняя энергия идеального газа данной массы зависит только от температуры. Изменение внутренней энергии можно определить, если известны ее значения в начальном и конечном состоянии газа. Работу и количество теплоты можно найти только в том случае, если известен процесс, совершаемый газом. Необходимо также помнить, что работа газа и количество теплоты – алгебраические величины, поэтому при их расчете следует определить их знаки. Имеется ряд задач, в которых расчет работы газа проводится с использованием ее геометрического истолкования. Для решения задач на первый закон термодинамики следует уметь применять этот закон к различным процессам в идеальном газе.

2.6.2 Примеры решения задач

1. На рисунке изображен цикл для идеального газа. Положительную работу газ совершает на участке . . .
укажите номер



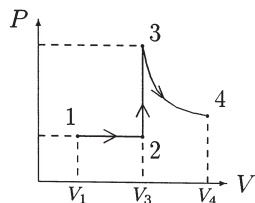
Решение.

Процессы 2-3 и 4-1 происходят при постоянном объеме ($V = \text{const}$). В этих процессах работа не совершается ($A = 0$). Процесс 1-2 – изобарическое расширение газа. Работа $A_{12} = P_1(V_3 - V_4)$. Так как $(V_3 - V_4) > 0$, то $A_{12} > 0$. Процесс 3-4 – изобарическое сжатие газа. Работа $A_{34} = P_4(V_4 - V_3)$. Так как $(V_4 - V_3) < 0$, $A_{34} < 0$.

Ответ: работа положительна на участке 1-2.

2. На рисунке в осях PV изображен график процесса для идеального газа ($m = \text{const}$). Максимальная работа совершена газом при переходе газа из состояния . . . в состояние . . .

номер номер



Решение.

Для решения данной задачи воспользуемся геометрическим истолкованием работы: она численно равна площади фигуры, ограниченной графиком процесса, осью V и вертикальными линиями, соответствующими начальному и конечному объемам газа в данном процессе. Процесс 2–3 - изохорный ($V_3 = \text{const}$), работа в этом процессе $A_{23} = 0$. Сравним работы в процессах 1–2 и 3–4. Как видно из рисунка $A_{34} > A_{12}$ (так как площадь под кривой 3–4 больше площади прямоугольника под прямой 1–2).

Ответ: максимальная работа совершена газом при переходе из состояния 3 в состояние 4.

3. Идеальный газ массой m расширяется от объема V_1 до V_2 . Определить работу, совершаемую газом, если известно, что для данного газа выполняется закон $T = \alpha V$, где α – постоянная величина.

Молярная масса газа M .

Работа газа $A = \dots$

выразить через заданные величины.

Решение.

Процесс, происходящий в газе, описывается уравнением $T = \alpha V$. Приведем данное в задаче уравнение к виду:

$$\frac{V}{T} = \frac{1}{\alpha} = \text{const}.$$

Это уравнение описывает изобарный процесс ($\frac{V}{T} = \text{const}$). Работа при $P = \text{const}$ определяется соотношением: $A = P(V_2 - V_1)$. Давление газа найдем, воспользовавшись уравнением Менделеева-Клапейрона: $PV = \nu RT$.

$$P = \frac{m}{M} R \frac{T}{V}.$$

Учитывая, что $\frac{T}{V} = \alpha$, получим: $P = \frac{m}{M} R \alpha$.

$$\text{Работа газа } A = P(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R \alpha (V_2 - V_1).$$

$$\text{Ответ: } A = \frac{m}{M} R \alpha (V_2 - V_1).$$

4. Идеальный одноатомный газ при изобарическом процессе получил 50 Дж теплоты. Работа, совершенная газом, равна . . . численное значение

Решение.

Согласно первому закону термодинамики: $Q = \Delta U + A$. В условии задачи задано количество теплоты Q , но величина изменения внутренней энергии (ΔU) – не задана. ΔU определяется соотношением:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T.$$

Работа в изобарном процессе $A = P \Delta V$. Используя уравнение Менделеева-Клапейрона и учитывая, что $P = \text{const}$, получим

$$P \Delta V = \frac{m}{M} R \Delta T \quad \text{или} \quad A = \frac{m}{M} R \Delta T.$$

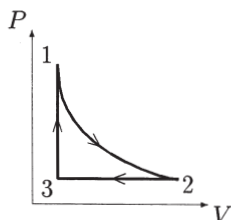
Тогда $\Delta U = \frac{3}{2} A$. Подставим полученное соотношение в выражение для первого закона термодинамики и получим

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} A + A = \frac{5}{2} A.$$

$$\text{Отсюда} \quad A = \frac{2}{5} Q = \frac{100}{5} = 20 \text{ Дж}$$

Ответ: $A = 20$ Дж.

5. На рисунке изображен циклический процесс для идеального газа (кривая 1-2 – гипербола). Процессы, составляющие цикл, сопровождаются выделением или поглощением тепла. В приведенной ниже таблице выберите правильные ответы.



1 – 2	2 – 3	3 – 1
$Q > 0$	$Q > 0$	$Q > 0$
$Q < 0$	$Q < 0$	$Q < 0$
$Q = 0$	$Q = 0$	$Q = 0$

Ненужное зачеркнуть.

Решение.

Рассмотрим последовательно процессы, составляющие цикл. Процесс 1–2 – изотермический ($T = \text{const}$). В этом процессе $\Delta U_{12} = 0$ и вся теплота

Q_{12} идет на совершение работы: $Q_{12} = A_{12}$. Так как $A_{12} > 0$ ($V_2 > V_1$), то $Q_{12} > 0$. Процесс 2-3 – изобарическое сжатие газа ($P = \text{const}$). Первый закон термодинамики в случае $P = \text{const}$: $Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23}$. Работа $A_{23} < 0$, так как она определяется соотношением $A = P_2(V_3 - V_2)$, где $(V_3 - V_2) < 0$. Изменение внутренней энергии в этом процессе

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R(T_3 - T_2).$$

Сравним температуры T_3 и T_2 . Для этого воспользуемся уравнением

$$\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_2}{T_2}.$$

Так как $V_2 > V_3$, то и $T_2 > T_3$. Поэтому $U_{23} < 0$. Таким образом $Q_{23} < 0$. Процесс 3-1 – изохорный, работа в этом процессе равна нулю ($A_{31} = 0$). Поэтому

$$Q_{31} = \Delta U_{31} = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R(T_1 - T_3) = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_3).$$

Так как $T_2 > T_3$, то $Q_{31} > 0$.

Ответ: $Q_{12} > 0$, $Q_{23} < 0$, $Q_{13} > 0$.

6. На рисунке изображена зависимость температуры свинца массой 1 кг от переданной ему теплоты. Удельная теплоемкость кристаллического свинца, рассчитанная по графику, равна . . .

численное значение

Решение.

На рисунке приведены три процесса:

1-2 – нагревание кристаллического свинца;

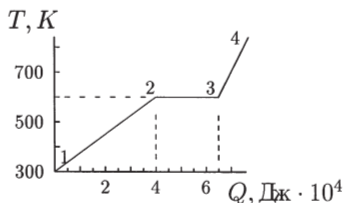
2-3 – плавление свинца;

3-4 – нагревание жидкого свинца.

Так как в задаче требуется найти удельную теплоемкость кристаллического свинца, рассмотрим процесс 1-2. Количество теплоты, переданное свинцу в этом процессе, равно: $Q = cm\Delta T$.

$$\text{Отсюда} \quad c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{4 \cdot 10^4}{1 \cdot (600 - 300)} = \frac{4 \cdot 10^4}{3 \cdot 10^2} = 1,33 \cdot 10^2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Ответ: $c = 1,33 \cdot 10^2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.



7. Алюминиевый чайник массой m_1 , в котором находится вода массой m_2 при температуре T_1 , помещают на газовую горелку. Через время t вода закипела. Удельная теплоемкость алюминия C_1 , воды – C_2 , температура кипения воды T . Мощность горелки $N = \dots$

выразить через заданные величины

Решение.

Теплота, получаемая в результате сгорания газа, расходуется: на нагревание алюминиевого чайника от температуры T_1 до T , нагревание воды от температуры T_1 до T . Составим уравнение для расчета количества теплоты.

$$Q = c_1 m_1 (T - T_1) + c_2 m_2 (T - T_1).$$

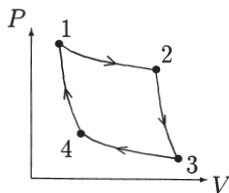
Мощность горелки равна:

$$N = \frac{Q}{t} = \frac{c_1 m_1 (T - T_1) + c_2 m_2 (T - T_1)}{t}.$$

Ответ: $N = \frac{(T - T_1)(c_1 m_1 + c_2 m_2)}{t}.$

8. На рисунке изображен цикл Карно. Коэффициент полезного действия цикла равен 0,2. На участке 1–2 идеальный газ совершает работу, равную 100 Дж. Количество теплоты, отданное холодильнику, равно $\dots$

численное значение



Решение.

Коэффициент полезного действия тепловой машины определяется по формуле:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

где Q_1 – количество теплоты, полученное от нагревателя, Q_2 – количество теплоты, отданное холодильнику. Выразим Q_2 : $Q_2 = Q_1(1 - \eta)$. Количество теплоты, полученное от нагревателя, равно работе расширения газа в процессе 1-2, т.е. $Q_1 = A_{12} = 100$ Дж. Подставим в формулу для Q_2 значение η и Q_1 и получим: $Q_2 = 100(1 - 0,2) = 80$ Дж.

Ответ: $Q_2 = 80$ Дж.

9. На велосипеде установлен двигатель мощностью 800 Вт. Коэффициент полезного действия двигателя равен 0,2. Расход бензина с удельной теплотой сгорания $46 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ составил 1,2 кг. Время движения велосипедиста равно . . .

численное значение

Решение.

Коэффициент полезного действия двигателя (η) равен

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q},$$

где $A_{\text{пол}}$ – полезная работа, равная произведению мощности двигателя на время движения велосипедиста: $A_{\text{пол}} = Nt$. Количество теплоты, выделившееся при сгорании бензина массой m равно $Q = qm$, где q – удельная теплота сгорания бензина. Подставим выражения для $A_{\text{пол}}$ и Q в формулу, определяющую КПД двигателя.

$$\eta = \frac{Nt}{qm}.$$

Время движения велосипедиста равно:

$$t = \frac{\eta q m}{N} = \frac{0,2 \cdot 46 \cdot 10^6 \cdot 1,2}{800} = 1,38 \cdot 10^4 \text{ с}$$

Ответ: $1,38 \cdot 10^4 \text{ с}$.

2.7 Задачи для самостоятельного решения

1. В закрытом сосуде средняя квадратичная скорость молекул идеального газа увеличилась в 4 раза. Давление газа на стенки сосуда . . .
увеличилось, уменьшилось, во сколько раз?

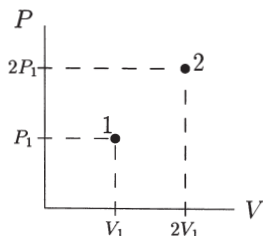
2. Средняя кинетическая энергия молекул идеального газа в сосуде увеличилась в два раза. Концентрация молекул газа уменьшилась в два раза.

При этом давление газа . . .
как изменилось?

3. Объем газа уменьшился в три раза. Средняя скорость движения молекул осталась неизменной.

Отношение давлений газа $\frac{P_2}{P_1} = \dots$
численное значение

4. Идеальный одноатомный газ переведен из состояния 1 в состояние 2. Отношение средних квадратичных скоростей газа в этих состояниях $\frac{v_{кв1}}{v_{кв2}}$ равно . . .
численное значение



5. Идеальный газ при температуре T и давлении P занимает объем V . Какое из написанных ниже выражений характеризует число молекул газа.

1) $\frac{PV}{RT}$; 2) $\frac{P}{kT}$; 3) $\frac{kT}{PV}$; 4) $\frac{PV}{kT}$

Правильный ответ . . .

Укажите номер.

6. В закрытом сосуде объемом V содержится смесь двух газов при температуре T . Число молекул одного газа N , другого в два раза больше.

Давление смеси газов в сосуде $P = \dots$

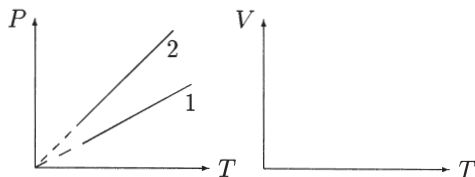
выразить через заданные величины

7. В сосуде объемом V находится идеальный газ плотностью ρ . Масса одной молекулы m_0 .

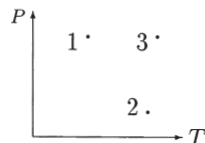
Число молекул газа в сосуде $N = \dots$

выразить через заданные величины

8. На рисунке изображены графики процессов в осях PT для идеального газа. Изобразите графики этих процессов в осях VT .

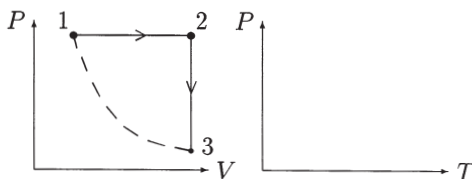


9. На рисунке показаны три состояния идеального газа. Наименьшей плотности газа соответствует состояние . . .

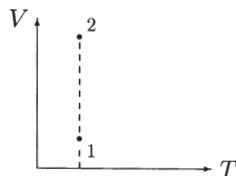


укажите номер.

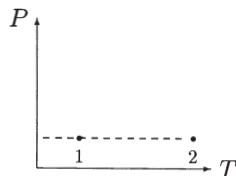
10. На рисунке изображен график некоторого процесса в осях PV для идеального газа. Изобразите график этого процесса в осях PT .



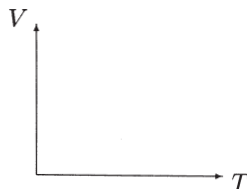
11. На рисунке указаны два состояния идеального газа. Переведите газ из состояния (1) в состояние (2), используя процессы изобарического нагрева и изохорического охлаждения (изобразите на графике).



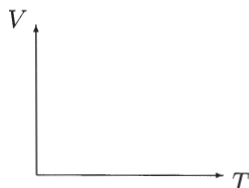
12. На рисунке указаны два состояния идеального газа. Переведите газ из состояния (1) в состояние (2), используя процессы изохорического нагрева и изотермического расширения (изобразите на графике).



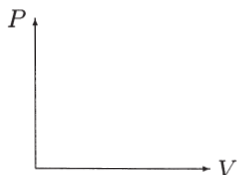
13. В осях VT изобразите график сложного процесса, состоящего из изобарического нагрева и изохорического охлаждения идеального газа. Укажите направление процесса.



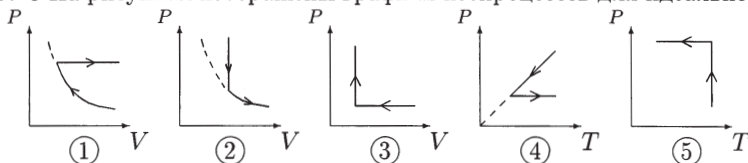
14. В осях VT изобразите график процесса, состоящего из изобарического нагревания и изотермического расширения идеального газа. Укажите направление процесса.



15. Постройте в осях PV график процесса, состоящего из изобарического охлаждения и изотермического сжатия идеального газа. Укажите направление процесса.



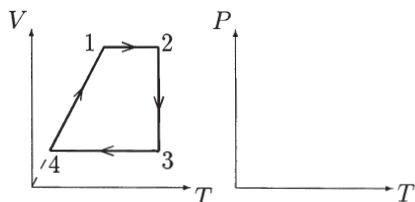
16. 9 На рисунках изображены графики изопроцессов для идеального газа.



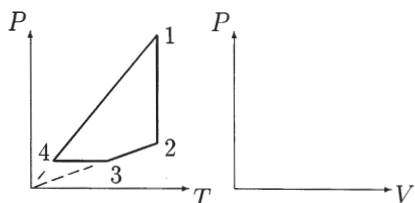
Изобарическому сжатию и изохорическому нагреванию соответствует рисунок . . .

укажите номер рисунка

17. В осях VT изображен циклический процесс для идеального газа. Изобразите этот процесс в осях PT .

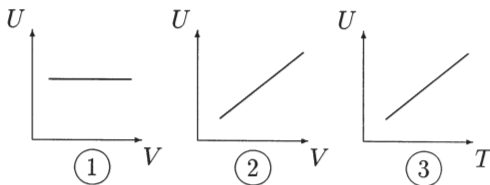


18. В осях PT изображен циклический процесс для идеального газа. Изобразите этот процесс в осях PV .



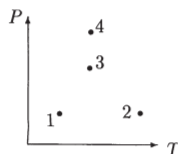
19. Температура идеального газа при постоянной массе увеличилась в четыре раза. Внутренняя энергия этого газа . . .
как изменилась? Во сколько раз?

20. На рисунках приведены зависимости внутренней энергии U от параметров состояния идеального газа. Изохорическому процессу соответствует график . . .
укажите номер



21. На рисунке изображено 4 состояния идеального газа. Наименьшую внутреннюю энергию газ имеет в состоянии . . .

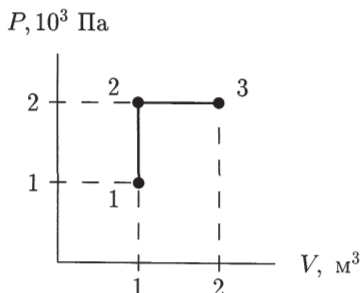
укажите номер



22. Идеальный одноатомный газ переведен из состояния 1 в состояние 3 как показано на рисунке. Изменение внутренней энергии

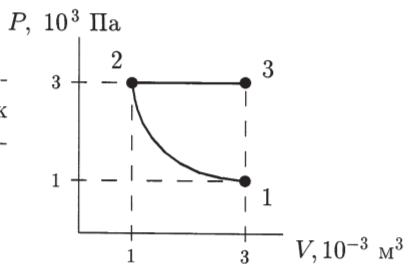
газа $U_3 - U_1 = . . .$

численное значение

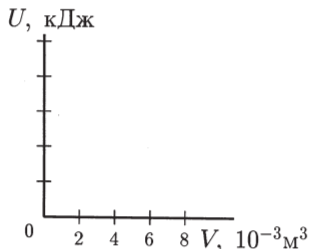


23. Идеальный одноатомный газ переведен из состояния 1 в состояние 3 как показано на рисунке. Изменение внутренней энергии газа $U_3 - U_1 = . . .$

численное значение



24. Идеальный одноатомный газ расширяется при постоянном давлении $P = 10^5 \text{ Па}$ от объема $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ до объема $8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Постройте зависимость внутренней энергии этого газа от объема $U(V)$.



25. При изохорическом сжатии идеального одноатомного газа его давление увеличивается от P_1 до P_2 , а внутренняя энергия изменяется на ΔU .

Объем газа $V = \dots$

выразить через заданные величины

26. Идеальный газ массой m нагревается от температуры T_1 до T_2 . Определите работу, совершаемую газом, если известно, что для данного газа выполняется закон $P = \alpha \cdot T$, где α – постоянная величина. Молярная масса газа M .

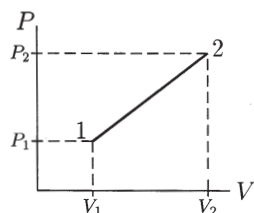
Работа газа $A = \dots$

выразить через заданные величины.

27. На рисунке изображен график изменения давления некоторой массы идеального газа.

Работа, совершенная газом, $A = \dots$

выразить через заданные на графике величины.



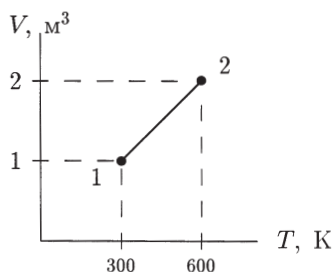
28. При изобарическом сжатии идеального одноатомного газа внутренняя энергия изменяется на ΔU .

Работа газа $A = \dots$

выразить через заданные величины

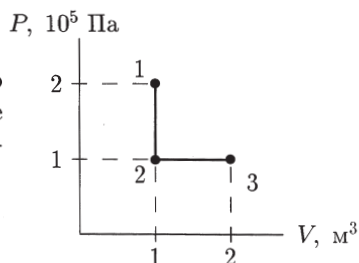
29. Два моля идеального одноатомного газа переведено из состояния 1 в состояние 2. Количество теплоты, подведенной к газу, равно $\dots$

численное значение



30. Один моль идеального одноатомного газа переведен из состояния 1 в состояние 3 как показано на рисунке. Количество теплоты, подведенной к газу, равно $\dots$

численное значение



31. Заполните таблицу

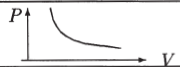
изотермический	$Q = A$	
		
	$Q = A + \Delta U$	

Табл. 1

32. В таблице 1 приведены в произвольном порядке уравнения и графики, описывающие изменение состояния одного моля идеального газа. Выберите уравнения и график, описывающие адиабатический процесс и внесите их в таблицу 2.

$P_1 V_1 = P_2 V_2$	$Q = 0$	$\Delta U = -A$	
$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	$Q = \Delta U$	$A = 0$	
$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$	$A = Q$	$\Delta U = \frac{3}{2} R \Delta T$	
$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$	$Q = \Delta U + A$	$\Delta U = 0$	

Табл. 2

--	--	--	--

33. При изотермическом процессе газу было передано 20 Дж тепла. Работа, совершаемая газом, равна . . .

численное значение

34. Идеальный одноатомный газ нагревается при постоянном давлении. Изменение внутренней энергии газа равно 15 кДж.

Работа, совершенная газом, равна . . .

численное значение

35. Идеальный одноатомный газ при адиабатическом расширении совершил работу A .

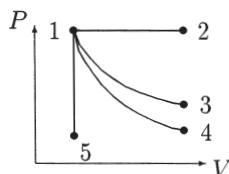
Температура одного моля газа изменилась на $\Delta T = \dots$

выразить через заданные величины

36. При изотермическом сжатии газа выделилось 10 Дж тепловой энергии. Работа, совершенная газом, равна . . .

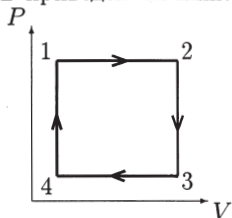
численное значение

37. На рисунке показаны графики изопроцессов для идеального газа. Кривая 1–3 – гипербола. Процесс, при котором $Q = A$, описывается графиком . . .



38. Идеальный одноатомный газ нагревается при постоянном давлении. Изменение внутренней энергии газа равно 15 кДж. Количество теплоты, подведенное к газу, равно . . .
численное значение

39. На рисунке изображен циклический процесс для идеального газа. Процессы, составляющие цикл, сопровождаются выделением или поглощением тепла. В приведенной ниже таблице выберите правильные ответы.

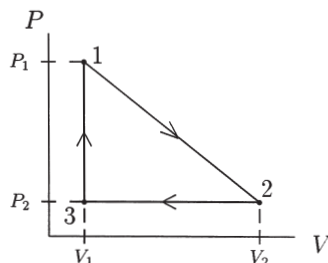


1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 1
$Q > 0$	$Q > 0$	$Q > 0$	$Q > 0$
$Q < 0$	$Q < 0$	$Q < 0$	$Q < 0$
$Q = 0$	$Q = 0$	$Q = 0$	$Q = 0$

Ненужное зачеркнуть.

40. На PV - диаграмме изображен циклический процесс, совершаемый идеальным газом. Количество теплоты, полученное газом от нагревателя, равно Q_1 . Количество теплоты, отданное холодильнику, $Q_2 = \dots$

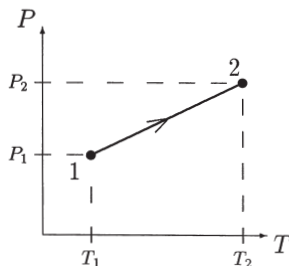
выразить через заданные величины



41. На рисунке показан процесс, совершаемый идеальным газом. Количество теплоты, подведенное к газу, равно Q .

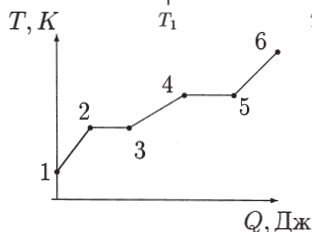
Работа одного моля газа $A = \dots$

выразить через заданные величины



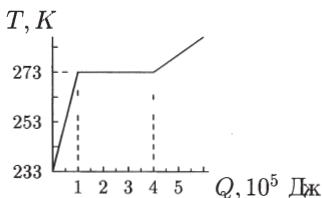
42. В точке 1 вещество находится в твердом состоянии. При подведении теплоты вещество переходит из одного состояния в другое. Процессу кристаллизации вещества соответствует участок графика . . .

укажите участок

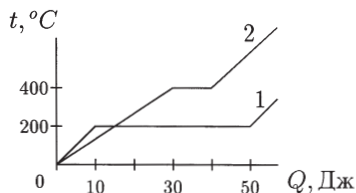


43. На рисунке изображена зависимость температуры твердого тела массой 1 кг от переданной ему теплоты. Удельная теплоемкость твердого тела, рассчитанная по графику, равна . . .

численное значение



44. Два образца равной массы из разных веществ нагревались и плавились в одинаковых условиях. На рисунке представлены графики зависимости температуры этих веществ от подводимого количества теплоты Q . Удельная теплота плавления вещества 1 равна λ_1 . Удельная теплота плавления вещества 2 равна . . .



выразить через заданные величины

45. Тела из меди и железа равной массы получили одинаковое количество теплоты. Удельная теплоемкость меди C_1 , железа – C_2 .

Медь нагрелась на Δt_1 , железо – на $\Delta t_2 = . . .$

выразить через заданные величины

46. Воду массой 100 граммов при температуре 0°C нагрели и испарили. Температура пара 100°C . Удельная теплоемкость воды $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$, удельная теплота парообразования $2500 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

Подведенное количество теплоты равно . . .

численное значение

47. В калориметр массой m_k и начальной температурой t_k налили горячую воду массой m_1 и температурой t_1 , после чего добавили холодную воду массой m_2 и температурой t_2 . Удельная теплоемкость воды равна C_v , удельная теплоемкость стенок калориметра C_k .

Температура воды в калориметре стала $t = . . .$

выразить через заданные величины

48. Пуля, летящая со скоростью V_1 , пробивает стену и вылетает со скоростью V_2 , при этом она нагревается на ΔT . Считать, что все выделившееся количество теплоты идет на нагревание пули.

Удельная теплоемкость пули $C = . . .$

выразить через заданные величины

49. Для того, чтобы расплавить некоторое количество стали, взятой при температуре T_1 , меньшей температуры плавления T_2 , в печи сжигают каменный уголь массой m_1 с удельной теплотой сгорания q . Удельная теплоемкость стали C , удельная теплота плавления стали λ .

Масса стали $m = \dots$

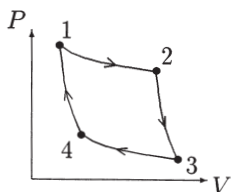
выразить через заданные величины

50. Камень падает с высоты H и нагревается при ударе. Удельная теплоемкость камня C . Все выделившееся при ударе количество теплоты идет на нагревание камня. Камень нагрелся на $\Delta T = \dots$

выразить через заданные величины

51. В цикле Карно, изображенном на рисунке, газ получает теплоту в процессе $\dots$
газ отдает теплоту в процессе $\dots$

укажите номера процессов



52. В идеальной тепловой машине рабочее тело получило от нагревателя количество теплоты, равное $2,0 \cdot 10^5$ кДж. Коэффициент полезного действия равен 0,2.

При этом холодильнику передано количество теплоты, равное $\dots$

численное значение

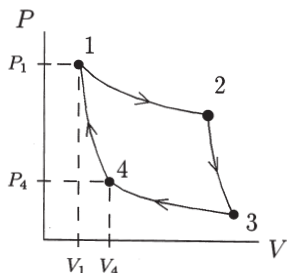
53. Тепловая машина за один цикл отдает холодильнику 400 Дж тепла. Коэффициент полезного действия равен 0,6. Работа, совершаемая машиной за один цикл, равна $\dots$

численное значение

54. На рисунке изображен цикл Карно. Для состояний 1 и 4 известны давление газа (P_1 , P_4) и объем, занимаемый газом (V_1 , V_4).

Работа газа на участке 4-1 $A_{41} = \dots$

выразить через заданные величины



55. Гусеничный трактор развивает мощность 80 кВт, расходуя в час 18 кг топлива с удельной теплотой сгорания $40 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Коэффициент полезного действия двигателя равен . . .

численное значение

56. В 1 м^3 воздуха при температуре 15°C находится 10 г паров. Плотность насыщенных паров при этой температуре равна $0,128 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Относительная влажность воздуха равна . . .

численное значение

57. 1 л воздуха находится при температуре 17°C . Точка росы равна 10°C , плотность насыщенного пара при температуре 10°C равна $9,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Количество водяных паров в воздухе равно . . .

численное значение

58. Температура воздуха, имеющего 100% влажность, понижалась с 27°C (давление насыщенного пара равно 3,750 Па) до 7°C (давление насыщенного пара равно 1000 Па). Количество выпавшей росы из каждого кубометра равно . . .

численное значение

59. При температуре воздуха 20°C относительная влажность 90%. Плотность насыщенных паров при этой температуре $0,173 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Количество воды, выделившееся из 1 м^3 воздуха при понижении его температуры до 15°C , равно . . .

численное значение

(Плотность насыщенных паров при температуре 15°C равна $0,128 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.)

Электричество и магнетизм

1 Электростатика

В электростатике изучаются свойства и взаимодействия неподвижных относительно инерциальной системы отсчета электрических зарядов.

1.1 Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда

Одним из четырех фундаментальных взаимодействий в природе является *электромагнитное*. Физическая величина, характеризующая свойство тел или частиц вступать в электромагнитное взаимодействие, называется *электрическим зарядом*. Величина электрического заряда q определяет значения сил и энергий при электромагнитном взаимодействии. Электрические заряды делятся на положительные и отрицательные. Носителями электрических зарядов являются элементарные частицы и их античастицы. В состав атомов любого вещества входят две заряженные частицы: протон, имеющий положительный заряд, и электрон, имеющий отрицательный заряд. Абсолютные значения зарядов протона и электрона равны друг другу. Это значение получило название элементарного заряда. Элементарный заряд равен $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Электрический заряд любого тела определяется суммой электрических зарядов его частиц и равен целому числу элементарных зарядов. Если сумма зарядов равна нулю, то тело называется электрически нейтральным или незаряженным. Электрически нейтральными являются, например, атомы, молекулы и их коллективы – макроскопические тела. В процессе электромагнитного взаимодействия нейтральность тела может быть нарушена.

На основании большого числа экспериментальных данных установлен **закон сохранения электрического заряда**: *алгебраическая сумма электрических зарядов изолированной системы тел остается неизменной*. Изолированность системы предполагает отсутствие обмена электрическим зарядом с другими системами тел. При этом электрические заряды могут перераспределяться между телами системы, приводя к изменениям заряда любого из тел системы.

1.2 Взаимодействие электрических зарядов. Закон Кулона

Взаимодействие неподвижных электрических зарядов получило название *электростатического*. Опыт показывает, что для зарядов одного знака это взаимодействие носит характер отталкивания, а для зарядов разного знака – притяжения. Силы электростатического взаимодействия зависят от формы, размеров, расположения тел и от распределения зарядов на телах. Электростатические силы подчиняются третьему закону Ньютона и принципу суперпозиции сил.

Наиболее просто сила электростатического взаимодействия определяется для двух точечных электрических зарядов. Электрические заряды называются точечными, если они распределены на телах, которые можно считать материальными точками. Взаимодействие двух точечных зарядов в вакууме описывается **законом Кулона**: *на каждую из двух заряженных частиц в вакууме действует сила, пропорциональная произведению величин зарядов и обратно пропорциональная квадрату расстояния между ними*:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2},$$

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от системы единиц (в СИ $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$), обычно в системе СИ эту величину представляют в виде $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ – *электрическая постоянная*, q_1, q_2 – величины электрических зарядов, r – расстояние между зарядами. Силы взаимодействия двух зарядов равны по модулю и направлены противоположно друг другу по прямой, соединяющей заряды. Точно также выражается сила взаимодействия двух равномерно заряженных шаров. Закон Кулона абсолютно верен лишь для неподвижных зарядов, но может быть применен и для зарядов, скорость движения которых значительно меньше скорости света в вакууме.

Методические указания к решению задач

Знание закона сохранения электрического заряда, закона Кулона и принципа суперпозиции сил является основой для решения многих задач, связанных с электрическим (кулоновским) взаимодействием зарядов. Наиболее важные этапы решения задач сводятся к определению взаимодействующих зарядов и их расположения, нахождению сил взаимодействия пар точечных зарядов, векторному сложению сил, действующих со стороны нескольких зарядов на рассматриваемый. Если решение задачи связано со сложением сил, то обязательным элементом решения является изображение векторов сил (часто в масштабе) и применение правила векторного сложения.

Примеры решения задач

1. Одинаковые металлические шарики с зарядами $+2q$ и $+4q$ находятся на расстоянии R_1 друг от друга. Шарики привели в соприкосновение.

Чтобы сила взаимодействия осталась прежней, шарики надо развести на расстояние $R_2 = \dots$

выразить через заданные величины

Решение.

При соприкосновении шаров заряды перераспределяются. Чтобы сила взаимодействия осталась прежней, необходимо изменить расстояние между зарядами. Учтем, что после перераспределения заряды шариков должны быть равными по величине. Обозначим новый заряд каждого шарика Q , тогда по закону сохранения электрического заряда $Q + Q = 2q + 4q$. Отсюда $Q = 3q$. Запишем выражение силы Кулона для первоначального расположения шариков и для последующего, а затем приравняем:

$$k \frac{2q \cdot 4q}{R_1^2} = k \frac{3q \cdot 3q}{R_2^2}.$$

Произведя преобразования, получаем: $R_2 = \frac{3}{2\sqrt{2}} R_1$.

Ответ: $R_2 = \frac{3}{2\sqrt{2}} R_1$.

2. Три точечных электрических заряда расположены на одной линии через одинаковые расстояния. Сила, действующая на первый заряд, равна нулю.

Величина заряда $Q = \dots$

выразить через заданные величины

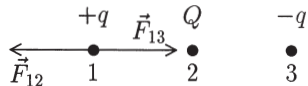
$+q$	Q	$-q$
•	•	•
1	2	3

Заряды 1 и 3 известны

Решение.

Сила, действующая на первый заряд, складывается из двух сил: силы, действующей со стороны второго заряда $\vec{F}_{12}$, и силы, действующей со стороны третьего заряда $\vec{F}_{13}$. По условию задачи $\vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} = 0$, следовательно, $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{13}$, т.е. силы равны друг другу по модулю, но противоположны по направлению.

Изобразим векторы $\vec{F}_{13}$ и $\vec{F}_{12}$. Целесообразно начать с $\vec{F}_{13}$, так как третий заряд известен. Поскольку первый и третий заряды противоположны по знаку, то они притягиваются и вектор силы $\vec{F}_{13}$ должен быть направлен в сторону третьего заряда. Вектор $\vec{F}_{12}$ изображаем равным и противоположно направленным. Следовательно, второй заряд отталкивает первый. Это значит, что $Q > 0$. Чтобы найти величину Q , приравняем выражения для модулей сил,

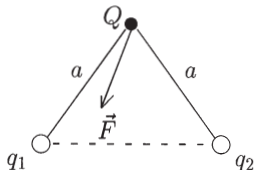


$$k \frac{q \cdot Q}{r^2} = k \frac{q^2}{(2r)^2},$$

где r – расстояние между парой соседних зарядов. Преобразования приводят к величине $Q = \frac{q}{4}$.

Ответ: $Q = \frac{q}{4}$.

3. Два точечных заряда q_1 и q_2 действуют на положительный точечный заряд Q . Вектор результирующей силы $\vec{F}$ изображен на рисунке. Изобразите на рисунке знаки зарядов q_1 и q_2 .

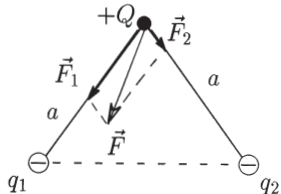


Сравните модули зарядов $|q_1| \dots |q_2|$.

Решение.

Между собой взаимодействуют три точечных заряда. Сила действующая на заряд Q , складывается из двух сил: силы $\vec{F}_1$, действующей со стороны заряда q_1 , и силы $\vec{F}_2$, действующей со стороны q_2 . Следовательно $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$. Разложим вектор $\vec{F}$ по направлениям линий, соединяющих заряды, и получим векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$. Из рисунка видно, что оба заряда притягивают положительный заряд Q , следовательно оба они по знаку отрицательные. Расставляем знаки зарядов. Из рисунка также следует, что $|\vec{F}_1| > |\vec{F}_2|$. Выразим модули сил и запишем это неравенство:

$$k \frac{|q_1||Q|}{a^2} > k \frac{|q_2||Q|}{a^2}. \quad \text{Отсюда} \quad |q_1| > |q_2|.$$



Ответ: заряды имеют отрицательные знаки, $|q_1| > |q_2|$.

1.3 Электрическое поле. Напряженность электрического поля

Электромагнитное взаимодействие зарядов осуществляется посредством *электромагнитного поля*. Электрические заряды создают такое поле в окружающем пространстве. На любой заряд, оказавшийся в области с полем, электромагнитное поле оказывает воздействие. Одной из составляющих электромагнитного поля является поле *электрическое*. Это поле действует на заряды независимо от того движутся они или неподвижны. Если заряды неподвижны, то создаваемое ими поле является *электростатическим*. Электростатическое поле во времени не изменяется.

Силовой характеристикой электрического поля является вектор напряженности:

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

где $\vec{F}$ – сила, действующая на пробный точечный заряд q , помещенный в данную точку электрического поля. Вектор $\vec{E}$ – совпадает по направлению с $\vec{F}$, если $q > 0$ и имеет противоположное направление, если $q < 0$. Так как вектор напряженности является характеристикой электрического поля в точке, то он определяется только источниками данного поля и расположением точки в пространстве. Если вектор $\vec{E}$ известен, то очень просто находится сила, действующая на любой заряд q , помещенный в точку поля:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}.$$

Для электрического поля выполняется **принцип суперпозиции**: *напряженность электрического поля, созданного системой зарядов, равна сумме напряженностей полей, созданных каждым зарядом*:

$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i.$$

Если источником электрического поля является точечный заряд, то выражение для модуля напряженности поля находится с использованием закона Кулона и для вакуума имеет следующий вид:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{r^2},$$

где q – заряд, создающий электрическое поле, r – расстояние от заряда до точки, в которой определяется вектор напряженности.

Если точечный заряд, создающий поле, является положительным, то вектор напряженности в любой точке пространства направлен от этого заряда. Если заряд отрицательный, то вектор $\vec{E}$ в любой точке пространства направлен к этому заряду.

Электрическое поле называется *однородным*, если вектор $\vec{E}$ одинаков во всех точках поля. Однородным является, например, поле равномерно заряженной бесконечной плоскости. Однородным можно считать электрическое поле между пластинами заряженного плоского конденсатора. Графически электрическое поле изображается с помощью силовых линий (линий напряженности), касательные к которым в любой точке совпадают с направлением вектора $\vec{E}$ в этой точке. Силовые линии начинаются на положительных зарядах, заканчиваются на отрицательных или уходят в бесконечность. На рис.1а изображены силовые линии электрического поля двух одинаковых по модулю, но противоположных по знаку электрических зарядов. На рис.1б изображены силовые линии электрического поля заряженного плоского конденсатора.

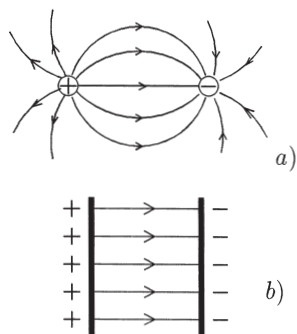


Рис. 1. Силовые линии электрического поля

Методические указания к решению задач

Для решения задач необходимо знать определение понятия вектора напряженности, выражение для напряженности поля точечного заряда и принцип суперпозиции.

Напряженность электрического поля в точке может быть найдена, если известна кулоновская сила, действующая на заряд в данной точке поля, или, если известно распределение зарядов, создающих электрическое поле. Необходимо помнить, что напряженность электрического поля является величиной векторной. Поэтому при решении многих задач требуется изображение векторов $\vec{E}$ и их сложение.

Примеры решения задач

1. Под действием электрического поля частица, заряд которой Q , масса m , приобретает ускорение a . Напряженность электрического поля $E = \dots$
выразить через заданные величины

Решение.

По определению вектор напряженности $\vec{E} = \vec{F}/q$. В данной задаче речь идет о модуле этого вектора. Тогда $E = |\vec{E}| = \frac{|\vec{F}|}{|q|}$; по второму закону

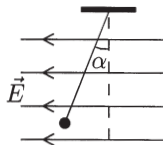
Ньютона $\vec{F} = m\vec{a}$.

Тогда

$$E = \frac{m|\vec{a}|}{Q} = \frac{ma}{Q}.$$

Ответ: $E = \frac{ma}{Q}.$

2. Положительно заряженный металлический шарик, подвешенный на изолирующей нити, помещен в однородное электрическое поле. Нить составляет угол α с вертикалью. Масса шарика равна m , заряд шарика равен q . Напряженность электрического поля $E = \dots$



выразить через заданные величины

Решение.

Так как заряженный шарик находится в электрическом поле, то на него со стороны поля действует кулоновская сила F_k . Зная эту силу, можно найти напряженность электрического поля

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

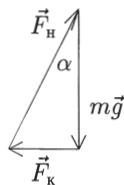
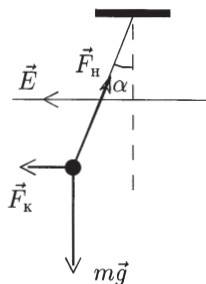
Кроме кулоновской силы на шарик еще действует сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити $\vec{F}_n$. Изобразим силы, действующие на шарик. Так как шарик находится в равновесии, то

$$\vec{F}_k + \vec{F}_n + m\vec{g} = 0.$$

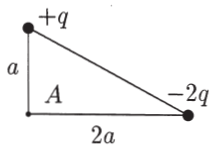
С учетом этого изображаем векторную сумму сил. Из рисунка следует: $F_k = mg \cdot \operatorname{tg} \alpha$.

Отсюда $E = \frac{mg \cdot \operatorname{tg} \alpha}{q}.$

Ответ: $E = \frac{mg \cdot \operatorname{tg} \alpha}{q}.$



3. Два точечных заряда расположены в вершинах прямоугольного треугольника. Изобразите в масштабе векторы напряженностей электрических полей и их равнодействующую в точке А.



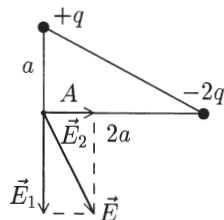
Решение.

Напряженность электрического поля в точке А складывается из напряженности полей двух зарядов: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$, где $\vec{E}_1$ – вектор напряженности поля заряда $+q$, $\vec{E}_2$ – вектор напряженности поля заряда $-2q$. Так как заряды точечные, то модули векторов можно выразить:

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{a^2}; \quad E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q}{(2a)^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{2a^2}.$$

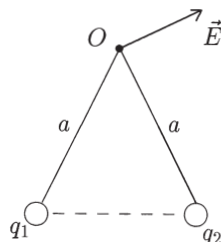
Сравнивая модули, получаем: $E_1 = 2E_2$.

С учетом последнего соотношения изображаем в масштабе векторы $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$ и их сумму $\vec{E}$. Вектор $\vec{E}_1$ направляется от заряда $+q$, вектор $\vec{E}_2$ направлен к заряду $-2q$. Результирующий вектор $\vec{E}$ направлен по диагонали прямоугольника, построенного на векторах $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$.



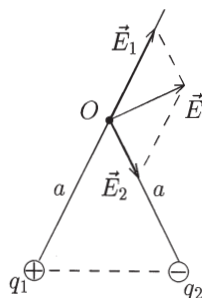
4. На рисунке изображен вектор напряженности электрического поля, созданного точечными зарядами q_1 и q_2 в точке O .

- Изобразите на рисунке знаки зарядов q_1 и q_2 .
- Сравните модули зарядов $|q_1| \dots |q_2|$ больше, меньше, равно



Решение.

Данная задача по сути своей является обратной по отношению к предыдущей. Напряженность электрического поля в точке O складывается из напряженностей полей зарядов q_1 и q_2 : $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. Разложим вектор $\vec{E}$ на составляющие $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$, построив параллелограмм, в котором $\vec{E}$ играет роль диагонали, а $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$ направлены по линиям, соединяющим заряды и точку O . Из направления вектора $\vec{E}_1$ следует, что $q_1 < 0$, из направления вектора $\vec{E}_2$, следует, что $q_2 < 0$. Ставим знаки зарядов на рисунке. Из рисунка видно, что $|\vec{E}_1| > |\vec{E}_2|$.



Выразим модули $|\vec{E}_1|$ и $|\vec{E}_2|$ и составим неравенство:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1|}{a^2} > \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_2|}{a^2}.$$

Отсюда получим $|q_1| > |q_2|$.

Ответ: $|q_1| > |q_2|$.

1.4 Потенциал электрического поля. Работа электрического поля по перемещению заряда

Если электрическое поле создано неподвижными зарядами (т.е. является электростатическим), то можно ввести энергетическую характеристику поля – потенциал:

$$\varphi = \frac{W}{q},$$

где W – потенциальная энергия заряда q , помещенного в данную точку поля. Строго говоря, физический смысл имеет не само значение потенциала, а *разность потенциалов* двух точек поля, так как именно она определяет работу по перемещению заряда из одной точки в другую:

$$A = W_1 - W_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2), \quad (1)$$

где φ_1 – потенциал точки, из которой происходит перемещение заряда, φ_2 – потенциал точки, в которую заряд перемещается. Потенциал электрического поля определяется с точностью до постоянной величины. Любой точке электрического поля можно приписать произвольное значение потенциала. Часто в качестве такого значения для одной из точек принимается величина, равная нулю. Выбор точки с нулевым значением потенциала определяется соображениями простоты и удобства решения конкретной задачи. Для поля точечного заряда удобно принять потенциал равным нулю в бесконечности. Для поля плоского конденсатора за нулевое значение принимается потенциал одной из пластин. Как следует из выражения (1), работа электрического поля не зависит от траектории движущегося заряда, а определяется только начальным и конечным положением заряда при его движении. Потенциал поля точечного заряда рассчитывается по формуле

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r},$$

где r – расстояние от заряда до точки, в которой определяется потенциал.

Из этой формулы следует:

- 1) $\varphi(\infty) = 0$;
- 2) у точек, равноудаленных от заряда, значение потенциала одинаково.

Если электрическое поле создано произвольным распределением зарядов, то значение потенциала поля в любой точке пространства может быть определено как алгебраическая сумма потенциалов полей отдельных зарядов:

$$\varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i.$$

Потенциал электрического поля шара с радиусом R и зарядом q , равномерно распределенным по его поверхности, совпадает вне шара с потенциалом поля точечного заряда q , помещенного в центр шара. Внутри шара потенциал постоянен и равен значению потенциала на поверхности шара:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R},$$

Электрическое поле можно графически представить с помощью *эквипотенциальных поверхностей* или *эквипотенциальных линий*, на которых значения потенциала постоянны. Силовые линии и эквипотенциальные поверхности взаимно перпендикулярны. Причем силовые линии всегда направлены в сторону уменьшения потенциала. На рис. 2а изображены силовые и эквипотенциальные линии электрического поля положительного точечного заряда. На рис. 2б изображены линии электрического поля заряженного плоского конденсатора.

Две характеристики электрического поля – напряженность $\vec{E}$ и потенциал φ связаны между собой. Наиболее просто такая связь выглядит для однородного электрического поля. Модуль вектора $\vec{E}$ может быть определен по формуле

$$|\vec{E}| = \frac{|\varphi_1 - \varphi_2|}{d},$$

где $\varphi_1 - \varphi_2$ – разность потенциалов двух точек поля, d – расстояние между точками вдоль силовой линии.

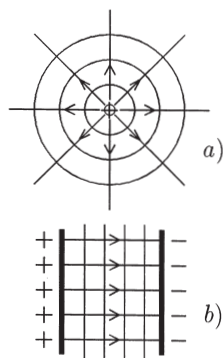


Рис. 2. Силовые и эквипотенциальные линии электрического поля

Методические указания к решению задач

Для решения задач необходимо знать определение потенциала, выражения для работы электрического поля, связь напряженности и потенциала для однородного поля. Требуется уметь изображать силовые линии и эквипотенциальные линии электрического поля. Важно помнить, что работа электрического поля по перемещению заряда не зависит от формы траектории.

Примеры решения задач

1. Если в некоторую точку электрического поля поместить точечный заряд q_1 , то его потенциальная энергия будет равна W_1 . Если в эту же точку поместить точечный заряд q_2 , то его потенциальная энергия будет $W_2 = \dots$ выразить через заданные величины

Решение.

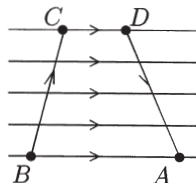
Так как точка поля одна и та же, то значение потенциала в ней остается неизменным. Воспользуемся этим условием и определением потенциала:

$$\varphi = \frac{W_1}{q_1} = \frac{W_2}{q_2}. \quad \text{Отсюда получаем} \quad W_2 = q_2 \cdot \frac{W_1}{q_1}.$$

Ответ: $W_2 = q_2 \cdot \frac{W_1}{q_1}.$

2. Отрицательный точечный заряд перемещается в однородном электрическом поле по замкнутому контуру $ABCD$. Электрическое поле совершает положительную работу на участках $\dots$

Укажите участки



Решение.

Работа электрического поля по перемещению заряда равна

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

Так как $q < 0$, то работа будет положительной на участке, где $\varphi_1 < \varphi_2$. Воспользуемся свойством силовых линий и определим потенциалы. *Силовые линии всегда идут в направлении от точек с большим потенциалом к точкам с меньшим потенциалом.* Следовательно: $\varphi_B > \varphi_C > \varphi_D > \varphi_A$. На участке AB $\varphi_1 = \varphi_A$, $\varphi_2 = \varphi_B$, причем $\varphi_A < \varphi_B$. Следовательно, на

участке AB электрическое поле совершает положительную работу. На остальных трех участках $\varphi_1 > \varphi_2$ и работа совершается отрицательная.

Ответ: участок AB .

3. Заряд $+q$ перемещается из точки A в точку B электрического поля заряда $+Q$. Из перечисленных утверждений выбрать правильное:

1. Работа электрического поля равна нулю.
2. Работа электрического поля положительная.
3. Работа электрического поля отрицательная.

Правильный ответ . . .

укажите номер

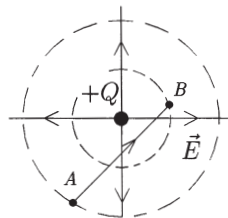


Решение.

Работа электрического поля по перемещению заряда q может быть выражена следующим образом:

$$A = q(\varphi_A - \varphi_B).$$

Для ответа на вопрос требуется сравнение потенциалов. Воспользуемся тем, что заряд $+Q$ точечный и изобразим силовые и эквипотенциальные линии электрического поля этого заряда. Силовые линии идут в направлении убывания потенциала, поэтому $\varphi_B > \varphi_A$. Так как $q > 0$, то работа электрического поля отрицательная.



Ответ: $A < 0$.

4. Протон, заряд которого $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, влетает в электрическое поле и ускоряется разностью потенциалов 1000 В. Изменение кинетической энергии равно . . .

численное значение

Решение.

По теореме об изменении кинетической энергии имеем

$$\Delta E_k = A = q(\varphi_1 - \varphi_2),$$

где ΔE_k – изменение кинетической энергии частицы, A – работа электрического поля. Подставляем численное значение величин:

$$\Delta E_k = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1000 = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ Дж.}$$

Ответ: $\Delta E_k = 1,6 \cdot 10^{-16}$ Дж.

5. В углах квадрата со стороной a находятся одинаковые точечные заряды, величиной q каждый. Потенциал электрического поля в центре квадрата $\varphi_o = \dots$

выразить через заданные величины

Решение.

Потенциал электрического поля в центре квадрата может быть определен как сумма четырех одинаковых потенциалов полей отдельных точечных зарядов:

$$\varphi_o = 4 \frac{q}{4\pi\epsilon_o r}.$$

Величина r равна половине диагонали квадрата:

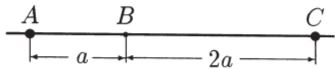
$$r = \frac{1}{2}\sqrt{2a^2} = \frac{a}{\sqrt{2}}$$

и, следовательно, получаем

$$\varphi_o = 4 \frac{q\sqrt{2}}{4\pi\epsilon_o a} = \frac{q\sqrt{2}}{\pi\epsilon_o a}.$$

Ответ: $\varphi_o = \frac{q\sqrt{2}}{\pi\epsilon_o a}.$

6. В точке A находится точечный электрический заряд $q_1 = +4$ мкКл. Чтобы потенциал электрического поля в точке B стал равным нулю, в точку C необходимо поместить электрический заряд, равный $\dots$



численное значение

Решение.

Потенциал электрического поля в точке B равен сумме потенциалов полей двух зарядов:

$$\varphi_B = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_o a} + \frac{q_2}{4\pi\epsilon_o (2a)} = 0.$$

Из этого уравнения получаем $q_2 = -2q_1 = -8$ мкКл.

Ответ: $q_2 = -8$ мкКл.

1.5 Проводники в электрическом поле

Проводниками называются вещества, в которых может протекать электрический ток. Возможность протекания тока обусловлена наличием у проводников свободных носителей электрических зарядов. Если проводник находится в электрическом поле, то под действием этого поля в нем возникает направленное движение свободных зарядов. В электростатическом случае считается, что практически мгновенно за счет этого движения происходит перераспределение зарядов по поверхности проводника. В результате перераспределения электрическое поле в проводнике отсутствует, а потенциал в любой точке проводника имеет одинаковое значение.

1.6 Диэлектрики в электрическом поле

Диэлектриками называются вещества, которые не проводят электрический ток. Причина заключается в том, что в диэлектриках практически отсутствуют свободные носители зарядов. В зависимости от строения молекул различаются полярные и неполярные диэлектрики. В молекулах полярных диэлектриков "центры тяжести" отрицательного заряда электронов и положительного заряда ядер смещены друг по отношению к другу. В результате такая молекула обладает дипольным моментом. В молекулах неполярных диэлектриков эффективные центры зарядов совпадают и дипольный момент отсутствует. При внесении диэлектрика в электрическое поле, он поляризуется. Под действием электрического поля молекулы полярного диэлектрика разворачивают свои дипольные моменты по направлению поля. Молекулы неполярного диэлектрика приобретают дипольные моменты, направленные по полю (поле растягивает электрические заряды молекул в противоположные стороны). Результатом поляризации является уменьшение электрического поля в диэлектрике. Величина ε , показывающая во сколько раз напряженность электрического поля в диэлектрике меньше напряженности поля в вакууме, называется диэлектрической проницаемостью вещества. Величина ε является характеристикой вещества. Для воздуха будем считать $\varepsilon = 1$.

1.7 Конденсатор

Конденсатор представляет собой систему из двух проводников, между которыми находится диэлектрик. Если диэлектриком является воздух, то конденсатор называется воздушным. Одной из разновидностей конденсаторов является плоский конденсатор. Два проводника в этом случае представляют собой одинаковые плоские параллельные металлические пластины

(обкладки). Если конденсатор подключить к источнику тока, то на его обкладках появятся равные по модулю, но противоположные по знаку электрические заряды. Конденсатор становится заряженным. Абсолютное значение заряда любой из пластин называется зарядом конденсатора q . Заряды пластин конденсатора создают электрическое поле. В случае плоского конденсатора это поле практически сосредоточено в области между пластинами и считается однородным (рис. 3).

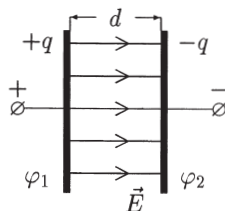


Рис. 3. Электрическое поле плоского конденсатора

Каждая пластина конденсатора характеризуется своим потенциалом. Обозначим потенциал пластины с положительным зарядом φ_+ , с отрицательным φ_- . Очевидно $\varphi_+ > \varphi_-$, так как силовые линии электрического поля направлены от положительного заряда к отрицательному. Физический смысл имеют не сами потенциалы, а их разность $U = \varphi_+ - \varphi_-$, которую принято называть напряжением на конденсаторе. Если заряд конденсатора q изменить, то пропорционально заряду должна измениться величина напряженности электрического поля конденсатора, следовательно и величина U . Тогда, неизменным должно оставаться отношение равное:

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

Величина C называется емкостью конденсатора. Величина емкости зависит от размеров, формы проводников и диэлектрика. Для плоского конденсатора, заполненного однородным диэлектриком, емкость может быть рассчитана по формуле:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d},$$

где S – площадь пластины конденсатора, d – расстояние между пластинами. Если конденсатор воздушный, то $\varepsilon = 1$ и величина емкости равна

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}.$$

Электрическое поле конденсатора обладает энергией. Величина энергии заряженного конденсатора может быть определена по любому из трех выражений:

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

Если в последнее выражение подставить формулу для емкости плоского конденсатора и учесть, что $U = E \cdot d$, то формула для энергии поля приобретает вид:

$$W = \frac{\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} \cdot (E \cdot d)^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} \cdot (Sd) = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} \cdot V = w \cdot V,$$

где V - объем, занимаемый электрическим полем конденсатора, w - объемная плотность энергии электрического поля конденсатора.

В электрической цепи конденсаторы могут быть соединены между собой параллельно или последовательно. Получившаяся при этом система характеризуется электрической емкостью, величина которой зависит от емкостей соединяемых конденсаторов и от типа их соединения.

Параллельное соединение конденсаторов изображено на рис. 4. Соединенные между собой обкладки образуют теперь единый проводник. Если ему сообщить заряд, то он распределится так, чтобы потенциал во всех точках этого проводника стал одинаковым. В результате все обкладки, несущие положительный заряд, будут иметь одинаковый потенциал φ_+ , а несущие отрицательный заряд - одинаковый потенциал φ_- . Следовательно, все параллельно соединенные конденсаторы характеризуются одним и тем же значением напряжения $U = \varphi_+ - \varphi_-$. Суммарный заряд соединенных между собой обкладок можно представить как сумму зарядов отдельных конденсаторов:

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

Разделим это выражение на величину напряжения U :

$$\frac{q}{U} = \frac{q_1}{U} + \frac{q_2}{U} + \frac{q_3}{U} + \dots$$

В результате получаем

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

Таким образом, при параллельном соединении конденсаторов их электрические емкости складываются и с увеличением количества конденсаторов полная емкость системы увеличивается.

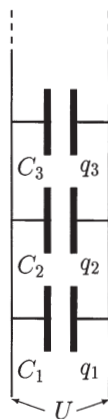


Рис. 4. Параллельное соединение конденсаторов

Последовательное соединение конденсаторов изображено на рис. 5. При таком соединении складываются напряжения на конденсаторах, а величина электрического заряда на каждом конденсаторе оказывается одинаковой. Выразим общее напряжение и поделим его на величину заряда:

$$\frac{U}{q} = \frac{U_1}{q} + \frac{U_2}{q} + \frac{U_3}{q} + \dots$$

Получим:

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

Таким образом, при последовательном соединении конденсаторов складываются величины, обратные значениям их емкостей, поэтому с увеличением количества конденсаторов полная емкость системы уменьшается.

Методические указания к решению задач

Для решения задач необходимо знать определение емкости конденсатора, формулы для емкости плоского конденсатора и формулы для энергии электрического поля заряженного конденсатора. Важно помнить, что если конденсатор подключен к источнику тока, то напряжение на конденсаторе равно ЭДС источника. Если же конденсатор отключен от источника, то величина напряжения определяется зарядом конденсатора и его емкостью. Необходимо знать формулы для определения емкости при параллельном и последовательном соединении конденсаторов. Важно представлять какие величины, характеризующие заряженные конденсаторы, являются одинаковыми или разными при каждом соединении.

Примеры решения задач

1. Имеются два конденсатора. Первый конденсатор емкостью C_1 имеет заряд q_1 . Если второй конденсатор зарядить до такого же напряжения как и первый, то его заряд будет равен q_2 . Емкость второго конденсатора $C_2 =$ выразить через заданные величины.

Решение.

По определению емкости конденсатора $C = \frac{q}{U}$. Тогда

$$C_1 = \frac{q_1}{U_1}, \quad C_2 = \frac{q_2}{U_2}.$$

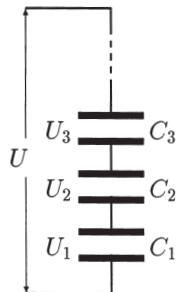


Рис. 5. Последовательное соединение конденсаторов

По условию задачи $U_1 = U_2$. Выражаем напряжения и приравниваем:

$$\frac{q_1}{C_1} = \frac{q_2}{C_2}. \quad \text{Отсюда получаем} \quad C_2 = C_1 \frac{q_2}{q_1}.$$

Ответ: $C_2 = C_1 \frac{q_2}{q_1}.$

2. Имеется конденсатор, заряженный до напряжения U_1 . Заряд конденсатора равен Q_1 .

Конденсатор подключают к источнику тока с ЭДС, равной $\mathcal{E}$.

Заряд конденсатора становится равным $Q_2 = \dots$

выразить через заданные величины

Решение.

После подключения конденсатора к источнику величина напряжения на конденсаторе $U_2 = \mathcal{E}$. Тогда заряд можно найти, воспользовавшись формулой для емкости: $Q_2 = CU_2 = C\mathcal{E}$. Величина емкости конденсатора остается неизменной, поэтому ее можно определить, зная первоначальное напряжение и заряд: $C = \frac{Q_1}{U_1}$. Подстановка в первое выражение дает результат $Q_2 = \frac{\mathcal{E}Q_1}{U_1}$.

Ответ: $Q_2 = \frac{\mathcal{E}Q_1}{U_1}.$

3. Имеется отключенный от источника плоский воздушный конденсатор. Емкость конденсатора $C = 1 \cdot 10^{-11}$ Ф. Заряд конденсатора $q = 1 \cdot 10^{-10}$ Кл. Конденсатор помещают в жидкий диэлектрик ($\epsilon = 10$). Напряжение на конденсаторе стало равным $\dots$

численное значение

Решение.

Помещение воздушного конденсатора в жидкий диэлектрик приводит к увеличению его емкости в ϵ раз. Так как конденсатор отключен от источника, то его заряд остается прежним. Из формулы для емкости получаем: $U = \frac{q}{\epsilon C}$.

Подставляем численные значения: $U = \frac{10^{-10}}{10 \cdot 10^{-11}} = 1$ В.

Ответ: $U = 1$ В.

4. Конденсатор, подключенный к источнику тока, обладает энергией W_1 . Через некоторое время ЭДС источника уменьшается в два раза.

Энергия конденсатора стала $W_2 = \dots$

выразить через заданные величины

Решение.

Так как конденсатор подключен к источнику, то напряжение на конденсаторе должно равняться ЭДС. Емкость конденсатора в данной ситуации остается неизменной. Для определения энергии конденсатора воспользуемся формулой, в которую входят значения напряжения и емкости:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{C\mathcal{E}^2}{2}.$$

Выразим величину W_2 , учитывая, что ЭДС уменьшилась в два раза:

$$W_2 = \frac{C(\mathcal{E}/2)^2}{2} = \frac{1}{4} \frac{C\mathcal{E}^2}{2} = \frac{1}{4} W_1.$$

Ответ: $\frac{1}{4} W_1$.

5. Имеется заряженный плоский конденсатор, отключенный от источника тока. Какое из перечисленных ниже действий приведет к уменьшению энергии конденсатора?

1. Увеличение площади пластин.
2. Увеличение расстояния между пластинами.
3. Уменьшение диэлектрической проницаемости диэлектрика.

Правильный ответ . . .
укажите номер

Решение.

Так как конденсатор отключен от источника, то величина заряда конденсатора q остается неизменной. Изменение энергии конденсатора в данном случае, очевидно, связано с изменением его емкости. Для выражения энергии конденсатора воспользуемся формулой, в которую входят значения заряда и емкости конденсатора:

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

Чтобы энергия конденсатора уменьшилась, необходимо увеличить емкость. Запишем и проанализируем выражение для емкости плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}.$$

Из предлагаемых действий только увеличение площади пластин S приводит к увеличению C .

Ответ: номер 1.

6. Заряд плоского воздушного конденсатора, подсоединенного к источнику тока, равен $q = 10^{-6}$ Кл. Между обкладками вдвигается диэлектрическая пластина, после чего заряд конденсатора изменяется на $\Delta q = 0,2 \cdot 10^{-6}$ Кл. Диэлектрическая проницаемость материала пластины ε равна . . . численное значение

Решение.

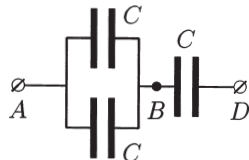
Так как конденсатор присоединен к источнику тока, то величина напряжения на нем должна оставаться равной ЭДС источника. Внесение диэлектрика между пластинами приводит к увеличению емкости конденсатора в ε раз. Из формулы для емкости конденсатора выразим величину напряжения: $U = \frac{q}{C}$. Так как емкость конденсатора увеличилась, то и заряд конденсатора должен увеличиться. Приравняем выражения для напряжения воздушного конденсатора и конденсатора с диэлектриком:

$$\frac{q}{C} = \frac{q + \Delta q}{\varepsilon C}.$$

Отсюда получаем: $\varepsilon = \frac{q + \Delta q}{q}$. Подстановка численных значений приводит к величине $\varepsilon = 1,2$.

Ответ: $\varepsilon = 1,2$.

7. На рис. изображена система одинаковых конденсаторов, емкостью C каждый. Емкость системы конденсаторов $C_{\text{общ}} = \dots$ выразить через заданные величины



Решение.

Емкость системы из двух параллельных конденсаторов $C_{AB} = C + C = 2C$.

Общая емкость всей системы определяется как для последовательного соединения:

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_{AB}} + \frac{1}{C_{BD}} = \frac{1}{2C} + \frac{1}{C} = \frac{3}{2C}.$$

Отсюда $C_{\text{общ}} = \frac{2}{3}C$.

Ответ: $C_{\text{общ}} = \frac{2}{3}C$.

8. Два конденсатора емкостью $C_1 = 100$ пф и $C_2 = 200$ пф соединены параллельно. Общий заряд системы $q = 300$ нКл. Напряжение на конденсаторах равно . . . (численное значение)

Решение.

Так как соединение параллельное, то общая емкость системы $C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 = 300$ пф.

Величина напряжения

$$U = \frac{q}{C_{\text{общ}}} = \frac{300 \cdot 10^{-9}}{300 \cdot 10^{-12}} = 1000 \text{ В.}$$

Ответ: $U = 1$ кВ.

9. Два конденсатора емкостью $C_1 = C$ и $C_2 = 2C$ соединены последовательно и присоединены к источнику тока. Напряжение на первом конденсаторе $U_1 = 100$ В. Напряжение на втором конденсаторе $U_2 = \dots$

численное значение

Решение.

При последовательном соединении заряды конденсаторов оказываются одинаковыми. Следовательно $q_1 = q_2$. Выразим величину:

$$U_2 = \frac{q_2}{C_2} = \frac{q_1}{C_2} = \frac{C_1 U_1}{C_2}.$$

Учитывая соотношения емкостей, получим

$$U_2 = \frac{C \cdot U_1}{2C} = \frac{U_1}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ В.}$$

Ответ: $U_2 = 50$ В.

10. Два одинаковых воздушных конденсатора соединены параллельно. Первый конденсатор заполняют диэлектриком, диэлектрическая проницаемость которого $\epsilon = 10$. Отношение энергий заряженных конденсаторов $\frac{W_1}{W_2}$ равно $\dots$

численное значение

Решение.

При параллельном соединении конденсаторов напряжение U на них одинаково. Выразим отношение энергий конденсаторов:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{0,5 C_1 U^2}{0,5 C_2 U^2} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{\epsilon C}{C} = \epsilon = 10.$$

Ответ: $\frac{W_1}{W_2} = 10$.

2 Постоянный электрический ток

2.1 Постоянный электрический ток и условия его существования

Электрическим током называется упорядоченное движение электрических зарядов. Чтобы в веществе появился электрический ток необходимо выполнение двух условий:

- 1) наличие в веществе свободных носителей зарядов (то есть вещество должно являться проводником),
- 2) существование сил, обеспечивающих упорядоченное движение зарядов.

Электрический ток может быть обусловлен как положительными, так и отрицательными зарядами. За направление электрического тока в проводнике принято направление упорядоченного движения положительных зарядов. Свободными носителями в твердых телах являются электроны, в жидкостях и газах – электроны и ионы.

Для количественной характеристики явления вводится величина *силы тока* – I , которая численно равна заряду, переносимому в единицу времени через поперечное сечение проводника. В общем случае сила тока равна:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

и является произвольной функцией времени $I(t)$. Постоянным называется электрический ток, величина и направление которого с течением времени не изменяются. Для постоянного тока сила тока равна:

$$I = \frac{q}{t},$$

где q – заряд, перенесенный за время t через поперечное сечение проводника. Чтобы в проводнике существовал постоянный электрический ток, на его заряды должно действовать постоянное электрическое поле. Для этого необходимо выполнение следующих условий:

- 1) проводник должен быть включен в замкнутую электрическую цепь, обеспечивающую циркуляцию постоянного тока. Если это условие не выполнено, то будет происходить перераспределение зарядов внутри проводника, что в конечном счете приведет к исчезновению в нем электрического поля, а значит и тока;
- 2) в электрической цепи на свободные заряды должны действовать не только кулоновские силы, но и силы не электростатического происхождения, называемые сторонними силами. Сторонние силы обеспечиваются источниками тока (гальваническими элементами, аккумуляторами и др.).

За счет действия сторонних сил электрические заряды движутся внутри источника тока в направлении, противоположном направлению действия электростатического поля. Благодаря этому поддерживается постоянная разность потенциалов на проводниках цепи и обеспечивается постоянный электрический ток. Работа, необходимая для поддержания постоянного тока в электрической цепи совершается за счет энергии источника тока. Источник тока принято характеризовать электродвижущей силой (ЭДС), величина которой определяется отношением работы сторонних сил источника $A_{\text{ст}}$ по перемещению заряда q к величине этого заряда:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}.$$

2.2 Электрические цепи постоянного тока. Законы Ома

Электрическая цепь постоянного тока представляет совокупность соединенных между собой проводников и источников тока. Точка цепи, в которой сходится не менее трех проводников называется узлом (рис. 4). Электрические токи, входящие в узел, считаются положительными, выходящие из узла – отрицательными. Так как значение электрического потенциала узла с течением времени не изменяется, то количество зарядов, входящих в узел в единицу времени, должно равняться количеству зарядов, выходящих из него в единицу времени. Отсюда получается *правило узлов* (*первое правило Кирхгофа*): алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю:

$$\sum_{i=1}^N I = 0,$$

где N – число проводников сходящихся в узле.

На произвольном участке электрической цепи могут одновременно действовать как электростатические, так и сторонние силы (такой участок называется неоднородным). В этом случае те и другие силы совершают работу по перемещению электрического заряда. Действие этих сил принято характеризовать *напряжением* (падением напряжения) на участке цепи:

$$U = \frac{A_{\text{эл}} + A_{\text{ст}}}{q} = \frac{A_{\text{эл}}}{q} + \frac{A_{\text{ст}}}{q} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E},$$

где $A_{\text{эл}}$ – работа электростатических сил на участке цепи, $A_{\text{ст}}$ – работа сторонних сил на участке цепи, $\mathcal{E}$ – ЭДС на участке цепи.

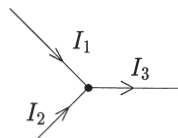


Рис. 4. Узел электрической цепи

Если участок электрической цепи не содержит ЭДС (однородный участок), то величина напряжения равна

$$U = \varphi_1 - \varphi_2.$$

Между напряжением и силой тока на участке цепи существует связь, которая выражается **законом Ома для участка цепи** (закон установлен экспериментально):

$$U = IR.$$

Коэффициент пропорциональности R называется сопротивлением участка цепи. Сопротивление зависит от проводников и их соединения на участке цепи. Для однородного проводника длиной l , имеющего постоянное сечение площадью S , сопротивление R равно:

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

где ρ – удельное сопротивление вещества проводника.

Если проводники участка цепи соединены последовательно, то общее сопротивление участка определяется суммой сопротивлений всех проводников участка:

$$R = \sum_{i=1}^N R_i,$$

где N – количество проводников.

Если все проводники участка соединены параллельно, то складываются величины, обратные сопротивлению проводника:

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

Проводник обладающий заметным сопротивлением, принято называть резистором. Реальные источники тока кроме ЭДС характеризуются сопротивлением r , которое называется *внутренним сопротивлением* источника тока. Внешние по отношению к источнику тока проводники электрической цепи определяют величину внешнего сопротивления R . На рис. 5 изображена схема простейшей электрической цепи,

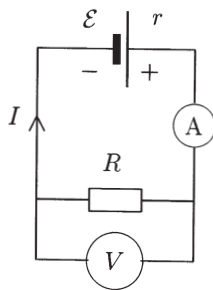


Рис. 5. Электрическая цепь

состоящей из источника тока с ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r и резистора сопротивлением R . Сила тока в цепи может быть определена по **закону Ома для полной электрической цепи**:

Из этого закона следует, что сила тока в цепи прямо пропорциональна ЭДС, действующей в цепи, и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи.

2.2.1 Методические указания к решению задач

Для решения задач, связанных с анализом цепей постоянного тока, необходимо знать определения таких величин как сила тока I , напряжение U , разность потенциалов $(\varphi_1 - \varphi_2)$, электродвижущая сила $\mathcal{E}$, сопротивление R и законы их связывающие. Для конкретной электрической цепи важно понимать как соединены элементы электрической цепи (резисторы и источники тока). Основой являются представления о последовательном и параллельном соединениях проводников. Необходимо знать формулу для определения сопротивления однородного проводника. Если в условии задачи отсутствует изображение схемы электрической цепи, то ее надо обязательно нарисовать, обозначить элементы цепи и проанализировать их соединения. Далее необходимо сделать выводы относительно токов, напряжений и сопротивлений участков цепи. Все величины после этого могут быть связаны между собой известными соотношениями.

2.2.2 Примеры решения задач

1. По проводнику с сопротивлением R за время t прошел заряд q . Падение напряжения на проводнике $U = \dots$
выразить через заданные величины

Решение.

По закону Ома для участка цепи $U = IR$. Величину тока можно определить, зная заряд, прошедший по проводнику, и время прохождения заряда:

$$I = \frac{q}{t}. \quad \text{Отсюда следует} \quad U = \frac{q}{t} \cdot R.$$

$$\text{Ответ: } U = \frac{q}{t} \cdot R.$$

2. Две электрические лампы соединены последовательно и включены в сеть с напряжением $U = 100 \text{ В}$. Напряжение на первой лампе $U_1 = 10 \text{ В}$, ток в цепи $I = 5 \text{ А}$.
Сопротивление второй лампы равно $\dots$
численное значение

Решение.

Изобразим участок электрической цепи, содержащий две последовательно включенные лампы. Обозначим U – напряжение на всем участке, U_1 – напряжение на первой лампе, U_2 – напряжение на второй лампе. Так как лампы соединены последовательно, то в них протекает один и тот же электрический ток, следовательно $I_1 = I_2 = I$. По закону Ома для участка цепи сопротивление второй лампы равно:

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{U_2}{I}.$$

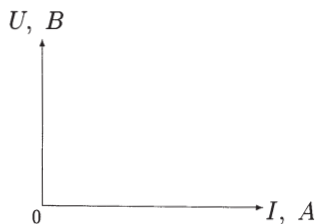
Так как соединение последовательное, то $U = U_1 + U_2$, следовательно $U_2 = U - U_1$. Отсюда получаем:

$$R_2 = \frac{U - U_1}{I}.$$

Подстановка численных значений приводит к ответу $R_2 = 18 \text{ Ом}$.

Ответ: $R_2 = 18 \text{ Ом}$.

3. Три резистора с сопротивлениями $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 2 \text{ Ом}$ и $R_3 = 2 \text{ Ом}$ соединены параллельно. Изобразите график зависимости напряжения на резисторах от полного тока, протекающего через них.



Решение.

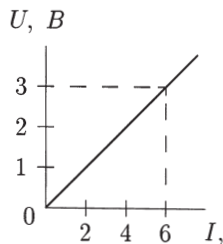
При параллельном соединении проводников сопротивление участка может быть найдено из соотношения

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Подставим численные значения сопротивлений:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 2.$$

Отсюда сопротивление участка $R = 0,5 \text{ Ом}$.

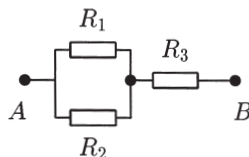


По закону Ома для участка цепи $U = RI$. Подстановка R дает искомую зависимость

$$U = 0,5 \cdot I.$$

Изображаем график зависимости U от I , который является прямой линией

4. По участку цепи $A-B$, протекает электрический ток I . Сопротивления резисторов $R_1 = R_2$. Отношение токов через резисторы R_1 и R_3 $\frac{I_1}{I_3} = \dots$
численное значение



Решение.

По первому правилу Кирхгофа $I_3 = I_1 + I_2$. Так как резисторы с сопротивлениями R_1 и R_2 соединены параллельно, то на них одно и то же падение напряжения U_{12} . Поскольку $R_1 = R_2$, то отсюда следует

$$I_1 = \frac{U_{12}}{R_1} = \frac{U_{12}}{R_2} = I_2.$$

Следовательно $I_3 = 2I_1$. Искомое отношение токов $\frac{I_1}{I_3} = 0,5$.

Ответ: $\frac{I_1}{I_3} = 0,5$.

5. Два резистора с сопротивлением R_1 и R_2 соединены последовательно и включены в сеть с напряжением U . Какое из перечисленных ниже действий приводит к уменьшению напряжения на резисторе R_1 ?

1. Увеличение R_1 .
2. Увеличение R_2 .
3. Увеличение U .

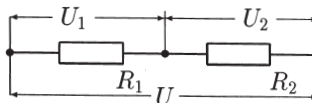
Правильный ответ . . .
укажите номер

Решение.

Изобразим схему участка электрической цепи, обозначив сопротивления резисторов и напряжения. По закону Ома для участка цепи

$$U_1 = I \cdot R_1.$$

Так как резисторы соединены последовательно, то значения силы тока в них одно и то же. По закону Ома



$$U = I \cdot (R_1 + R_2).$$

Из этих двух выражений получаем

$$U_1 = \frac{U \cdot R_1}{R_1 + R_2}.$$

Преобразуем последнюю формулу, поделив числитель и знаменатель на R_1

$$U_1 = \frac{U}{1 + \frac{R_2}{R_1}}.$$

Отсюда видно, что из предложенных действий только увеличение R_2 приводит к уменьшению U_1 .

Ответ: номер 2.

6. По проводнику из материала с удельным сопротивлением ρ , и площадью поперечного сечения S течет ток I . Для увеличения напряжения на проводнике необходимо изменить ρ , S и I следующим образом:

ρ	S	I
увеличить	увеличить	увеличить
уменьшить	уменьшить	уменьшить

ненужное зачеркнуть

Решение.

По Закону Ома для участка цепи $U = IR$. Сопротивление проводник равно:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S},$$

где l - длина проводника. Подставив R в первую формулу, получим

$$U = I\rho \cdot \frac{l}{S}.$$

Для увеличения U необходимо увеличить ρ , уменьшить S и увеличить I .

Ответ: увеличить ρ ,
уменьшить S ,
увеличить I .

2.3 Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца

Когда в цепи протекает электрический ток, кулоновские и сторонни силы совершают работу по перемещению зарядов.

Рассмотрим простейшую цепь постоянного тока, изображенную на рис. 6. Из закона Ома для полной электрической цепи следует

$$\mathcal{E} = I \cdot R + I \cdot r = U_R + U_r, \quad (1)$$

где U_R – падение напряжения на внешнем сопротивлении, U_r – падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника тока. За время t на любом участке цепи перемещается электрический заряд $q = I \cdot t$. Умножим выражение (1) на величину заряда:

$$\mathcal{E} \cdot I \cdot t = U_R \cdot I \cdot t + U_r \cdot I \cdot t. \quad (2)$$

Левая часть полученного выражения представляет собой работу сторонних сил. Эта величина получила название *работы источника тока*. Справа стоят работы, совершаемые кулоновскими силами при протекании тока на участках цепи с сопротивлениями R и r . Эти величины называются работами тока на внешнем и внутреннем сопротивлениях (участках) электрической цепи.

По определению мощность равна работе, совершаемой в единицу времени:

$$P = \frac{A}{t}.$$

Разделив выражение (2) на время, получаем следующее соотношение:

$$\mathcal{E}I = U_R \cdot I + U_r \cdot I. \quad (3)$$

Величина, стоящая слева, получила название *мощности источника тока*. Величины, стоящие справа – *мощности тока на участках цепи*.

Из соотношения (2) следует, что работа источника тока равняется сумме работ тока на всех участках цепи, имеющих сопротивление. В каждом проводнике с током, наряду с процессом совершения работы кулоновскими силами, происходит еще один процесс, связанный с необратимым преобразованием энергии. Движущиеся электроны взаимодействуют с колебаниями узлов кристаллической решетки проводника и передают им свою энергию. Эта энергия идет на нагревание проводника. Количество теплоты, которое выделяется в проводнике за счет электрического тока, может быть определено из экспериментального закона Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t.$$

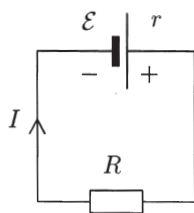


Рис. 6. Электрическая цепь постоянного тока

Сравним работу тока, совершаемую кулоновскими силами в проводнике с величиной количества теплоты:

$$A = U \cdot I \cdot t = (I \cdot R) \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = Q.$$

Таким образом работа тока равна количеству теплоты, выделяющейся в проводнике. Отсюда следует, что работа, совершаемая источником тока, в конечном счете идет на нагревание проводников электрической цепи.

2.3.1 Методические указания к решению задач

Для решения задач необходимо знать выражения для работы и мощности тока, работы и мощности источника тока, закон Джоуля-Ленца, законы Ома. Если в условии задачи схема электрической цепи не приведена, то целесообразно эту схему изобразить. Далее следует проанализировать соединение элементов электрической цепи и распределение токов и напряжений на этих элементах. Если элементы соединены последовательно, то удобнее выражать работу, количество теплоты и мощность через силу тока. Если элементы соединены параллельно, то эти величины удобнее выражать через напряжение.

2.3.2 Примеры решения задач

1. На резисторе сопротивлением R за время t выделяется количество теплоты Q .

За время t через проводник протекает заряд $q = \dots$
выразить через заданные величины

Решение.

По закону Джоуля-Ленца количество теплоты, выделяющееся в проводнике равно:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t.$$

Выразим величину силы тока: $I = \sqrt{\frac{Q}{Rt}}$. Тогда заряд, протекающий за время t , равен:

$$q = I \cdot t = \sqrt{\frac{Q}{R \cdot t}} \cdot t = \sqrt{\frac{Q}{R}} \cdot t.$$

Ответ: $q = \sqrt{\frac{Q}{R}} \cdot t$.

2. Две электрические лампы имеют одинаковую мощность. Одна из ламп рассчитана на напряжение U_1 , а другая – на напряжение U_2 .

Отношение сопротивлений ламп $\frac{R_1}{R_2} = \dots$

выразить через заданные величины

Решение.

Мощность тока равна $P = U \cdot I$. По закону Ома для участка цепи $I = \frac{U}{R}$. Тогда выражение для мощности можно записать: $P = \frac{U^2}{R}$. Приравняем, выражение для мощности каждой лампы:

$$\frac{U_1^2}{R_1} = \frac{U_2^2}{R_2}.$$

Отсюда получаем: $\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2$.

Ответ: $\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2$.

3. В электрической плитке имеются две одинаковые спирали. Укажите какое из перечисленных ниже действий приводит к самому быстрому нагреву поставленного на плитку чайника.

1. Включение одной спирали.
2. Включение двух спиралей параллельно.
3. Включение двух спиралей последовательно.

правильный ответ . . .

укажите номер

Решение.

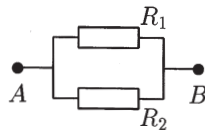
По закону Джоуля-Ленца, количество теплоты, выделяющиеся в проводнике, равно: $Q = I^2 R t$. Так как напряжение в каждом случае одно и тоже, выражаем количество теплоты через напряжение и сопротивление: $Q = \frac{U^2}{R} \cdot t$. Отсюда находим время: $t = \frac{QR}{U^2}$. Так как во всех трех случаях Q величина постоянная, то минимальное время будет при минимальном значении сопротивления. Обозначим сопротивление одной спирали R . Тогда для трех предлагаемых вариантов имеем:

1. $R_1 = R$,
2. $\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R}$, $R_2 = \frac{R}{2}$,
3. $R_3 = R + R = 2R$.

Отсюда видно, что минимальное значение сопротивления равно $R_2 = \frac{R}{2}$.

Ответ: номер 2.

4. По участку цепи $A-B$ в течение времени t протекает электрический ток. Отношение количеств теплоты, выделившихся за это время на резисторах R_1 и R_2 , $\frac{Q_1}{Q_2} = \dots$



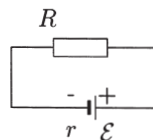
выразить через заданные величины

Решение.

По закону Джоуля-Ленца $Q = I^2 \cdot R \cdot t$. Так как резисторы соединены параллельно, то напряжение на них одинаковое. Используя закон Ома для участка цепи ($I = \frac{U}{R}$) выразим Q через U и R : $Q = \frac{tU^2}{R}$. Выразим Q_1 и Q_2 : $Q_1 = \frac{tU^2}{R_1}$, $Q_2 = \frac{tU^2}{R_2}$. Найдём отношение: $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1}$.

Ответ: $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1}$.

5. Сопротивление резистора $R = 20$ Ом, внутреннее сопротивление источника тока $r = 10$ Ом, а величина ЭДС $\mathcal{E} = 30$ В. За время $t = 10$ с источник совершает работу равную . . .
численное значение



Решение.

Работа источника тока определяется выражением

$$A = \mathcal{E} \cdot I \cdot t.$$

Выразим силу тока, используя закон Ома для полной цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

Тогда работа источника будет равна:

$$A = \mathcal{E} \frac{\mathcal{E}}{R + r} \cdot t = \frac{\mathcal{E}^2}{R + r} \cdot t.$$

Подставим численные значения:

$$A = \frac{30^2}{20 + 10} \cdot 10 = 300 \text{ Дж.}$$

Ответ: $A = 300$ Дж.

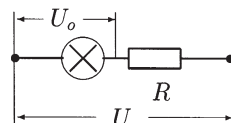
6. Электрическая лампа мощностью N рассчитана на включение в сеть с напряжением U_0 . При включении в сеть с напряжением U лампа не меняет своего накала, если последовательно с лампой включено сопротивление $R = \dots$
выразить через заданные величины

Решение.

Накал лампы не меняется, если тепловая мощность, связанная с сопро-

тивлением нити накала, остается неизменной. Изобразим схему участка электрической цепи для случая, когда последовательно с лампой включен резистор сопротивлением R . Так как лампа и резистор соединены последовательно, значение силы тока в них одинаковое. Чтобы тепловая мощность лампы осталась прежней, напряжение на ней должно равняться U_o . Определим ток, текущей в цепи, воспользовавшись соотношением: $N = U_o I$. Отсюда $I = \frac{N}{U_o}$. Напряжение на резисторе, очевидно, равно $U - U_o$. По закону Ома для участка цепи находим величину сопротивления резистора:

$$R = \frac{U - U_o}{I} = \frac{(U - U_o)U_o}{N}.$$



Ответ: $R = \frac{(U - U_o)U_o}{N}$.

7. Электролампа с сопротивлением R присоединена к источнику тока с ЭДС, равной $\mathcal{E}$, и внутренним сопротивлением r . Электролампа потребляет мощность N . Для увеличения N необходимо изменить величины $\mathcal{E}$, и r следующим образом:

$\mathcal{E}$	r
увеличить	увеличить
уменьшить	уменьшить

ненужное зачеркнуть

Решение.

Выразим мощность, потребляемую лампой:

$$N = U \cdot I = (I \cdot R) \cdot I = R \cdot I^2.$$

По закону Ома для полной цепи

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

Подставим в формулу для мощности, получим:

$$N = \frac{(\mathcal{E})^2}{(R + r)^2} \cdot R.$$

Для того, чтобы значение N увеличилось, необходимо увеличить $\mathcal{E}$ и уменьшить r .

Ответ: увеличить $\mathcal{E}$, уменьшить r .

3 Магнитное поле

3.1 Магнитное поле. Вектор индукции.

Силовые линии магнитного поля

Магнитное поле создается движущимися зарядами, проводниками с током, намагниченными телами и переменным электрическим полем. Магнитное поле действует на движущиеся заряды, проводники с током и на намагниченные тела. Силовой характеристикой магнитного поля является *вектор магнитной индукции* $\vec{B}$. Магнитное поле называется *однородным*, если векторы $\vec{B}$ во всех точках поля одинаковы. Если это условие не выполняется, то поле называется *неоднородным*.

Определить направление вектора $\vec{B}$ можно, например, по действию магнитного поля на магнитную стрелку, помещенную в это поле (рис. 7). Стрелка ориентируется так, чтобы прямая, проведенная через центр стрелки от ее южного полюса S к северному N , совпала по направлению с направлением вектора $\vec{B}$.

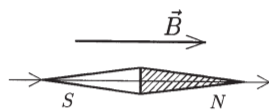


Рис. 7. Ориентация магнитной стрелки в магнитном поле

В случае неоднородного магнитного поля стрелка должна иметь очень малые линейные размеры, чтобы показать направление вектора $\vec{B}$ в данной точке магнитного поля. Графически магнитное поле принято изображать с помощью *силовых линий* (линий магнитной индукции). Вектор $\vec{B}$ направлен по касательной к силовой линии в каждой точке поля. Линии магнитной индукции замкнутые, что свидетельствует об отсутствии в природе магнитных зарядов. Магнитное поле подчиняется принципу суперпозиции полей. Вектор магнитной индукции поля $\vec{B}$ в произвольной точке равен геометрической сумме векторов магнитной индукции $\vec{B}_i$ полей, создаваемых в этой точке всеми источниками: $\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i$.

Рассмотрим магнитное поле простейших систем.

1. Магнитное поле прямого проводника с током. На рис. 8 изображено поперечное сечение прямого длинного проводника, по которому течет постоянный ток. Ток направлен перпендикулярно плоскости листа от наблюдателя. Направление силовых линий определим по правилу правого винта (буравчика). Совмещаем направление поступательного движения винта с направлением тока в проводнике. Направление вращения винта

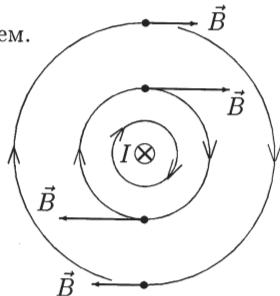


Рис. 8. Силовые линии и вектор индукции магнитного поля прямого проводника с током

показывает направление силовых линий, магнитного поля. Силовые линии в данном случае представляют собой окружности, центры которых совпадают с осью проводника. Для нескольких произвольных точек на рис. 8 изображены векторы индукции. На одной силовой линии значение модуля вектора $\vec{B}$ одно и то же. По мере удаления от проводника величина модуля вектора $|\vec{B}|$ уменьшается обратно пропорционально расстоянию от оси проводника.

2. Магнитное поле кругового тока.

На рис. 9 изображен проводник в форме кругового витка, по которому протекает постоянный электрический ток. Для определения направления силовых линий, пронизывающих плоскость витка, проще использовать правило правого винта в такой форме: совмещаем направление вращения винта с направлением циркуляции тока в проводнике, поступательное движение винта показывает направление силовых линий, пронизывающих виток.

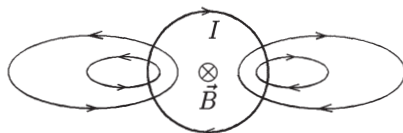


Рис. 9. Силовые линии магнитного поля кругового витка с током

3. Магнитное поле соленоида.

На рис. 10 изображен соленоид. По соленоиду течет постоянный электрический ток. Определяем направление силовых линий магнитного поля соленоида по правилу правого винта. Совмещаем направление вращения винта с направлением циркуляции тока в соленоиде. Поступательное движение винта показывает направление силовых линий поля внутри соленоида. На рис. 10 изображены линии поля соленоида. Если длина соленоида значительно больше радиуса витка, то внутри соленоида поле можно считать практически однородным. Магнитное

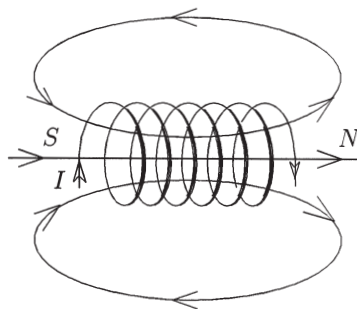


Рис. 10. Силовые линии магнитного поля соленоида

поле соленоида с током подобно магнитному полю прямого магнита. Поэтому, также как для магнита, соленоиду с током можно приписать два полюса северный N и южный S . Силовые линии магнитного поля соленоида выходят из северного полюса и входят в южный полюс соленоида.

4. Магнитное поле постоянного магнита.

На рис. 11 изображен постоянный магнит. Силовые линии поля изображены только вне магнита. Они выходят из северного полюса N магнита и входят в южный S полюс магнита.

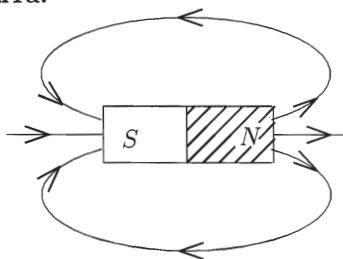


Рис. 11. Силовые линии магнитного поля постоянного магнита

Методические указания к решению задач

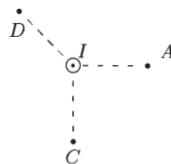
Для решения задач необходимо иметь представление о силовых линиях магнитного поля и знать как направлен вектор индукции $\vec{B}$ по отношению к этим линиям.

Необходимо знать и уметь применять правило правого винта (буравчика) и принцип суперпозиции.

Для простейших случаев надо уметь изобразить магнитное поле с помощью силовых линий

Примеры решения задач

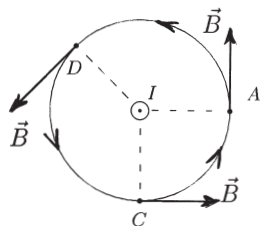
1. Изобразите направление вектора индукции $\vec{B}$ магнитного поля прямого тока I в точках A , C , D .



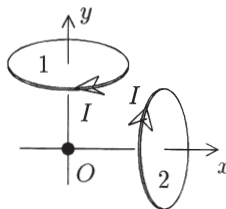
Решение.

Силовые линии магнитного поля прямого проводника с током представляют собой окружности. Направление силовых линий определяется по правилу правого винта. Как следует из рисунка, ток течет в направлении, перпендикулярном плоскости листа, к наблюдателю. Совмещаем поступательное движение винта с этим направлением. Направление силовых линий совпадает с направлением вращения винта.

Так как точки A , D , C находятся на одинаковом расстоянии от проводника, то через них проходит одна и та же силовая линия. Изображаем вектор $\vec{B}$ в каждой точке. Модуль вектора для точек A , D , C имеет одно и то же значение. В каждой точке вектор $\vec{B}$ направлен по касательной к силовой линии в сторону направления силовой линии.

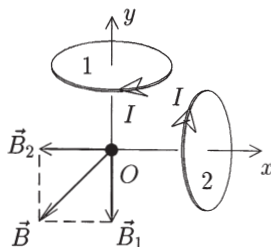


2. Магнитное поле создано двумя круговыми токами I , равными по величине. Изобразите векторы магнитной индукции полей, созданных этими токами, в точке O .



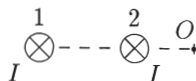
Решение.

Так как точка O одинаково удалена от проводников с одинаковыми токами, то значения модулей векторов $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ в этой точке должны быть равными. Для определения направления векторов в точке O (точка находится на оси каждого кругового тока) воспользуемся правилом правого винта. Совмещаем направление вращения винта с направлением циркуляции тока в проводнике.



Направление поступательного движения винта показывает направление вектора индукции магнитного поля. В точке пересечения осей круговых токов изображаем векторы $\vec{B}_1$, $\vec{B}_2$ и их векторную сумму $\vec{B}$.

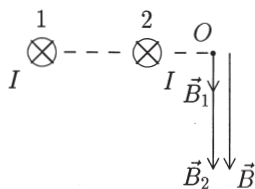
3. На рисунке показаны поперечные сечения бесконечных прямолинейных проводников с токами силой I . Изобразите векторы магнитной индукции полей, созданные этими токами, в точке O .



Решение.

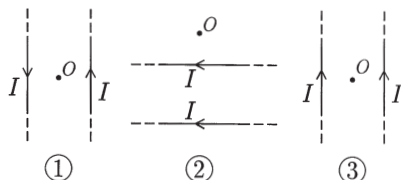
Так как точка O более удалена от первого проводника, чем от второго, то $|\vec{B}_2| > |\vec{B}_1|$. Направление векторов $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ в точке O определяем, используя

правило правого винта. Направление поступательного движения винта совмещаем с направлением тока в проводнике. Направление вращательного движения винта показывает направление силовой линии. Вектор $\vec{B}$ направлен к ней по касательной. Изображаем векторы $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$. Изображаем вектор $\vec{B}$, представляющий собой геометрическую сумму векторов $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$.



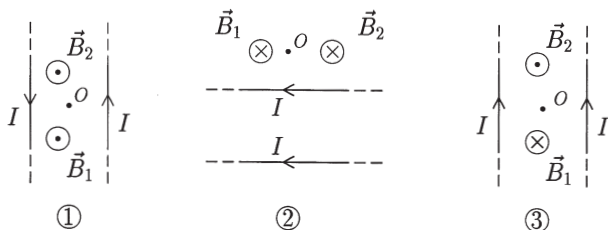
4. По двум бесконечным прямолинейным проводникам текут токи I . Результирующий вектор магнитной индукции в точке O имеет наименьшее значение в случае . . .

укажите номер



Решение.

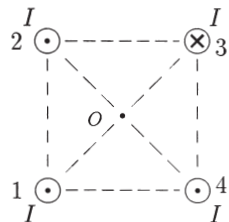
Вектор магнитной индукции $\vec{B}$ в точке O равен геометрической сумме двух векторов индукции $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ магнитных полей первого и второго проводников с током.



Воспользовавшись правилом правого винта, определим направление векторов $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ в каждом из трех случаев. Как видно из рисунков, в первых двух случаях векторы $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ имеют одинаковое направление, следовательно $|\vec{B}| = |\vec{B}_1| + |\vec{B}_2|$. В третьем случае векторы $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ имеют противоположные направления, следовательно $|\vec{B}| = |\vec{B}_1| - |\vec{B}_2|$. Так как точка O одинаково удалена от проводников, а токи в них одинаковые, то $|\vec{B}_1| = |\vec{B}_2|$. Отсюда в третьем случае $|\vec{B}| = 0$.

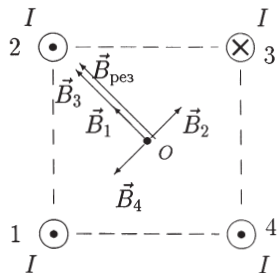
Ответ: №3.

5. На рисунке изображены поперечные сечения четырех бесконечных прямолинейных проводников, расположенных в вершинах квадрата. По проводникам текут токи I . Изобразите в точке O векторы магнитной индукции $\vec{B}_1$, $\vec{B}_2$, $\vec{B}_3$, $\vec{B}_4$, созданные каждым током, и результирующий вектор $\vec{B}_{\text{рез}}$.



Решение.

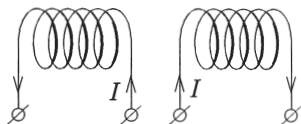
Результирующий вектор индукции по принципу суперпозиции равен геометрической сумме векторов: $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4$. Так как точка O одинаково удалена от всех проводников, а в проводниках текут одинаковые токи, то $|\vec{B}_1| = |\vec{B}_2| = |\vec{B}_3| = |\vec{B}_4|$. Используя правило правого винта, изобразим в точке O каждый вектор (см. рис.) Как следует из рисунка $\vec{B}_2 + \vec{B}_4 = 0$, следовательно: $\vec{B}_{\text{рез}} = \vec{B}_1 + \vec{B}_3$. Изображаем результирующий вектор $\vec{B}_{\text{рез}}$.



6. На рисунке изображены два соленоида. Каждый соленоид присоединен к источнику тока. Из приведенных ниже утверждений выберите правильное.

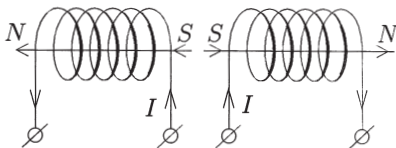
1. Соленоиды притягиваются.
2. Соленоиды отталкиваются.
3. Соленоиды не взаимодействуют.

Правильный ответ . . .
укажите номер



Решение.

Изобразим силовые линии полей соленоидов, воспользовавшись правилом правого винта. Для этого совмещаем направление вращения винта с направлением циркуляции тока в соленоиде. Поступательное движение винта показывает направление силовых линий внутри соленоида.



Обозначаем полюса у соленоидов. Так как соленоиды обращены друг к другу одноименными полюсами (южными), то соленоиды отталкиваются.

Ответ: №2.

3.2 Сила Лоренца

На электрический заряд, движущийся в магнитном поле, действует сила Лоренца $\vec{F}_л$. Модуль вектора силы Лоренца равен:

$$\vec{F}_л = |q \cdot V \cdot B \cdot \sin \alpha|, \quad (1)$$

где q – заряд, V – скорость заряда, B – модуль вектора индукции магнитного поля, α – угол между вектором скорости $\vec{V}$ и вектором $\vec{B}$. Сила Лоренца всегда направлена перпендикулярно как к направлению вектора $\vec{V}$, так и к направлению вектора $\vec{B}$ (рис. 12).

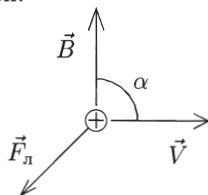


Рис. 12. Сила Лоренца

Направление силы Лоренца, действующей на положительный заряд, определяется по правилу левой руки. Вытянутые четыре пальца левой руки ориентируют по направлению скорости движения заряда так, чтобы силовые линии магнитного поля входили в ладонь. При этом направление отогнутого в сторону большого пальца покажет направление силы, действующей на положительный заряд. Если заряд отрицательный, то сила будет направлена в противоположном направлении. Как следует из формулы (1), модуль силы Лоренца имеет максимальное значение, если заряд движется перпендикулярно к силовым линиям магнитного поля. Если заряд движется вдоль силовых линий, то сила Лоренца равна нулю. Выражение (1) можно переписать следующим образом:

$$F_л = |q| \cdot V_{\perp} \cdot B,$$

где $V_{\perp} = V \cdot \sin \alpha$ – модуль составляющей скорости, перпендикулярной направлению вектора $\vec{B}$. Таким образом, сила Лоренца определяется только перпендикулярной составляющей скорости ($V_{\perp}$). Так как направление силы Лоренца перпендикулярно направлению скорости, то эта сила играет роль центростремительной силы и приводит к искривлению траектории движения заряженных частиц. При этом никакой работы сила Лоренца не совершает и, следовательно, не изменяет значения кинетической энергии частиц.

Наиболее простые по форме траектории у заряженных частиц получаются при движении в однородном магнитном поле. Если вектор $\vec{V}$ параллелен или антипараллелен вектору $\vec{B}$, то $F_n=0$ и частица движется вдоль силовых линий магнитного поля (рис. 13 а). Если вектор $\vec{V}$ перпендикулярен вектору $\vec{B}$, то $V_{\perp} = V$ и траектория движения частицы является окружностью (рис. 13 б). Если вектор $\vec{V}$ составляет угол α с вектором $\vec{B}$, то $V_{\perp} = V \cdot \sin \alpha$, $V_{\parallel} = V \cdot \cos \alpha$ и траектория движения частицы представляет собой винтовую линию (рис. 13 в).

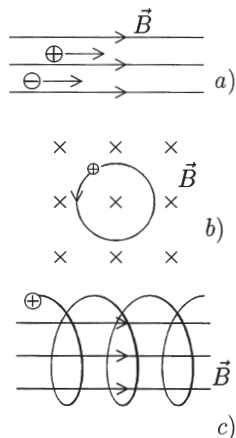


Рис. 13. Траектории движения заряженных частиц в магнитном поле

3.3 Сила Ампера

На проводник с током, помещенный в магнитное поле, действует сила Ампера $\vec{F}_A$. В случае прямолинейного отрезка проводника, находящегося в однородном магнитном поле, модуль силы Ампера равен:

$$|\vec{F}_A| = |I \cdot l \cdot B \cdot \sin \alpha|, \quad (2)$$

где I – сила тока в проводнике, l – длина отрезка проводника, B – модуль индукции магнитного поля, α – угол между вектором $\vec{B}$ и проводником с током. Вектор $\vec{F}_A$ перпендикулярен и проводнику с током и к вектору $\vec{B}$ (рис. 14).

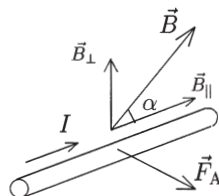


Рис. 14. Сила Ампера

Направление $\vec{F}_A$ определяется по правилу левой руки: если четыре вытянутых пальца ладони левой руки ориентируются по направлению тока так, чтобы силовые линии магнитного поля входили в ладонь, то отогнутый на 90° большой палец покажет направление силы Ампера. Как следует из формулы (2), сила Ампера максимальна по модулю, если проводник с током ориентирован перпендикулярно силовым линиям магнитного поля. Если проводник с током расположен вдоль силовых линий, то $F_A = 0$.

Выражение (2) можно переписать следующим образом: $F_A = I \cdot l \cdot B_{\perp}$,

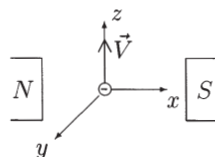
где $B_{\perp}$ – модуль составляющей вектора $\vec{B}$, перпендикулярной направлению проводника. Таким образом, сила Ампера определяется только перпендикулярной направлению проводника составляющей ($\vec{B}_{\perp}$).

Методические указания к решению задач

Для решения задач необходимо знать выражения для силы Лоренца и силы Ампера, уметь определять направление сил с помощью правила левой руки. Важно определить угол между направлением движения зарядов и направлением вектора магнитной индукции, так как величина сил Лоренца и Ампера связана с этим углом. Необходимо помнить, что в конкретной физической ситуации кроме силы Лоренца или силы Ампера могут действовать и другие силы.

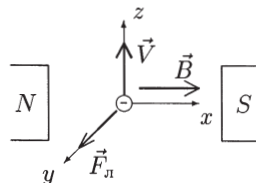
Примеры решения задач

1. В магнитное поле влетает электрон. Изобразите вектор силы Лоренца, действующей на электрон.

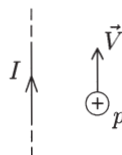


Решение.

Сначала определим направление силовых линий магнитного поля и вектора $\vec{B}$. Силовые линии направлены от северного полюса магнита N к южному S . Изобразим вектор $\vec{B}$, направленный вдоль оси x . Ориентируем вытянутые четыре пальца левой руки по направлению вектора $\vec{V}$ так, чтобы вектор $\vec{B}$ входил в ладонь. Так как заряд электрона отрицательный, то вектор силы Лоренца имеет направление, противоположное направлению отогнутого большого пальца. Изображаем вектор $\vec{F}_L$, направленный вдоль оси y .



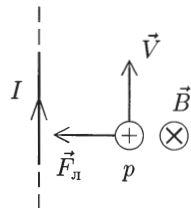
2. В магнитное поле, созданное прямолинейным током I , влетел протон со скоростью V . Укажите вектор силы Лоренца, действующей на протон в этот момент времени.



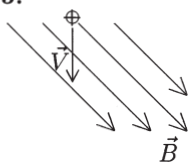
Решение.

Сначала определим направление силовых линий магнитного поля проводника с током и направление вектора $\vec{B}$ в области где находится в данный момент времени протон. Для этого используем правило правого винта. Поступательное движение винта совмещаем с направлением тока. Направление вращения винта показывает направление силовых линий. Вектор $\vec{B}$ направлен по касательной к силовой линии.

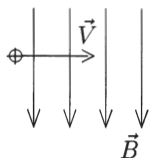
В интересующей нас точке вектор $\vec{B}$ направлен перпендикулярно плоскости листа от наблюдателя. Изобразим вектор $\vec{B}$ (используем обозначение $\otimes$). Для определения направления силы Лоренца воспользуемся правилом левой руки: ориентируем четыре вытянутых пальца ладони левой руки по направлению вектора $\vec{v}$ так, чтобы вектор $\vec{B}$ входил в ладонь, отогнутый большой палец показывает направление $\vec{F}_л$. Изобразим вектор $\vec{F}_л$.



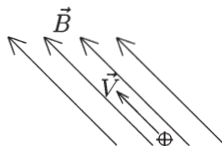
3.



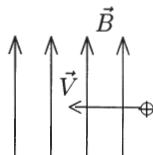
①



②



③



④

Протон, влетающий в однородное магнитное поле, будет двигаться по прямой в случае . . .

укажите номер

Решение.

Чтобы траектория протона была прямой линией, действующая на него сила должна равняться нулю. Модуль силы Лоренца равен

$$|\vec{F}_л| = |q \cdot v \cdot B \sin \alpha|.$$

Очевидно $F_л = 0$, если $\alpha = 0$. Этому соответствует ситуация №3.

Ответ: №3.

4. α -частица движется в однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции по окружности радиусом $3 \cdot 10^{-2}$ м. Индукция магнитного поля $2,5 \cdot 10^{-3}$ Тл;

масса и заряд α -частицы $m_\alpha = 6,6 \cdot 10^{-27}$ кг, $q_\alpha = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Скорость α -частицы равна . . .

численное значение

Решение.

Сила Лоренца играет роль центростремительной силы и сообщает α -частице центростремительное ускорение. По второму закону Ньютона $\vec{F}_л = m \cdot \vec{a}$. Запишем это равенство в скалярной форме, воспользовавшись выражением для модуля центростремительного ускорения:

$$q \cdot V \cdot B = m \frac{V^2}{R}.$$

Выразим скорость α -частицы:

$$V = \frac{q \cdot B \cdot R}{m}.$$

Подставляем численные значения:

$$V = \frac{3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-2}}{6,6 \cdot 10^{-27}} \approx 3,64 \cdot 10^3 \text{ м/с}.$$

Ответ: $V \approx 3,64 \cdot 10^3$ м/с.

5. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов U , влетает в однородное магнитное поле с индукцией B и движется по окружности со скоростью V .

Радиус окружности $R = . . .$

выразить через заданные величины

Решение.

Воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии (или законом сохранения энергии) и выразим кинетическую энергию частицы, ускоренной электрическим полем:

$$\frac{mv^2}{2} = qU, \quad (3)$$

где m – масса частицы, q – заряд частицы. Запишем второй закон Ньютона для частицы, движущейся по окружности в магнитном поле:

$$\vec{F}_л = m \cdot \vec{a},$$

где $F_л$ – сила Лоренца, $\vec{a}$ – центростремительное ускорение частицы, вызываемое силой Лоренца. Запишем это равенство в скалярной форме, воспользовавшись выражениями для модуля силы Лоренца и для модуля центростремительного ускорения:

$$q \cdot V \cdot B = \frac{mv^2}{R}. \quad (4)$$

Выразим из (3) величину mv^2 и подставим в (4):

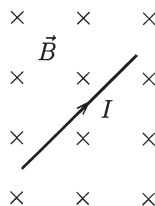
$$q \cdot V \cdot B = \frac{2qU}{R}.$$

После преобразований получаем:
$$R = \frac{2 \cdot U}{V \cdot B}.$$

Ответ:
$$R = \frac{2U}{VB}.$$

6. Проводник, по которому течет ток $I = 2$ А, помещен в однородное магнитное поле с индукцией $B = 1,0 \cdot 10^{-2}$ Тл. Длина проводника $l = 0,2$ м. Покажите на рисунке направление вектора силы, действующей на проводник. Величина силы Ампера равна . . .

численное значение



Решение.

Направление силы Ампера определяем по правилу левой руки: вытянутые четыре пальца ладони левой руки направляем по направлению тока в проводнике так, чтобы силовые линии магнитного поля входили в ладонь. Отогнутый большой палец показывает направление силы Ампера $\vec{F}_A$.

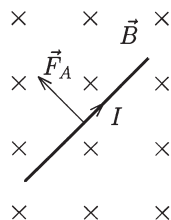
Изображаем вектор $\vec{F}_A$. Модуль силы Ампера равен:

$$F_A = |I \cdot l \cdot B \cdot \sin \alpha|.$$

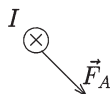
В данном случае $\alpha = \pi/2$ и, следовательно, $\sin \alpha = 1$. Подставляем численные значения:

$$F_A = 2 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 10^{-2} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ (Н)}.$$

Ответ: $F_A = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$.

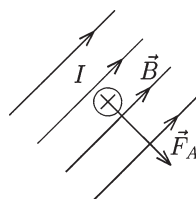


7. В однородном магнитном поле на проводник с силой тока I действует сила Ампера $\vec{F}_A$. Изобразите силовые линии этого магнитного поля.

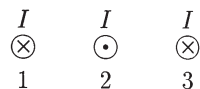


Решение.

Для определения направления силовых линий магнитного поля воспользуемся правилом левой руки. Направляем вытянутые четыре пальца ладони левой руки по направлению тока в проводнике так, чтобы направление отогнутого пальца совпало с направлением вектора силы Ампера $\vec{F}_A$. Силовые линии магнитного поля должны входить в ладонь. Изображаем силовые линии.



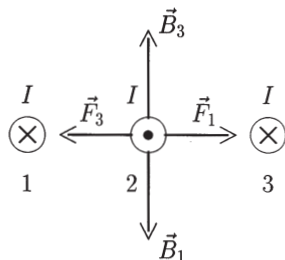
8. По трем параллельным проводникам, находящимся на одинаковом расстоянии друг от друга, текут одинаковые токи I . Покажите на рисунке направление векторов сил Ампера, действующих на второй проводник



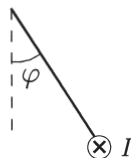
Решение.

На второй проводник действуют силы Ампера, обусловленные магнитными полями токов первого и третьего проводников. Изображаем векторы индукции магнитного поля первого и третьего проводников. Так как токи, текущие в проводниках, одинаковые и второй проводник одинаково удален от двух других проводников, то $|\vec{B}_1| = |\vec{B}_3|$. Направления векторов $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_3$ определяем по правилу правого винта.

Изображаем векторы сил Ампера $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_3$. Так как $|\vec{B}_1| = |\vec{B}_3|$, то $|\vec{F}_1| = |\vec{F}_3|$. Направление векторов сил определяем по правилу левой руки. Вытянутые четыре пальца ладони левой руки ориентируем по направлению тока во втором проводнике так, чтобы соответствующий вектор $\vec{B}$ ($\vec{B}_1$ или $\vec{B}_3$) входил в ладонь. Направление отогнутого большого пальца покажет направление силы Ампера. Изображаем векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_3$.



9. В вертикальном однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,2$ Тл на двух тонких невесомых нитях подвешен горизонтально проводник массой $m = 0,2$ кг. На рисунке изображено поперечное сечение проводника. По проводнику пропускают ток $I = 5$ А, при этом угол отклонения нитей от вертикали $\varphi = 45^\circ$.



Длина проводника равна . . .

численное значение

Решение.

На проводник с током действуют следующие силы: сила тяжести $\vec{F}_T$, сила Ампера $\vec{F}_A$ и сила натяжения двух нитей $\vec{F}_H$. Изображаем силы на рисунке. По условию равновесия $\vec{F}_A + \vec{F}_H + \vec{F}_T = 0$. Изобразим векторную сумму трех сил, используя это условие (см. рис.). Из полученного прямоугольного треугольника следует, что $F_A = F_T \cdot \operatorname{tg} \varphi$. Подставляем выражения для модулей сил:

$$I \cdot l \cdot B = mg \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

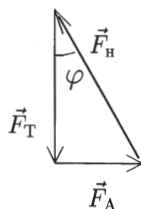
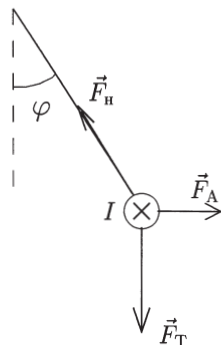
Отсюда находим выражение для длины проводника:

$$l = \frac{mg \cdot \operatorname{tg} \varphi}{I \cdot B}.$$

Подставляем численные значения (принимая $g = 10 \text{ м/с}^2$):

$$l = \frac{0,2 \cdot 10 \cdot 1}{5 \cdot 0,2} = 2 \text{ м}.$$

Ответ: $l = 2 \text{ м}$.



4 Электромагнитная индукция

4.1 Явление и закон электромагнитной индукции.

Правило Ленца

Явление и закон электромагнитной индукции были открыты М. Фарадеем. Он обнаружил, что в замкнутом проводящем контуре возникает электрический *индукционный ток* если происходит изменение со временем *магнитного потока*, пронизывающего этот контур.

Для простого случая, когда контур находится в однородном магнитном поле (рис. 15), величина магнитного потока равна:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha,$$

где B – индукция магнитного поля, S – площадь поверхности, ограниченной контуром, α – угол между направлением вектора нормали к поверхности $\vec{n}$ и направлением вектора индукции $\vec{B}$.

Величина магнитного потока может изменяться по разным причинам: за счет изменения индукции магнитного поля, за счет изменения площади поверхности контура и за счет перемещения контура в пространстве. Появление индукционного тока не зависит от конкретной причины изменения магнитного потока. По закону электромагнитной индукции величина ЭДС индукции $\mathcal{E}_i$, возникающей в контуре, равна:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (1)$$

Если магнитный поток изменяется во времени по линейному закону, то вместо (1) можно записать:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (2)$$

где $\Delta\Phi$ – приращение магнитного потока за промежуток времени Δt . *Направление индукционного тока* в контуре определяется по *правилу Ленца*: индукционный ток всегда имеет такое направление, чтобы своим магнитным полем препятствовать изменению магнитного потока, вызвавшего появления этого тока.

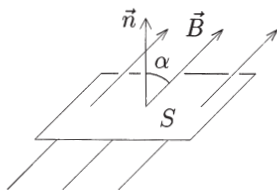


Рис. 15. Поток магнитного поля

4.2 Явление самоиндукции

Если изменяющийся магнитный поток обусловлен переменным электрическим током, протекающим в контуре, то в контуре возникает ЭДС индукции, которая получила название ЭДС самоиндукции. Величина собственного магнитного потока проводника с током равна:

$$\Phi_s = L \cdot I,$$

где L – индуктивность проводника, I – величина силы тока в проводнике. По закону электромагнитной индукции ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{is}$ равна:

$$\mathcal{E}_{is} = -\frac{d\Phi_s}{dt}.$$

Если индуктивность проводника не изменяется со временем, то выражение для ЭДС самоиндукции принимает вид:

$$\mathcal{E}_{is} = -L \frac{dI}{dt}.$$

При изменении силы тока в контуре во времени по линейному закону для ЭДС самоиндукции можно записать:

$$\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

где ΔI – приращение силы тока в контуре за промежуток времени Δt .

4.3 Энергия магнитного поля

Магнитное поле проводника с током обладает энергией, которая может быть определена по формуле:

$$W_M = \frac{LI^2}{2},$$

где L – индуктивность проводника, I – сила тока в проводнике. Используя связь собственного магнитного потока с силой тока в проводнике, можно получить другие два выражения для энергии магнитного поля:

$$W_M = \frac{\Phi_s I}{2}, \quad W_M = \frac{\Phi_s^2}{2L}.$$

Методические указания к решению задач

Для решения задач, связанных с явлением электромагнитной индукции, необходимо знать правило Ленца, владеть понятием магнитного потока и

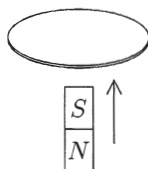
индуктивности, знать формулы для ЭДС индукции, для ЭДС самоиндукции и формулу для энергии магнитного поля проводника с током. При решении задач по определению направления индукционного тока следует сначала выяснить в ходе каких процессов и как изменяется магнитный поток, пронизывающий контур. После этого, воспользовавшись правилом Ленца и правилом правого винта, определить направление индукционного тока в контуре. При определении ЭДС индукции необходимо сначала найти закон изменения магнитного потока, пронизывающего контур. При определении ЭДС самоиндукции необходимо знать зависимость силы тока в контуре от времени. При определении ЭДС, возникающей в катушке, имеющей число витков N , величина ЭДС может быть представлена следующим образом:

$$\mathcal{E}_i = N \cdot \mathcal{E}_{iB},$$

где $\mathcal{E}_{iB}$ – величина ЭДС, возникающей в одном витке.

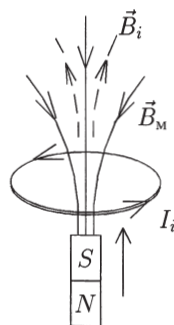
Примеры решения задач

1. Магнит приближается к проводящему кольцу. Покажите направление индукционного тока в кольце.

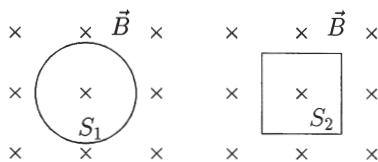


Решение.

Изобразим силовые линии поля магнита ($\vec{B}_M$), пронизывающие поверхность, ограниченную кольцом. По мере приближения магнита к кольцу увеличивается магнитный поток, пронизывающий кольцо. Индукционный ток (I_i) создает в кольце магнитное поле ($\vec{B}_i$), стремящееся уменьшить этот поток. Изображаем пунктиром силовые линии магнитного поля индукционного тока. По правилу правого винта определяем направление индукционного тока в кольце. Для этого совмещаем поступательное движение винта с направлением силовых линий магнитного поля индукционного тока. Направление вращения винта показывает направление циркуляции тока в кольце.



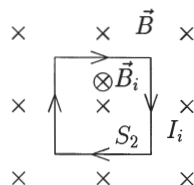
2. Круговой контур площадью S_1 помещен в однородное магнитное поле $\vec{B}$. Не выводя контур из плоскости и не меняя длины, его превратили в квадрат площадью S_2 . Укажите направление возникшего индукционного тока в квадратном контуре ($S_1 > S_2$).



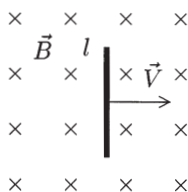
Решение.

Величина магнитного потока, пронизывающего контур $\Phi = B \cdot S$, уменьшается за счет уменьшения площади, ограниченной контуром. Индукционный ток кольца (I_i) создает магнитное поле ($\vec{B}_i$), стремящееся увеличить магнитный поток. Следовательно, направление

силовых линий поля индукционного тока внутри контура должно совпадать с направлением силовых линий внешнего магнитного поля. Направление индукционного тока определяем по правилу правого винта.



3. Проводник длиной $l = 1$ м движется со скоростью $V = 5$ м/с перпендикулярно силовым линиям магнитного поля. На концах проводника возникает ЭДС индукции, модуль которой равен 0,02 В.



Индукция магнитного поля $B = \dots$

численное значение

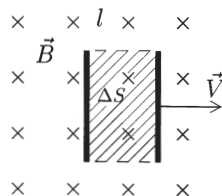
Решение.

Изобразим два последовательных положения проводника, разделенных во времени промежутком Δt . За этот промежуток времени изменение магнитного потока, пронизывающего проводник, равно:

$$\Delta\Phi = B \cdot \Delta S,$$

где ΔS – площадь заштрихованного прямоугольника. Так как проводник движется с постоянной скоростью, то $\Delta S = l \cdot V \cdot \Delta t$, тогда:

$$\Delta\Phi = B \cdot l \cdot V \cdot \Delta t.$$



Модуль ЭДС индукции равен:

$$|\mathcal{E}_i| = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = \frac{B \cdot l \cdot V \cdot \Delta t}{\Delta t} = B \cdot l \cdot V.$$

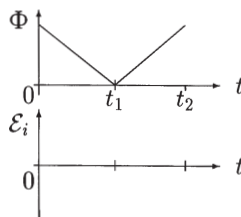
Отсюда величина магнитной индукции равна:

$$B = \frac{|\mathcal{E}_i|}{l \cdot V}.$$

Подставляем численные значения: $B = \frac{0,02}{1,5} = 0,004$ Тл.

Ответ: $B = 0.004$ Тл.

4. Магнитный поток Φ , пронизывающий рамку, изменяется со временем по закону, показанному на рисунке. Постройте график зависимости ЭДС индукции, возникающей в рамке, от времени.



Решение.

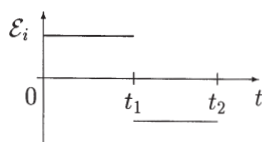
Так как магнитный поток изменяется по линейному закону, то ЭДС на каждом участке будет постоянной величиной, которая может быть определена по формуле:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

На первом участке $\Delta\Phi_1 < 0$, следовательно, $\mathcal{E}_1 > 0$.

На втором участке $\Delta\Phi_2 > 0$, следовательно, $\mathcal{E}_2 < 0$.

Так как $|\Delta\Phi_1| = |\Delta\Phi_2|$, и $\Delta t_1 = \Delta t_2$, то $|\mathcal{E}_1| = |\mathcal{E}_2|$.



Изображаем график зависимости ЭДС индукции от времени.

5. Магнитный поток через виток изменяется на $5 \cdot 10^{-3}$ Вб за время $\Delta t = 0,1$ с. ЭДС индукции, возникающая в соленоиде, равна (по модулю) 10 В. Число витков в соленоиде равно . . .
численное значение

Решение.

ЭДС индукции в соленоиде складывается из ЭДС отдельных витков, поэтому модуль ЭДС равен:

$$|\mathcal{E}| = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}; \quad |\mathcal{E}| = N \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}.$$

Отсюда

$$N = \frac{|\mathcal{E}| \cdot \Delta t}{|\Delta \Phi|}.$$

Подставляем численное значение: $N = \frac{10 \cdot 0,1}{5 \cdot 10^{-3}} = 200$.

Ответ: $N = 200$ витков.

6. Соленоид содержит $N = 1000$ витков провода, плотно прилегающих друг к другу. Индуктивность соленоиды $L = 3 \cdot 10^{-2}$ Гн. Магнитный поток через один виток $\Phi = 9 \cdot 10^{-4}$ Вб.

По соленоиду протекает ток $I = \dots$
численное значение

Решение.

Для соленоиды имеет место следующее соотношение $N \cdot \Phi = L \cdot I$. Отсюда получаем

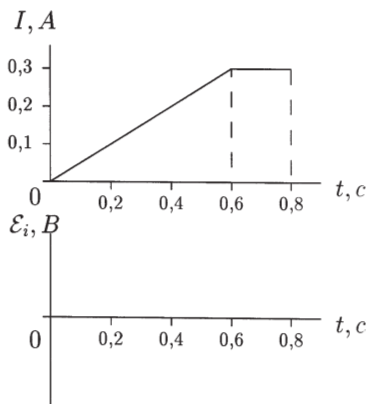
$$I = \frac{N \cdot \Phi}{L}.$$

Подставляем численные значения:

$$I = \frac{10^3 \cdot 9 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^{-2}} = 30 \text{ A}.$$

Ответ: $I = 30 \text{ A}$.

7. На графике представлена зависимость силы тока от времени в катушке индуктивностью $L = 0,02$ Гн. Рассчитайте ЭДС самоиндукции и постройте график зависимости ЭДС от времени.



Решение.

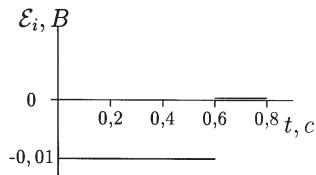
Если сила тока изменяется по линейному закону, то ЭДС самоиндукции равна:

$$\mathcal{E}_i = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

В промежутке времени от 0 до 0,6 с:

$$\mathcal{E}_1 = -0,02 \frac{0,3}{0,6} = -0,01 \text{ (В)}.$$

В промежутке времени от 0,6 до 0,8 с сила тока не изменяется, поэтому $\mathcal{E}_2 = 0$. Строим график зависимости.



8. Используя данные предыдущей задачи, определите изменение энергии магнитного поля за промежуток времени от 0 до 0,6 с . . .

численное значение

Решение.

Энергия магнитного поля катушки может быть рассчитана по формуле

$$W_m = \frac{LI^2}{2}.$$

Изменение энергии равно:

$$\Delta W_m = W_{m2} - W_{m1} = \frac{LI_2^2}{2} - \frac{LI_1^2}{2}.$$

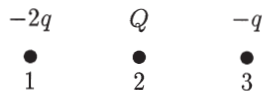
Подставляем численные значения:

$$\Delta W_m = \frac{0,02 \cdot (0,3)^2}{2} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ Дж.}$$

Ответ: $\Delta W_m = 9 \cdot 10^{-4} \text{ Дж.}$

Задачи для самостоятельного решения

1. Три точечных электрических заряда расположены на одной линии через одинаковые расстояния. Сила, действующая на третий заряд, равна нулю. Величина заряда $Q = \dots$



выразить через заданные величины

2. Два одинаковых маленьких металлических шарика с разноименными зарядами $+10q$ и $-10q$ приводят в соприкосновение, а затем разводят на расстояние R друг от друга. Сила взаимодействия шариков в вакууме равна $\dots$

численное значение

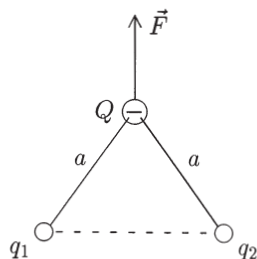
3. Точечные заряды q_1 и q_2 расположены на некоторых расстояниях от точечного заряда Q и действуют на него с силами, равными по модулю. Отношение расстояний $\frac{R_1}{R_2} = \dots$

выразить через заданные величины

4. Два точечных заряда q_1 и q_2 действуют на отрицательный точечный заряд Q . Вектор результирующей силы $\vec{F}$ изображен на рисунке. Изобразите на рисунке знаки зарядов q_1 и q_2 .

Сравните модули зарядов: $|q_1| \dots |q_2|$.

больше, меньше, равно



5. Заряженная частица массой m движется под действием электрического поля такой же частицы. При расстоянии между частицами, равном R , модуль ускорения частицы равен a .

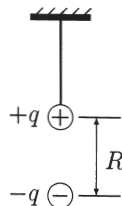
Заряд частицы $Q = \dots$

выразить через заданные величины

6. На длинной нити подвешен заряженный металлический шарик массой m и зарядом q . Под ним расположен такой же шарик с зарядом, равным $-q$. Расстояние между центрами шариков R .

Сила натяжения нити $F_n = \dots$

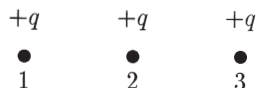
выразить через заданные величины



7. Частица, заряд которой равен $-q$, равномерно движется со скоростью V по круговой орбите радиусом R вокруг неподвижной частицы с зарядом $+q$.

Масса движущейся частицы $m = \dots$
выразить через заданные величины

8. Три точечных электрических заряда расположены на одной линии. Расстояния между соседними зарядами одинаковые. Сила, действующая на третий заряд, равна F . Если убрать первый заряд, то сила станет равной $\dots$

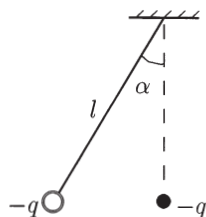


выразить через заданные величины

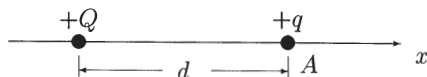
9. Подвешенный на нити металлический заряженный шарик находится в равновесии в поле неподвижного заряда $-q$. Заряд шарика равен $-q$.

Масса шарика $m = \dots$

выразить через заданные величины



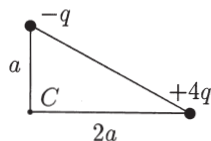
10. Частица массой m и зарядом $+q$ движется в поле неподвижного заряда $+Q$.



В точке A проекция ускорения частицы $a_x = \dots$

выразить через заданные величины

11. Два точечных заряда расположены в вершинах прямоугольного треугольника. Изобразите в масштабе векторы напряженностей электрических полей и их равнодействующую в точке C .

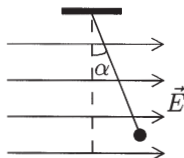


12. Заряженная пылинка массой m находится в равновесии в однородном электрическом поле напряженностью E , направленном вертикально.

Заряд пылинки $Q = \dots$

выразить через заданные величины

13. Положительно заряженный металлический шарик, подвешенный на изолирующей нити, помещен в однородное электрическое поле. Нить составляет угол α с вертикалью. Заряд шарика равен q . Напряженность электрического поля равна E .



Масса шарика $m = \dots$

выразить через заданные величины

14. Два точечных заряда $+q$ и $+4q$ расположены на расстоянии R друг от друга. В некоторой точке напряженность результирующего поля равна нулю.

Расстояние от первого заряда до этой точки $r = \dots$

выразить через заданные величины

15. В двух вершинах равностороннего треугольника со стороной a находятся заряды величиной $+q$ каждый. В третьей вершине находится заряд величиной $-q$.

Напряженность электрического поля в центре треугольника $E = \dots$

выразить через заданные величины

16. Заряженная частица начинает двигаться в однородном электрическом поле. За время t она проходит путь S . Заряд частицы равен q , масса равна m .

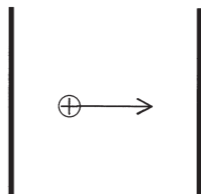
Напряженность электрического поля $E = \dots$

выразить через заданные величины

17. Напряженность электрического поля на расстоянии 10 см от точечного заряда равна 100 В/м. Напряженность электрического поля на расстоянии 20 см равна $\dots$

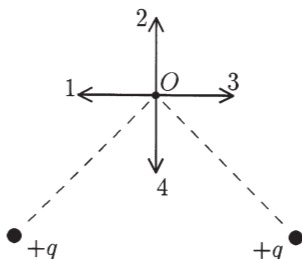
численное значение

18. Положительный заряд, двигаясь в поле заряженного плоского конденсатора, уменьшает свою кинетическую энергию. Изобразите на рисунке силовые линии электрического поля конденсатора и знаки зарядов пластин.



19. Результирующий вектор напряженности электрического поля, созданного двумя зарядами в точке O , совпадает по направлению с вектором . . .

укажите номер



20. Напряжение плоского воздушного конденсатора равно 100 В. Расстояние между пластинами – 1 мм. Между пластинами движется электрон ($q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл). Сила, действующая на электрон со стороны электрического поля, равна . . .

численное значение

21. Заряженная частица движется в электрическом поле. В точке с потенциалом φ_1 она имеет кинетическую энергию $\mathcal{E}_1$, а в точке с потенциалом φ_2 – кинетическую энергию $\mathcal{E}_2$. Заряд частицы $Q = . . .$

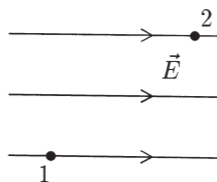
выразить через заданные величины

22. Если в точку 1 электрического поля с поместить точечный заряд q_1 , а в точку 2 точечный заряд q_2 , то первый заряд будет обладать потенциальной энергией W_1 , а второй – W_2 . Отношение потенциалов точек электрического поля $\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = . . .$

выразить через заданные величины

23. На рисунке изображены силовые линии электрического поля. Точечный положительный заряд перемещается из точки 1 в точку 2. Укажите правильное соотношение для работы электрического поля:

1) $A > 0$, 2) $A = 0$, 3) $A < 0$.



Номер правильного ответа . . .

24. Заряженная частица ($q = -1 \cdot 10^{-16}$ Кл) массой $m = 1 \cdot 10^{-26}$ кг движется в направлении линий напряженности электрического поля. В точке с потенциалом $\varphi_1 = 600$ В скорость частицы $V_1 = 1 \cdot 10^6$ м/с. Потенциал точки, в которой скорость частицы станет равной нулю, равен . . .
численное значение

25. Электрон (масса m , заряд e) движется вдоль силовых линий электрического поля с напряженностью E . В процессе движения скорость электрона изменяется от величины V_1 до величины V_2 .
Расстояние, пройденное электроном, $l = \dots$

выразить через заданные величины

26. Работа электрического поля по переносу электрического заряда из точки A в точку B равна нулю. Как изменится работа поля по перемещению положительного заряда из точки A в точку B , если потенциал точки A увеличить на некоторую величину, а потенциал точки B уменьшить на такую же величину. Из приведенных ниже утверждений выберите правильный ответ.

1. Работа поля станет равной нулю.

2. Работа поля станет положительной.

3. Работа поля станет отрицательной

Правильный ответ . . .

укажите номер

27. Протон и α -частица прошли одинаковые ускоряющие разности потенциалов.

Отношение скорости протона к скорости α -частицы равно . . .

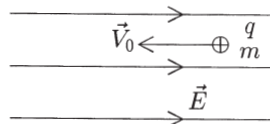
(считать $m_\alpha = 4m_p$)

численное значение

28. Частица с зарядом $q > 0$ и массой m влетает со скоростью V_0 в однородное электрическое поле. После перемещения частицы в поле на расстояние d ее кинетическая энергия уменьшается в четыре раза.

Напряженность электрического поля $E = \dots$

выразить через заданные величины



29. Заряд $+q$ перемещается в поле неподвижного заряда $+2q$ из точки, удаленной на расстояние r , в точку, удаленную на расстояние $2r$ от неподвижного заряда.

Работа электрического поля по перемещению заряда $A = \dots$

выразить через заданные величины

30. В вершинах квадрата со стороной a находятся одинаковые неподвижные заряды величиной $+q$ каждый. Электрический заряд $+Q$ перемещается из бесконечности в центр квадрата.

Работа электрического поля $A = \dots$

выразить через заданные величины

31. Воздушный конденсатор емкостью C соединен с источником тока, ЭДС которого равна $\mathcal{E}$. Расстояние между обкладками конденсатора увеличивают в два раза.

Энергия конденсатора стала $W = \dots$

выразить через заданные величины

32. Имеется плоский конденсатор, подключенный к источнику тока с постоянной ЭДС. Какое из ниже перечисленных действий приведет к уменьшению заряда конденсатора?

1. Увеличение площади пластин.

2. Увеличение расстояния между пластинами.

3. Увеличение диэлектрической проницаемости диэлектрика.

Правильный ответ $\dots$

укажите номер

33. Плоский воздушный конденсатор подключен к источнику. У конденсатора увеличивают в два раза расстояние между пластинами. Из приведенных ниже утверждений зачеркнуть неправильные

заряд	напряжение	емкость
увеличивается в 2 раза	увеличивается в 2 раза	увеличивается в 2 раза
уменьшается в 2 раза	уменьшается в 2 раза	уменьшается в 2 раза
не изменяется	не изменяется	не изменяется

34. Имеется заряженный плоский конденсатор, отключенный от источника тока. Для увеличения энергии конденсатора необходимо перечисленные в таблице величины изменить

диэлектрическая проницаемость	площадь пластин	расстояние между пластинами	заряд
увеличить	увеличить	увеличить	увеличить
уменьшить	уменьшить	уменьшить	уменьшить

зачеркните неправильные

35. Имеется конденсатор, заряженный до напряжения U . Конденсатор подключают к источнику тока с ЭДС, равной $\mathcal{E}$, при этом заряд конденсатора становится равным Q_2 . Величина заряда конденсатора до подключения источника тока $Q_1 = \dots$

выразить через заданные величины

36. Напряженность электрического поля между пластинами плоского воздушного конденсатора равна E . Площадь пластин равна S . Расстояние между пластинами равно d .

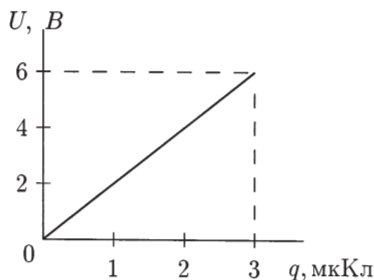
Энергия заряженного конденсатора $W = \dots$

выразить через заданные величины

37. При увеличении напряжения на конденсаторе в два раза энергия электрического поля возросла на 0,3 Дж. Первоначальная энергия электрического поля конденсатора равна $\dots$

численное значение

38. На рисунке изображен график зависимости напряжения U на конденсаторе от заряда q на его обкладках. Изобразите график зависимости $U(q)$, если емкость конденсатора увеличится в два раза.



39. Заряженный конденсатор переменной емкости отключен от источника. Заряд конденсатора $1 \cdot 10^{-3}$ Кл. Энергия, запасенная в конденсаторе 0,5 Дж. Емкость конденсатора увеличивают на $1,5 \cdot 10^{-6}$ Ф.

Приращение энергии конденсатора равно $\dots$

численное значение

40. Плоский воздушный конденсатор емкостью 20 пФ, подключен к источнику тока с ЭДС, равной 100 В. Для увеличения расстояния между пластинами конденсатора в два раза, необходимо совершить работу $\dots$

численное значение

41. Конденсатор емкостью 10 пФ, заряженный до напряжения 100 В, подключается к источнику тока с ЭДС, равной 300 В.

Изменение заряда конденсатора равно $\dots$

численное значение

42. Плоский воздушный конденсатор емкостью 20 пФ, заряжается от источника тока, ЭДС которого равна 10 В. После этого конденсатор отключают от источника тока и заполняют пространство между пластинами диэлектриком с диэлектрической проницаемостью равной 10.

Напряжение на конденсаторе стало равным . . . (численное значение).

43. Два последовательно соединенных резистора с сопротивлениями R_1 и R_2 включены в электрическую сеть с напряжением U . Падение напряжения на первом сопротивлении U_1 . Для увеличения U_1 необходимо изменить U , R_1 и R_2 следующим образом (ненужное зачеркнуть):

U	R_1	R_2
увеличить	увеличить	увеличить
уменьшить	уменьшить	уменьшить

44. По проводнику с сопротивлением R за время t прошел заряд q . Падение напряжения на проводнике $U = \dots$

выразить через заданные величины

45. Участок цепи состоит из двух последовательно соединенных кусков провода одинаковой длины и сделанных из одного материала, но имеющих разные площади сечения $S_1 = 16 \text{ мм}^2$ и $S_2 = 4 \text{ мм}^2$. Отношения падений напряжения на двух кусках провода $\frac{U_1}{U_2}$ равно . . .

численное значение

46. Графитовый стержень карандаша, имеющий сопротивление R , разрезали на два куска одинаковой длины. Сопротивление этих двух кусков графитового стержня, соединенных параллельно $R_1 = \dots$

выразить через заданные величины

47. Елочная гирлянда содержит n лампочек, соединенных последовательно. Каждая лампочка рассчитана на напряжение U_o и ток I_o . Для того, чтобы гирлянду включить в сеть напряжением U , к ней необходимо присоединить добавочное сопротивление $R = \dots$

выразить через заданные величины

48. Графитовый стержень карандаша длиной l и площадью поперечного сечения S включен в электрическую сеть с напряжением U . Для уменьшения протекающего по стержню тока необходимо изменить величины l , S и U следующим образом (ненужное зачеркнуть):

l	S	U
увеличить	увеличить	увеличить
уменьшить	уменьшить	уменьшить

49. Медный и стальной проводники длиной l_m и l_c и сечением S_m и S_c соединены параллельно и включены в сеть. По медному проводу протекает ток I_m , а по стальному I_c . Отношение удельных сопротивлений меди и стали

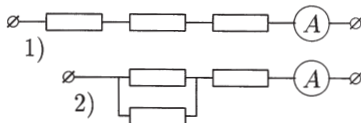
$$\frac{\rho_m}{\rho_c} = \dots$$

выразить через заданные величины

50. Три одинаковых резистора и амперметр подключают к сети двумя способами. В первом случае (схема 1) показание амперметра I_1 , во втором (схема 2) – I_2 .

$$\text{Отношение } \frac{I_2}{I_1} = \dots$$

численное значение



51. Два одинаковых резистора сопротивлением R каждый соединены параллельно и подключены к источнику тока с внутренним сопротивлением r .

Отношение ЭДС источника к напряжению на резисторах $\frac{\mathcal{E}}{U} = \dots$

выразить через заданные величины

52. Спираль из нихромовой проволоки длиной 2 м и площадью сечения 1 мм^2 присоединена к источнику тока с внутренним сопротивлением 10 Ом и ЭДС, равной 120 В. По спирали протекает ток 10 А.

Удельное сопротивление нихрома $\rho = \dots$

численное значение

53. Сопротивление R присоединено к источнику тока с ЭДС равной $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r . Для увеличения падения напряжения на сопротивлении R необходимо изменить $\mathcal{E}$, R и r следующим образом:

$\mathcal{E}$	R	r
увеличить	увеличить	увеличить
уменьшить	уменьшить	уменьшить

ненужное зачеркнуть

54. Вольтметр рассчитан на измерение максимального напряжения U_0 при силе тока I_0 . Для измерения напряжения $U > U_0$ к вольтметру нужно присоединить последовательно сопротивление $R = \dots$

выразить через заданные величины

55. После присоединения источника тока к внешней цепи разность потенциалов на зажимах источника равна U . ЭДС источника тока $\mathcal{E}$, сопротивление внешней цепи R .

Внутреннее сопротивление источника тока $r = \dots$

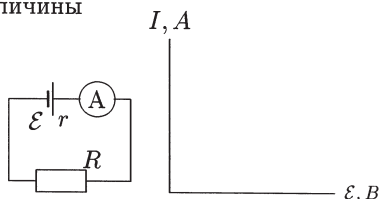
выразить через заданные величины

56. Две одинаковые электрические лампы с сопротивлениями R каждая параллельно подключены к источнику тока с ЭДС, равной, $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением равным r .

Протекающий в цепи ток $I = \dots$

выразить через заданные величины

57. На рисунке изображена схема электрической цепи. Постройте график зависимости показаний амперметра I от ЭДС источника тока $\mathcal{E}$ при величине сопротивления $R = 1$ Ом и внутреннем сопротивлении источника тока $r = 9$ Ом.



58. К источнику тока присоединены реостат и амперметр для измерения тока, протекающего через реостат. При сопротивлении реостата 10 Ом показание амперметра 4 А. При сопротивлении реостата 30 Ом показание амперметра 2 А.

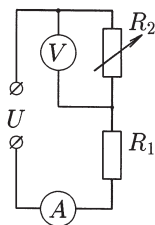
ЭДС источника тока равна $\dots$

численное значение

59. Электрическая цепь, изображенная на рисунке, включена в сеть с постоянным напряжением $U = 100$ В. Сопротивление резистора $R_1 = 10$ Ом. Сопротивление переменного резистора R_2 изменяют от 10 Ом до 2 Ом.

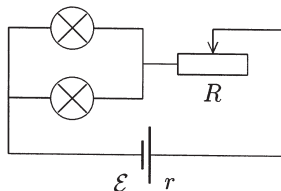
Разность показаний вольтметра равна $\dots$

численное значение



60. Две одинаковые лампы сопротивлением 20 Ом каждая соединены параллельно и подключены к источнику тока через реостат. ЭДС источника тока 50 В, а внутреннее сопротивление 10 Ом. Каждая лампа рассчитана на ток 0,5 А. Лампы перегорят, если сопротивление реостата будет меньше $\dots$

(численное значение)



61. Если к источнику тока с ЭДС, равной 110 В, подключить резистор с сопротивлением 11 Ом, то в цепи протекает ток 5 А.

Ток короткого замыкания равен . . .

численное значение

62. К аккумулятору подключена лампочка, сопротивление которой в шесть раз больше внутреннего сопротивления аккумулятора. Если параллельно ей присоединить еще такую же, то ток в цепи аккумулятора возрастет в . . . раз.

численное значение

63. Электrolампа, рассчитанная на напряжение $U_{\text{л}}$ и мощность $P_{\text{л}}$, подключается к сети напряжением U ($U > U_{\text{л}}$). Для нормального накала нити лампы к ней необходимо присоединить сопротивление $R = \dots$

выразить через заданные величины

64. Электрическая лампа с сопротивлением R присоединена к источнику тока ЭДС равной $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r . За время t источник тока совершает полезную работу $A = \dots$

выразить через заданные величины

65. На резисторе сопротивлением R за время t выделяется количество теплоты Q .

За время t через проводник протекает заряд $q = \dots$

выразить через заданные величины

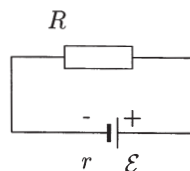
66. Два параллельно соединенных электрообогревателя с сопротивлениями R_1 и R_2 включены в электросеть.

Отношения потребляемых обогревателями мощностей $\frac{N_1}{N_2} = \dots$

выразить через заданные величины

67. Сопротивление резистора $R = 10$ Ом, внутреннее сопротивление источника ЭДС $r = 20$ Ом, а величина ЭДС $\mathcal{E} = 90$ В. За время $t = 10$ с на резисторе выделяется количество теплоты $Q = \dots$

численное значение



68. Электролампа с сопротивлением R присоединена к источнику тока с ЭДС, равной $\mathcal{E}$, и внутренним сопротивлением r . Электролампа потребляет мощность N . Для увеличения N необходимо изменить величины $\mathcal{E}$, и r следующим образом:

$\mathcal{E}$	r
увеличить	увеличить
уменьшить	уменьшить

ненужное зачеркнуть

69. Пылесос, сопротивление двигателя которого равно R_1 , подключен к электрической сети с напряжением U с помощью провода с сопротивлением R_2 . Мощность пылесоса $N = \dots$

выразить через заданные величины

70. Электрообогреватель состоит из двух одинаковых параллельно соединенных спиралей. При включении в сеть с напряжением U за время t электрообогреватель выделяет количество тепла Q .

Сопротивление каждой спирали $R = \dots$

выразить через заданные величины

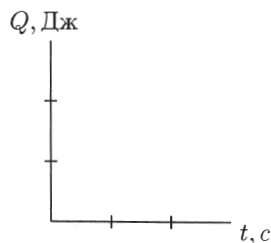
71. В электрической плитке имеются две одинаковые спирали. Укажите, какое из перечисленных ниже действий приводит к самому медленному нагреву поставленного на плитку чайника.

1. Включение одной спирали.
2. Включение двух спиралей параллельно.
3. Включение двух спиралей последовательно.

правильный ответ . . .

укажите номер

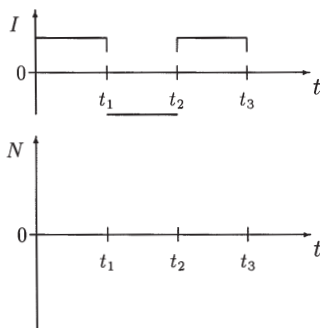
72. В электроплите имеются две спирали с сопротивлением $R = 100$ Ом каждая, соединенные последовательно. Плита включена в сеть с напряжением $U = 220$ В. Изобразите график зависимости выделяемого плитой тепла Q от времени t .



73. Электрическая лампа с сопротивлением R присоединена к источнику тока с внутренним сопротивлением r . За время t источник тока совершает полезную работу A .

ЭДС источника тока $\mathcal{E} = \dots$

выразить через заданные величины

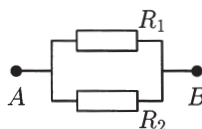


74. Используя график зависимости тока от времени, изобразите график зависимости выделяющейся на резисторе мощности от времени.

75. Через резистор R_1 протекает ток $I_1 = 2$ А. Сопротивление резистора $R_2 = 100$ Ом. Теплота, выделяющаяся на резисторе R_2 за одну секунду, равна $Q_2 = 10$ Дж.

Сопротивление резистора R_1 равно $\dots$

численное значение



76. Источник постоянного тока мощностью $N = 440$ Вт подключен к нагрузке сопротивлением $R = 100$ Ом. При этом ток в цепи равен $I = 2$ А. Внутреннее сопротивление источника тока равно $\dots$

численное значение

77. Спираль сопротивлением R подключили к источнику тока с внутренним сопротивлением r . При этом на спирали выделилось количество теплоты Q_1 . Когда к этому же источнику тока подключили спираль сопротивлением $2R$, за то же время выделилось количество теплоты Q_2 .

Отношение $\frac{Q_1}{Q_2} = \dots$

выразить через заданные величины

78. Мощность электронагревателя была равна P_1 . Спираль электронагревателя укоротили на 0,1 первоначальной длины и его мощность стала P_2 .

Отношение мощностей $\frac{P_2}{P_1} = \dots$

численное значение

79. Электрокипятильник, подключенный к сети с напряжением U , нагревает воду массой m . За время t вода нагревается от температуры T_1 до температуры T_2 . Удельная теплоемкость воды C .

Сопротивление спирали электрокипятильника $R = \dots$

выразить через заданные величины

80. К источнику тока с внутренним сопротивлением r подключена электрическая лампа мощностью $P_{\text{л}}$, рассчитанная на напряжение U .

При этом мощность источника тока $P = \dots$

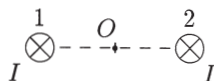
выразить через заданные величины

81. Стальной проводник длиной l и сечением S подсоединен к источнику тока с ЭДС, равной $\mathcal{E}$, и внутренним сопротивлением r . Удельное сопротивление стали ρ .

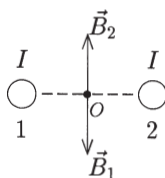
Мощность, выделяемая на проводнике $N = \dots$

выразить через заданные величины

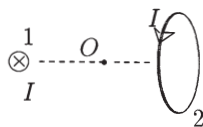
82. На рисунке показаны поперечные сечения бесконечных прямолинейных проводников с силой тока I . Изобразите векторы магнитной индукции полей $\vec{B}$, созданные этими токами, в точке O .



83. На рисунке изображены поперечные сечения двух бесконечных прямолинейных проводников с силой тока I , которые в точке O создают магнитные поля с индукцией $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$. Укажите направления токов в проводниках.



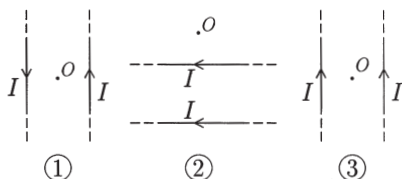
84. На рисунке изображены поперечное сечение бесконечного прямолинейного проводника 1 и круговой виток 2 с силой тока I в каждом проводнике. Изобразите векторы магнитной индукции полей, создаваемых проводниками в точке O .



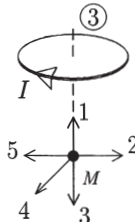
85. По соленоиду течет ток I . Ориентация магнитной стрелки относительно соленоида показана на рисунке. Укажите направление тока в соленоиде.



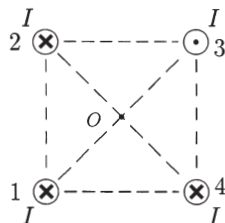
86. По двум бесконечным прямолинейным проводникам течет ток I . Результирующий вектор магнитной индукции в точке O имеет наибольшее значение в случае . . .
укажите номер



87. На рисунке изображен круговой виток с током I . Вектору индукции магнитного поля $\vec{B}$ в точке M соответствует направление . . .
укажите номер



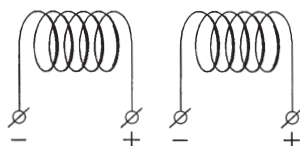
88. На рисунке изображены поперечные сечения четырех бесконечных прямолинейных проводников, расположенных в вершинах квадрата. По проводникам текут токи I . Изобразите в точке O векторы магнитной индукции $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3, \vec{B}_4$, созданные каждым током, и результирующий вектор $\vec{B}_{\text{рез}}$.



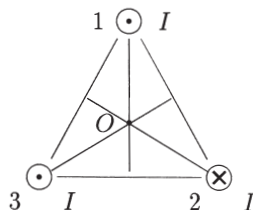
89. На рисунке изображены два соленоида. Каждый соленоид присоединен к источнику тока. Из приведенных ниже утверждений выберите правильное.

1. Соленоиды притягиваются.
2. Соленоиды отталкиваются.
3. Соленоиды не взаимодействуют.

Правильный ответ . . .
укажите номер



90. На рисунке изображены поперечные сечения трех бесконечных прямолинейных проводников, расположенных в вершинах равностороннего треугольника. По проводникам текут токи I . Изобразите в точке O векторы магнитной индукции $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3$, созданные каждым током, и результирующий вектор $\vec{B}_{\text{рез}}$.



91. На рисунке изображены поперечные сечения двух бесконечно длинных проводников с токами I_1 и I_2 ($I_1 = 2I_2$). Результирующая магнитная индукция $\vec{B}_{\text{рез}}$ максимальна в точке . . .

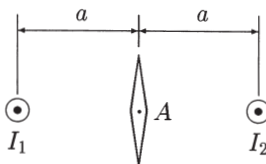


укажите номер точки

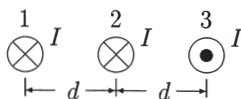
92. Укажите полюса магнитной стрелки, расположенной вблизи бесконечно длинного проводника с током. Влиянием магнитного поля Земли на стрелку пренебречь.



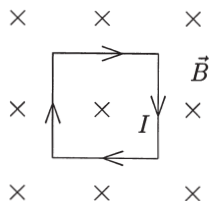
93. Укажите полюса магнитной стрелки, расположенной в точке A магнитного поля, созданного токами I_1 и I_2 , если $I_2 = 2I_1$. Влиянием магнитного поля Земли на стрелку пренебречь.



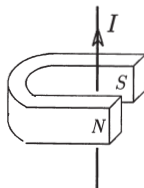
94. По трем параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии d друг от друга, текут токи одинаковой силы I . Укажите силы, действующие на третий проводник.



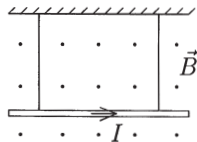
95. В однородное магнитное поле с индукцией $\vec{B}$ помещена квадратная рамка с током I . Вектор магнитной индукции $\vec{B}$ перпендикулярен плоскости рамки. Укажите силы Ампера, действующие на каждую сторону рамки.



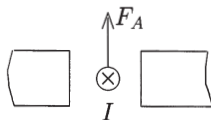
96. Прямолинейный проводник с током I расположен между полюсами постоянного магнита. Изобразите вектор силы, действующей на проводник.



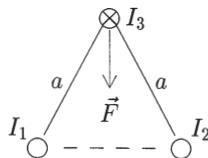
97. В горизонтальном однородном магнитном поле с индукцией $B = 1 \cdot 10^{-3}$ Тл на двух нитях подвешен горизонтальный отрезок проводника длиной $l = 0,2$ м. Если по проводнику пропустить ток $I = 10$ А, то сила натяжения каждой из нитей изменится на величину, равную (численное значение)



98. На рисунке изображено поперечное сечение отрезка прямолинейного проводника с током I , помещенного между полюсами постоянного магнита. На проводник действует сила ампера F_A . Укажите полюса постоянного магнита.

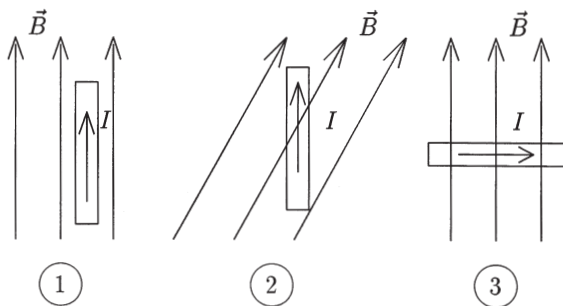


99. Два бесконечно длинных прямолинейных проводника с токами I_1 и I_2 действуют на третий проводник с током I_3 ($I_1 = I_2 = I_3$). Вектор результирующей силы $\vec{F}$ изображен на рисунке. Укажите на рисунке направления токов I_1 и I_2 .



100. В однородное магнитное поле помещены отрезки проводников одинаковой длины. Сравните силы Ампера (по модулю), действующие на отрезки проводников: $F_1 \dots F_2 \dots F_3$

больше, меньше, равно

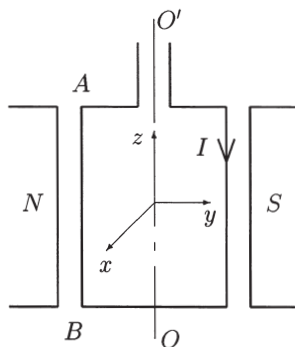


101. На горизонтальных рельсах, перпендикулярно им, лежит металлический стержень длиной l и массой m . Рельсы и стержень находятся в вертикальном магнитном поле индукцией B . При протекании тока стержень движется равномерно. Коэффициент трения о рельсы μ .

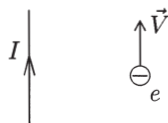
Сила тока, протекающего в цепи, $I = \dots$

выразить через заданные величины

102. Рамка измерительного прибора находится между полюсами магнита, как показано на рисунке. Она может поворачиваться вокруг оси OO' . Направление тока в рамке показано стрелкой. Укажите направление силы, действующей на сторону рамки AB , используя декартову систему координат.

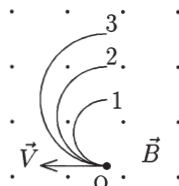


103. Электрон движется со скоростью $\vec{V}$ параллельно прямому проводнику, по которому течет ток силой I . Укажите вектор силы Лоренца, действующей на электрон.



104. На рисунке изображены траектории трех заряженных частиц, имеющих одинаковые заряды и влетевших в магнитное поле в точке O с одинаковыми скоростями. Наименьшей массой обладает частица . . .

укажите номер



105. Электрон влетает в однородное магнитное поле индукцией $B = 1 \cdot 10^{-3}$ Тл перпендикулярно линиям индукции со скоростью $4 \cdot 10^7$ м/с. Масса и заряд электрона: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Центробежное ускорение электрона равно . . .

численное значение

106. Электрон движется в однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции по окружности радиусом 0,1 м.

Индукция магнитного поля $2 \cdot 10^{-4}$ Тл; масса и заряд электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Скорость электрона равна . . .

численное значение

107. Заряженная частица движется в однородном магнитном поле с индукцией B по окружности радиуса R со скоростью V . Кинетическая энергия частицы равна W_k .

Заряд частицы $Q = \dots$

выразить через заданные величины

108. Заряженная частица движется в однородном магнитном поле по окружности. Как изменится радиус траектории движения частицы при уменьшении ее скорости в три раза и увеличении в три раза индукции магнитного поля?

1. Уменьшится в 3 раза.
2. Уменьшится в 9 раз.
3. Не изменится.
4. Увеличится в 3 раза.
5. Увеличится в 9 раз.

Правильный ответ . . .

укажите номер

109. Заряженная частица, прошедшая ускоряющую разность потенциалов, движется в однородном магнитном поле с индукцией B по окружности радиусом R . Скорость частицы V .

Ускоряющая разность потенциалов $U = \dots$

выразить через заданные величины.

110. Две частицы, имеющие одинаковый заряд, но разные массы, влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции и движутся по окружностям одинакового радиуса. Скорость первой частицы V_1 , скорость второй – V_2 .

Отношение масс частиц $\frac{m_1}{m_2} = \dots$

выразить через заданные величины.

111. Заряженная частица массой m движется в магнитном поле с индукцией B по окружности со скоростью V . Для увеличения радиуса окружности необходимо изменить m , V и B следующим образом:

m	V	B
увеличить	увеличить	увеличить
уменьшить	уменьшить	уменьшить

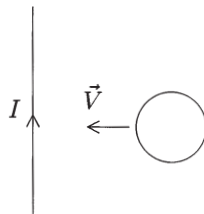
ненужное зачеркнуть

112. Двухвалентный ион движется со скоростью 480 км/с в однородном магнитном поле индукцией 0,1 Тл по окружности радиусом 10 см. Заряд электрона равен $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

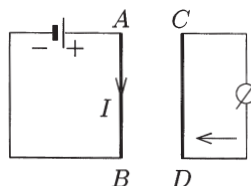
Масса иона равна = . . .

численное значение

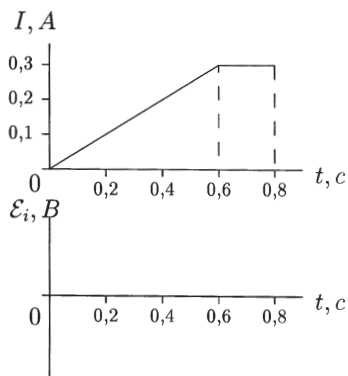
113. Определите направление индукционного тока в металлическом кольце, движущемся со скоростью $\vec{V}$ в направлении указанном на рисунке.



114. Определите направление индукционного тока в проводнике CD, при сближении с контуром AB



115. На графике представлена зависимость силы тока от времени в катушке индуктивностью $L = 0,02$ Гн. Рассчитайте ЭДС самоиндукции и постройте график зависимости ЭДС от времени.



116. Катушка содержит $N = 2000$ витков и за время $\Delta t = 0,1$ с в ней возникает ЭДС индукции 20 В.

Изменение магнитного потока через виток равно . . .

численное значение

117. Круговой контур находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости контура. Магнитный поток через контур изменяется с течением времени по закону $\Phi = At + C$, где $A = -5 \frac{\text{Вб}}{\text{с}}$, $C = 3 \text{ Вб}$

ЭДС индукции, возникающая в контуре, равна . . .
численное значение

118. Ток в проводящем витке индуктивностью L равномерно возрастал в течение времени Δt . ЭДС индукции, возникающая в витке, равна $-\mathcal{E}_i$. Начальное значение тока I_0 .

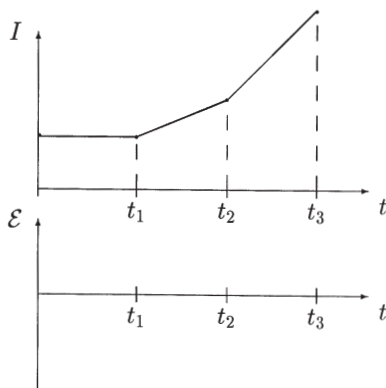
Конечное значение силы тока в витке $I_k = . . .$
выразить через заданные величины

119. Соленоид содержит $N = 1200$ витков провода, плотно прилегающих друг к другу. При силе тока $I = 4 \text{ А}$ магнитный поток через один виток $\Phi = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$.

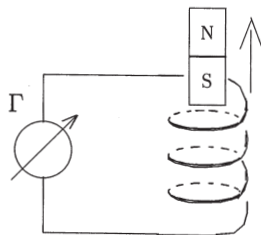
Индуктивность соленоида равна . . .
численное значение

120. В катушке индуктивностью $L = 0,2 \text{ Гн}$ протекает ток $I = 10 \text{ А}$. Энергия магнитного поля в катушке равна . . .
численное значение

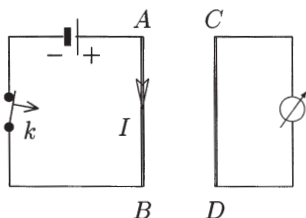
121. Используя график зависимости силы тока от времени в катушке индуктивности, изобразите график зависимости ЭДС самоиндукции от времени.



122. Определите направление индукционного тока, возникающего в катушке, при удалении из нее постоянного магнита.



123. Определите направление индукционного тока в проводнике CD при размыкании ключа k в цепи проводника AB .

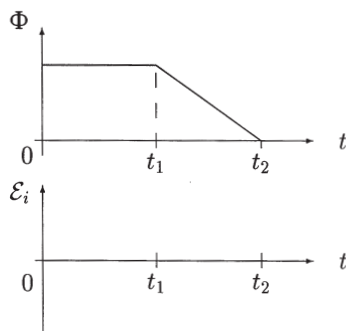


124. Магнитный поток, пронизывающий виток, изменяется на 20 мВб за 2 секунды. Сопротивление витка равно $2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$.

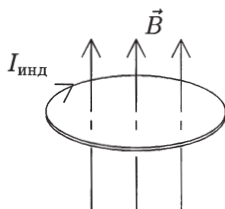
Индукционный ток, возникающий в витке, равен . . .

численное значение

125. Магнитный поток Φ , пронизывающий рамку, изменяется со временем по закону, показанному на рисунке. Постройте график зависимости ЭДС индукции, возникающей в рамке, от времени.



126. Проводящее кольцо помещено в однородное магнитное поле индукцией $\vec{B}$. В кольце возникает индукционный ток указанного направления. Из приведенных ниже выражений выберите ответ, соответствующий данному направлению тока . . .



укажите номер

- 1) $\frac{\Delta B}{\Delta t} > 0$; 2) $\frac{\Delta B}{\Delta t} < 0$; 3) $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 0$;

127. Ток, текущий в соленоиде изменяется по закону

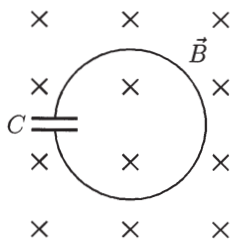
$$I(t) = (1 - 0,2t) \text{ (А)}.$$

При этом возникает ЭДС самоиндукции $\mathcal{E} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ В}$.

Индуктивность соленоида равна . . .

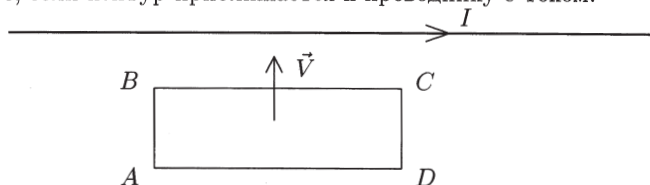
численное значение

128. В проводящий контур включен конденсатор емкостью C , как показано на рисунке. Контур площадью S помещен в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны к плоскости контура. При изменении индукции магнитного поля со скоростью $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ на обкладках конденсатора появляется заряд $q = \dots$

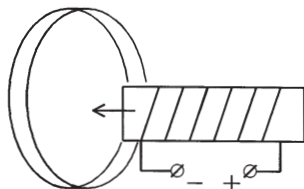


выразить через заданные величины.

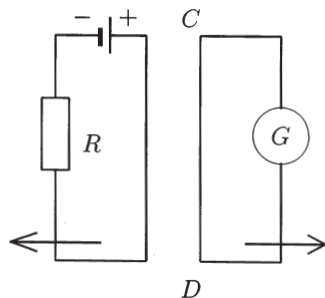
129. Контур $ABCD$ и бесконечно длинный проводник с током I находятся в одной плоскости. Определите направление тока, индуцированного в контуре, если контур приближается к проводнику с током.



130. Катушку с током вводят в металлическое кольцо, как показано на рисунке. Укажите направление индукционного тока в кольце.



131. Укажите направление индукционного тока в проводнике CD при удалении контуров друг от друга.



Колебания и волны

1 Колебания

Среди явлений природы мы часто наблюдаем процессы, при протекании которых имеют место периодические изменения какой-либо величины во времени. Такие процессы принято называть колебаниями.

В окружающем нас мире происходят самые разнообразные колебательные процессы. Все их можно классифицировать по определенным признакам. В рамках данного пособия мы основное внимание уделим рассмотрению гармонических колебаний. На это есть несколько причин:

1. Гармонические колебания являются наиболее простыми, и при описании их не требуется привлечение сложного математического аппарата, выходящего за рамки школьной программы по математике.

2. Более сложные колебательные процессы можно рассматривать как результат суперпозиции гармонических колебаний.

Рассматривая гармонические колебания как одни из видов движения, можно использовать два подхода при их изучении:

- кинематическое описание;
- динамическое описание.

1.1 Гармонические колебания (кинематическое описание)

Процесс изменения какой-либо величины во времени, происходящий по закону косинуса или синуса, называют гармоническим колебанием. Уравнение гармонического колебания имеет вид:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0),$$

или

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0).$$

В этих выражениях:

$x(t)$ – отклонение колеблющейся величины от ее равновесного значения в момент времени t ;

A – амплитуда колебаний (наибольшее отклонение величины от ее равновесного значения);

$(\omega t + \varphi_0)$ – фаза колебаний;

ω – циклическая частота;

φ_0 – начальная фаза (фаза в момент времени $t = 0$).

Кроме приведенных выше величин, при описании колебаний используются еще две величины:

T – период колебаний (время одного полного колебания);

ν – частота колебаний (число колебаний, совершающихся за 1 с).

Связь между указанными величинами устанавливают следующие соотношения:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad \nu = \frac{1}{T}, \quad \omega = 2\pi\nu.$$

В качестве примеров систем, в которых наблюдаются гармонические колебания, можно привести математический маятник, пружинный маятник, колебательный контур (рис. 1).

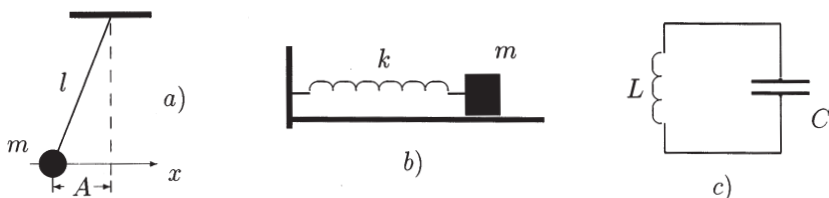


Рис. 1. Колебательные системы а) – математический маятник, б) – пружинный маятник, в) – колебательный контур

Для механических систем (математический и пружинный маятник) уравнение колебаний имеет вид:

$$x(t) = x_m \cos(\omega t + \varphi_0),$$

где $x(t)$ – смещение груза маятника от положения равновесия в момент времени t ; x_m – амплитуда колебаний (максимальное смещение груза от положения равновесия).

Для колебательного контура по закону косинуса или синуса с течением времени меняется заряд на обкладках конденсатора и уравнение колебаний имеет вид:

$$q(t) = q_m \cos(\omega t + \varphi_0),$$

где $q(t)$ – величина заряда на обкладках конденсатора в момент времени t ; q_m – максимальный заряд на обкладках конденсатора.

При кинематическом описании гармонических колебаний маятников скорость V и ускорение a определяются соотношениями:

$$V(t) = x'(t) = \frac{dx}{dt} = -x_m \omega \sin(\omega t + \varphi_0) = -V_m \sin(\omega t + \varphi_0); \quad (1)$$

$$a(t) = V'(t) = \frac{dV}{dt} = -x_m \omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0) = -a_m \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2):

$V_m = x_m \omega$ – амплитудное значение скорости;

$a_m = x_m \omega^2$ – амплитудное значение ускорения.

При описании процессов в колебательном контуре рассматривается зависимость силы тока I , в контуре от времени.

$$I(t) = q'(t) = \frac{dq}{dt} = -q_m \omega \sin(\omega t + \varphi_0) = -I_m \sin(\omega t + \varphi_0). \quad (3)$$

В выражении (3) $I_m = q_m \omega$ – амплитудное значение силы тока.

Графики зависимостей $x(t)$, $V(t)$, $a(t)$ для случая $\varphi_0 = 0$ приведены на рис. 2.

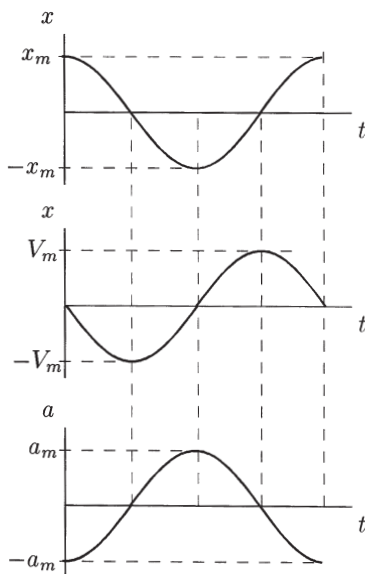


Рис. 2. Графики зависимостей $x(t)$, $V(t)$, $a(t)$

Методические указания к решению задач

Понимание сущности колебательных процессов, знание основных понятий и величин, соотношений между ними, умение извлекать и использовать необходимую информацию из графического представления гармонических колебаний – все это является основой для решения задач, связанных с кинематическим описанием гармонических колебаний. При анализе и решении задач на кинематику гармонических колебаний рекомендуем особое внимание обратить на следующее. Существует аналогия в описании колебаний в механических системах (математический, пружинный маятники) и в колебательном контуре. При произвольном, но фиксированном выборе начала

отсчета времени различные колебания одинаковой частоты имеют вообще говоря, различные начальные фазы: начальная фаза данного колебания зависит от выбора начала отсчета времени и это надо учитывать при записи и анализе уравнений колебаний (в одних случаях бывает удобнее использовать функцию косинус, а в других – синус). Скорость, ускорение маятников, сила тока в колебательном контуре меняются во времени также по гармоническому закону, при этом скорость отличается по фазе от смещения на $\frac{\pi}{2}$, а ускорение на π ; аналогично, сила тока в колебательном контуре отличается по фазе на $\frac{\pi}{2}$ относительно заряда. Скорости грузов математического, пружинного маятников принимают значение $V = 0$ в крайних положениях и значение $V = V_{max}$ – в положении равновесия; ускорение принимает значение $a = a_{max}$ в крайних положениях и значение $a = 0$ – в положении равновесия.

Примеры решения задач

1. Материальная точка совершает свободные незатухающие колебания с амплитудой 0,04 м. За 60 с совершается 120 колебаний. Начальная фаза равна 30° . Запишите уравнение гармонических колебаний точки, используя функцию $\cos$

$$x(t) = \dots$$

Решение.

Уравнение колебаний материальной точки в общем случае имеет вид:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Из условия задачи имеем: $A = 0,04$ м, $\varphi_0 = \frac{\pi}{6}$. Для того, чтобы записать уравнение колебаний, надо знать циклическую частоту ω . Найдем ω , используя соотношение

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{t/n} = \frac{2\pi n}{t}.$$

Подставим значения n и t , получим

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 120}{60} = 4\pi \text{ с}^{-1}.$$

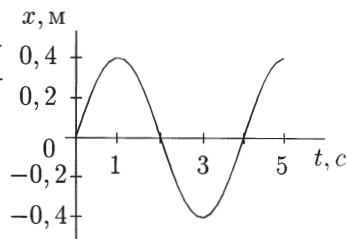
Ответ: Уравнение колебаний $x(t) = 0,04 \cos(4\pi t + \frac{\pi}{6})$ м.

2. На графике изображена зависимость смещения материальной точки от времени. Циклическая частота колебаний точки равна . . .

численное значение

Амплитуда колебаний равна . . .

численное значение



Решение.

Используя приведенный график зависимости смещения x материальной точки от времени t , находим период колебаний: $T = 4$ с. Период колебаний T связан с циклической частотой ω соотношением $T = \frac{2\pi}{\omega}$. В таком случае $\omega = \frac{2\pi}{T}$. После подстановке значения T находим

$$\omega = \frac{2\pi}{4} = \frac{\pi}{2} \text{ с}^{-1}.$$

Значение амплитуды колебаний находим, используя приведенный график $A = |x_{\max}| = 0,4$ м.

Ответ: циклическая частота колебаний точки равна $\frac{\pi}{2} \text{ с}^{-1}$;
амплитуда колебаний равна 0,4 м.

3. Тело совершает свободные незатухающие колебания по закону $x(t) = 0,1 \cos(2\pi t + \frac{\pi}{6})$ м.

Максимальная скорость колеблющегося тела равна . . .

численное значение

Решение.

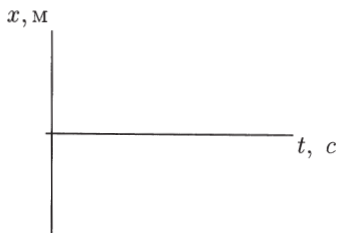
Скорость колеблющегося тела равна первой производной от смещения тела по времени, то есть $V(t) = \frac{dx(t)}{dt}$. Взяв первую производную от приведенной в условии зависимости $x(t)$ получим

$$V(t) = -0,1 \cdot 2\pi \sin\left(2\pi t + \frac{\pi}{6}\right) \text{ м/с}.$$

Из этого выражения находим максимальную скорость колеблющегося тела (амплитуду скорости) $V_m = A\omega = 0,1 \cdot 2\pi \text{ м/с}$.

Ответ: максимальная скорость колеблющегося тела равна $0,2\pi \text{ м/с}$.

4. Уравнение колебания материальной точки $x(t) = 0,02 \cos(2\pi t + \pi)$ м. Изобразите в масштабе график зависимости $x(t)$.



Решение.

В самом общем случае уравнение колебаний материальной точки имеет вид:

$$x(t) = x_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Сравнивая приведенное в условии задачи уравнение с данным уравнением, определяем:

$$x_{\max} = 0,02 \text{ м}, \quad \omega = 2\pi \frac{1}{c}, \quad \varphi_0 = \pi \text{ рад.}$$

Для построения графика необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1) определить период колебаний T :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{2\pi} = 1 \text{ с};$$

2) отметить на оси x значения $\pm 0,02$ м.

3) отметить, используя удобный масштаб на оси t , значения $t_1 = 0$, $t_2 = \frac{1}{4}T$, $t_3 = \frac{1}{2}T$, $t_4 = \frac{3}{4}T$, $t_5 = T$.

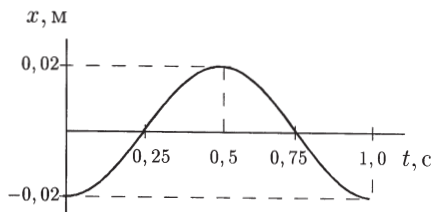
4) найти значения x , соответствующие указанным выше значениям t .

$$x(t_1) = -0,02 \text{ м}, \quad x(t_2) = 0 \text{ м},$$

$$x(t_3) = 0,02 \text{ м}, \quad x(t_4) = 0 \text{ м},$$

$$x(t_5) = -0,02 \text{ м};$$

5) изобразить зависимость $x(t)$ на рисунке.



5. ЭДС источника изменяется по закону $\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_{\max} \cdot \cos(\frac{\pi}{4}t)$ В. В момент времени $t_1 = 1$ с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 50\sqrt{2}$ В. ЭДС источника $\mathcal{E}_2$ в момент времени $t_2 = \frac{T}{6}$, где T – период колебаний, равна . . .

численное значение

Решение.

Используя приведенный в условии закон изменения $\mathcal{E}(t)$, выразим $\mathcal{E}_{max}$:

$$\mathcal{E}_{max} = \frac{\mathcal{E}(t)}{\cos(\pi/4 \cdot t)}.$$

Для момента времени $t = t_1$ имеем

$$\mathcal{E}_{max} = \frac{\mathcal{E}_1}{\cos(\pi/4 \cdot t_1)}.$$

Подставив значения t_1 и $\mathcal{E}_1$ находим

$$\mathcal{E}_{max} = \frac{50\sqrt{2}}{\sqrt{2}/2} = 100 \text{ В.}$$

Теперь можно записать закон изменения ЭДС источника

$$\mathcal{E}(t) = 100 \cos\left(\frac{\pi}{4}t\right) \text{ В.}$$

Период изменения ЭДС источника найдем из соотношения

$$T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

В нашем случае $\omega = \frac{\pi}{4} \text{ с}^{-1}$. Тогда $T = \frac{2\pi}{\pi/4} = 8 \text{ с}$. В момент времени $t_2 = \frac{T}{6}$ ЭДС источника имеет значение:

$$\mathcal{E}_2 = 100 \cos\left(\frac{\pi}{4}t_2\right) = 100 \cos \frac{\pi T}{4 \cdot 6}.$$

После подстановки значения $T = 8 \text{ с}$ находим

$$\mathcal{E}_2 = 100 \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) = 100 \frac{1}{2} = 50 \text{ В.}$$

Ответ: ЭДС источника в момент времени t_2 равна 50 В.

6. Используя приведенную в первом столбце зависимость тока в колебательном контуре от времени, заполните таблицу:

Сила тока (А)	Амплитудное значение тока (А)	Период колебаний (с)	Циклическая частота колебаний (с^{-1})	Начальная фаза
$I(t) = 0,25 \cos(250\pi t - \frac{\pi}{2})$				

Решение.

Зависимость силы тока I от времени t для колебательного контура в общем случае имеет вид:

$$I(t) = I_{max} \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Сравнивая это уравнение с тем, что приведено в первом столбце таблицы, находим:

- амплитудное значение силы тока $I_{max} = 0,25 \text{ A}$;
- циклическая частота колебаний $\omega = 250\pi \text{ c}^{-1}$;
- начальная фаза $\varphi_0 = -\frac{\pi}{2}$;

Период колебаний находим по формуле

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{250\pi} = \frac{1}{125} \text{ c}.$$

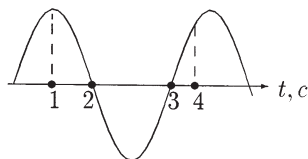
Все эти найденные значения вносим в соответствующие столбцы приведенной таблицы.

Сила тока (А)	Амплитудное значение тока (А)	Период колебаний (с)	Циклическая частота колебаний (с ⁻¹)	Начальная фаза
$I(t) = 0,25 \cos(250\pi t - \frac{\pi}{2})$	0,25	1/125	250π	$-\pi/2$

7. Колебание точки описывается уравнением $x(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$. Начальная фаза равна нулю.

Начальному моменту времени соответствует точка . . .

номер



Решение.

Как следует из условия задачи, начальная фаза колебаний $\varphi_0 = 0$. В таком случае колебания точки описываются уравнением

$$x(t) = A \sin(\omega t).$$

В момент времени $t = 0$ $x = 0$. На приведенном графике такому значению x соответствуют две точки (точки 2 и 3). В точке 2 происходит смена знака функции с "+" на "-", а в точке 3 с "-" на "+". Рассмотрим поведение функции $x(t) = A \sin(\omega t)$ при $t_1 = 0 + \Delta t$ и $t_2 = 0 - \Delta t$, где Δt – малое приращение времени. Получаем:

$$x(t_1) = A \sin(\omega t_1) > 0; \quad x(t_2) = A \sin(\omega t_2) < 0,$$

то есть вблизи момента времени $t = 0$ $x(t)$ меняет знак с "–" на "+". Значит, начальному моменту времени соответствует точка 3.

Ответ: точка номер 3.

1.2 Гармонические колебания (динамический подход)

При динамическом описании любого движения (в том числе и колебательного) выясняются причины движения, дается объяснение тому, почему движение происходит именно так, а не иначе. Применим данный подход к описанию колебательного движения груза, закрепленного на пружине (пружинный маятник, рис. 3). После того, как груз был выведен из положения равновесия на него действует сила упругости пружины, равная $F = -kx$, где k – коэффициент жесткости пружины.

Закон движения груза (2-ой закон Ньютона) имеет вид:

$$ma = -kx,$$

Иначе можно записать:

$$a + \frac{k}{m}x = 0.$$

Известно, что ускорение равно второй производной от смещения груза по времени, то есть

$$a = \frac{d^2x}{dt^2}.$$

Если использовать обозначения

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x} \quad \text{и} \quad \frac{k}{m} = \omega^2,$$

то уравнение движения груза будет иметь вид

$$\ddot{x} + \omega^2 x = 0.$$

Данное уравнение, связывающее переменную x и вторую производную от x по времени, называют дифференциальным уравнением 2-го порядка. Решение этого уравнения можно записать в виде

$$x(t) = x_m \cos(\omega t + \varphi_0).$$

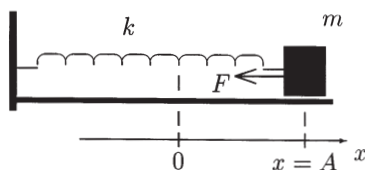


Рис. 3. Пружинный маятник

Следовательно, пружинный маятник совершает гармонические колебания. Для периода колебаний пружинного маятника получаем формулу

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Важно отметить, что такое движение маятника происходит под действием силы $F = -kx$ (под действием упругой силы).

Применяя динамический подход к описанию колебательного движения математического маятника, получаем следующие выражения для ω и T

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

где l – длина нити математического маятника, g – ускорение свободного падения. Рассмотрение процессов в колебательном контуре позволяет получить формулы для ω и T

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}, \quad T = 2\pi\sqrt{LC},$$

где L – индуктивность катушки колебательного контура, C – емкость конденсатора. Использование динамического подхода к описанию колебательного движения в различных системах позволяет сделать следующий вывод: система совершает гармонические колебания, если внутри нее имеется возвращающее воздействие, пропорциональное отклонению от положения равновесия. Системы, которые совершают гармонические колебания принято называть гармоническими осцилляторами.

1.3 Энергия гармонического осциллятора

Для гармонического осциллятора, колебания которого описываются законом

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0),$$

кинетическая энергия равна

$$W_k = \frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi_0).$$

Потенциальная энергия равна

$$W_n = \frac{1}{2}mx^2 = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0).$$

Учитывая, что $k = m\omega^2$, имеем

$$W_n = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0).$$

Полная энергия гармонического осциллятора в любой момент времени равна сумме кинетической и потенциальной энергий $W = W_k + W_n$. Получаем

$$W = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \left[\sin^2(\omega t + \varphi_0) + \cos^2(\omega t + \varphi_0) \right].$$

В тригонометрии доказывается, что выражение в квадратных скобках равно 1, поэтому полная энергия равна

$$W = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2.$$

Полная энергия гармонического осциллятора в процессе колебаний не меняется. Происходит лишь преобразование потенциальной энергии в кинетическую и наоборот при сохранении их суммарной величины. В колебательном контуре изменение заряда на обкладках конденсатора по гармоническому закону сопровождается преобразованиями энергии электрического поля заряженного конденсатора в энергию магнитного поля катушки индуктивности при протекании через нее тока и наоборот. И если в колебательном контуре нет потерь энергии, полный запас энергии остается постоянным. Полная энергия, запасенная в колебательном контуре в любой момент времени $W = W_э + W_m$, где $W_э$ – энергия электрического поля, W_m – энергия магнитного поля. В момент времени, когда $W_m = 0$

$$W = W_{э_{max}} = \frac{q_m^2}{2C}.$$

В момент времени, когда $W_э = 0$

$$W = W_{m_{max}} = \frac{LI_m^2}{2}.$$

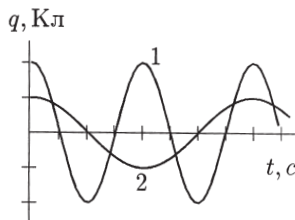
Методические указания к решению задач

При решении задач, в которых рассматривается динамика гармонических колебаний и превращение энергии из одной формы в другую, необходимо знать формулы для циклической частоты, периода колебаний маятников, колебательного контура. Не надо забывать, что кинетическая, потенциальная энергия в механических системах, энергия электрического и

магнитного поля в колебательном контуре меняется с частотой в два раза большей, чем частота изменения смещения или заряда, и при этом энергия всегда положительная величина. Полная энергия систем, совершающих гармонические колебания, остается постоянной.

Примеры решения задач

1. На рисунке представлены зависимости заряда воздушных конденсаторов двух колебательных контуров от времени. Индуктивности контуров и площади пластин конденсаторов одинаковы. Отношение расстояний между пластинами конденсаторов $\frac{d_1}{d_2} = \dots$
численное значение



Решение.

Из сравнения представленных на рисунке графиков зависимостей $q(t)$ видно, что период изменения заряда на пластинах конденсатора первого колебательного контура в 2 раза меньше периода колебаний заряда второго колебательного контура. Как известно, период колебаний в колебательном контуре зависит от значений его емкости C и индуктивности L и определяется по формуле Томсона

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Поскольку значения индуктивностей обоих колебательных контуров одинаковые, то различие периодов колебаний обусловлено различием значений емкостей контуров. Имеем $T_1 = T_2/2$. Это выполняется если

$$C_1 = \frac{C_2}{4}.$$

Емкость конденсатора определяется по формуле

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}.$$

По условию задачи $S_1 = S_2$, $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1$. В таком случае получаем

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 C_2 S}{C_1 \varepsilon\varepsilon_0 S} = 4.$$

Ответ: $\frac{d_1}{d_2} = 4$.

2. Заполнение воздушного зазора заряженного конденсатора колебательного контура диэлектриком с проницаемостью $\varepsilon = 4$ приводит к одному из перечисленных результатов:

1. Увеличение в 4 раза заряда на пластинах конденсатора.
2. Увеличение в 4 раза периода колебаний.
3. Увеличение в 2 раза амплитудного значения разности потенциалов на пластинах конденсатора.
4. Уменьшение в 2 раза частоты колебаний.

Правильный ответ . . .
укажите номер

Решение.

Заполнение воздушного зазора заряженного конденсатора колебательного контура диэлектриком с проницаемостью $\varepsilon = 4$ приводит к увеличению емкости конденсатора в 4 раза. Такое заключение можно сделать, если обратиться к формуле электроемкости плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}.$$

Изменение емкости конденсатора влечет за собой изменение частоты ν (периода T) колебаний в контуре. Действительно,

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Видим, что при увеличении C в 4 раза, ν — уменьшается в 2 раза, T — увеличивается в 2 раза. Получаем, что из приведенных ответов, правильный ответ приведен под номером 4.

Ответ: номер 4.

3. Колебания математического маятника описываются уравнением

$$x(t) = 0,2 \cdot \sin(0,5\pi t - \frac{1}{2}\pi) \text{ м.}$$

В течение первого периода колебаний скорость маятника имеет максимальное значение в моменты времени $t_1 = \dots$; $t_2 = \dots$

численные значения

Решение.

Используя уравнение, описывающее колебания математического маятника, найдем период его колебаний

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{0,5\pi} = 4 \text{ с.}$$

Скорость маятника принимает максимальное значение в те моменты времени, в которые маятник проходит положение равновесия, то есть в моменты времени, когда $x(t) = 0$. Найдем эти моменты времени, записав условие

$$0,2 \sin(0,5\pi t - \frac{\pi}{2}) = 0,$$

это условие выполняется, если

$$\sin(0,5\pi t - \frac{\pi}{2}) = 0, \text{ или } 0,5\pi t - \frac{\pi}{2} = \pi n, (n = 0, 1, 2 \dots).$$

Получаем

$$t = \frac{\pi n + 0,5\pi}{0,5\pi} = \frac{\pi(n + 0,5)}{0,5\pi} = 2(n + 0,5).$$

Подставляя значения n , находим $t_1 = 1$ с, $t_2 = 3$ с, $t_3 = 5$ с.

Ответ: В течении первого периода (в промежутке времени 0 – 4 с) скорость маятника имеет максимальное значение в моменты времени $t_1 = 1$ с и $t_2 = 3$ с.

4. Два математических маятника совершают колебания, описываемые уравнениями

$$x_1(t) = 0,02 \cos(2\pi t + \pi) \text{ м};$$

$$x_2(t) = 0,03 \sin(\pi t + \frac{\pi}{2}) \text{ м}.$$

Отношение длин этих маятников $\frac{l_1}{l_2} = \dots$

численное значение

Решение.

Используя уравнение колебаний маятников, найдем отношение их периодов колебаний

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\frac{2\pi}{\omega_1}}{\frac{2\pi}{\omega_2}} = \frac{\omega_2}{\omega_1}.$$

После подстановки $\omega_1 = 2\pi$ и $\omega_2 = \pi$ получаем

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\pi}{2\pi} = \frac{1}{2}.$$

Период колебаний математического маятника зависит от длины нити, на которой закреплен груз, и определяется по формуле

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Имеем

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}}, \quad T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l_2}{g}}.$$

Выразив из этих формул l_1 и l_2 и записав их отношение, получим

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{(T_1)^2}{(T_2)^2}.$$

После подстановки $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{2}$ находим $\frac{l_1}{l_2} = \frac{1}{4}$.

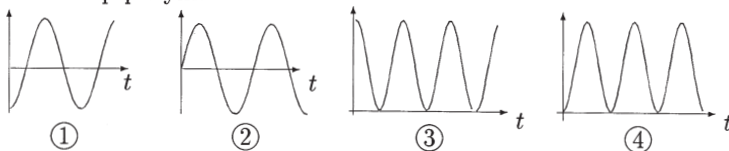
Ответ: отношение длин маятников $\frac{l_1}{l_2} = \frac{1}{4}$.

5. Колебания пружинного маятника описываются уравнением

$$x(t) = A \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

Зависимости изменения кинетической энергии маятника от времени соответствует график, изображенный на рисунке ...

укажите номер рисунка



Решение.

Используя уравнение колебаний пружинного маятника, приведенное в условии, получим закон изменения скорости маятника от времени

$$V(t) = \frac{dx(t)}{dt} = A\omega \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

Кинетическая энергия колебаний маятника меняется во времени по закону

$$W_k(t) = \frac{mV^2}{2} = \frac{mA^2\omega^2}{2} \cos^2\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

W_k не может принимать отрицательных значений. В таком случае зависимости $W_k(t)$ не могут соответствовать графики, изображенные на рис.1 и рис.2. Зависимости $W_k(t)$ не может соответствовать и график, изображенный на рис.3, так как на нем для момента времени $t = 0$ $W_k(t) \neq 0$. Таким образом, зависимости $W_k(t)$ соответствует график, изображенный на рис.4 (при $t = 0$ $W_k = 0$).

Ответ: номер 4.

6. Имеются два колебательных контура с одинаковыми параметрами. Отношение максимальных зарядов на обкладках конденсаторов контуров $\frac{q_1}{q_2} = 2$.

Отношение энергий, запасенных в контурах $\frac{W_1}{W_2}$, равно . . .

численное значение

Решение.

В процессе колебаний в колебательном контуре происходит превращение энергии электрического поля заряженного конденсатора в энергию магнитного поля катушки индуктивности. Энергию контура, равную максимальной энергии заряженного конденсатора, можно выразить через максимальный заряд на обкладках конденсатора и его емкость

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

В условии сказано, что колебательные контуры имеют одинаковые параметры. Это означает, что емкости конденсаторов обоих контуров одинаковые, то есть $C_1 = C_2$, $q_{m1} = q_1$, $q_{m2} = q_2$. В таком случае

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{(q_1)^2}{(q_2)^2} = 4.$$

Ответ: отношение энергий, запасенных в контурах $\frac{W_1}{W_2} = 4$.

7. Для пружинного маятника известны: масса груза m и коэффициент жесткости пружины k .

Колебания происходят с амплитудой A .

Груз проходит положение равновесия со скоростью $V = . . .$

выразить через заданные величины

Решение.

Груз проходит положение равновесия с максимальной скоростью, равной V . В этот момент времени кинетическая энергия маятника принимает наибольшее значение $W_k = W_m$, потенциальная энергия маятника $W_n = 0$. По закону сохранения энергии полная механическая энергия маятника в этот момент времени равна его максимальной кинетической энергии:

$$\frac{kA^2}{2} = \frac{mV^2}{2}.$$

Отсюда получаем

$$V = V_m = A\sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Ответ: груз проходит положение равновесия со скоростью $V = A\sqrt{\frac{k}{m}}$.

8. Груз массой m , колеблющийся на пружине, за время t переместился из крайнего положения в положение равновесия, пройдя путь, равный A .

Энергия колебаний маятника $W = \dots$

выразить через заданные величины

Решение.

Из условия задачи следует, что амплитуда колебаний равна пройденному пути A . Полная механическая энергия колебаний пружинного маятника равна максимальной потенциальной энергии

$$W = \frac{kA^2}{2} = \frac{m\omega^2 A^2}{2}$$

(использовано выражение для циклической частоты $\omega = \sqrt{k/m}$). Следовательно, для решения задачи необходимо найти частоту ω . Циклическая частота ω связана с периодом колебаний T

$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Период колебаний можно найти из условия, что время перемещения t груза из крайнего положения в положение равновесия составляет $1/4$ части периода колебаний T , то есть $t = \frac{1}{4}T$, или $T = 4t$. Получаем $\omega = \frac{2\pi}{4t} = \frac{\pi}{2t}$. Подставляя все необходимые величины в выражение для полной энергии маятника, находим $W = \frac{m(\pi)^2 A^2}{8t^2}$.

Ответ: энергия колебаний маятника

$$W = \frac{m(\pi)^2 A^2}{8t^2}.$$

1.4 Переменный ток

В разделе "Электричество и магнетизм" было введено понятие электрического тока и определены основные величины, которые обычно используют при рассмотрении тока. Если сила тока I , направление, в котором протекает ток, меняются во времени, то ток называют переменным.

Переменный ток можно получить, если проводящую рамку вращать в поле постоянного магнита. При равномерном вращении рамки с циклической частотой ω , ЭДС индукции, а значит, и напряжение, и ток, возникающий при замыкании цепи, будут изменяться по гармоническому закону. Мгновенное значение силы тока I определяется выражением:

$$I = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

или

$$I = I_m \cos(\omega t + \varphi),$$

где I_m – амплитудное (максимальное) значение силы тока; $(\omega t + \varphi)$ – фаза колебаний тока, которая зависит от того, какие из элементов (резистор, конденсатор или катушка индуктивности) составляют замкнутую электрическую цепь.

Если напряжение, приложенное к концам участка цепи (рис. 4)

$$U(t) = U_m \cos(\omega t),$$

то через резистор сопротивлением R протекает ток

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{R} \cos(\omega t) = I_m \cos(\omega t),$$

$I_m = \frac{U_m}{R}$ – амплитудное значение силы тока. Напряжение на резисторе $U_R = R \cdot I_m \cos(\omega t)$ совпадает по фазе с током I , текущим через резистор.

Если напряжение, приложенное к концам участка цепи (рис.5)

$$U(t) = U_m \cos(\omega t),$$

то через катушку индуктивностью L течет ток

$$I = I_m \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right),$$

$I_m = \frac{U_m}{\omega L}$ – амплитудное значение силы тока, $\omega L = X_L$ – индуктивное сопротивление катушки переменному току.

При этом напряжение на катушке

$$U_L = \omega L I_m \cos(\omega t) = U_m \cos(\omega t)$$

опережает по фазе ток I , текущий через катушку, на $\frac{\pi}{2}$.

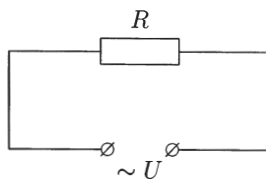


Рис. 4. Резистор в цепи переменного тока

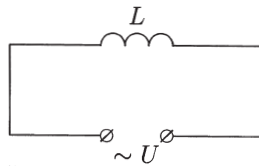


Рис. 5. Катушка в цепи переменного тока

Если напряжение, приложенное к концам участка цепи (рис.6)

$$U(t) = U_m \cos(\omega t),$$

то сила тока в цепи, содержащей конденсатор емкостью C , равна

$$I = I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right),$$

где $I_m = \omega C U_m = \frac{U_m}{1/(\omega C)}$ – амплитудное значение силы тока,

$\frac{1}{\omega C} = X_C$ – емкостное сопротивление конденсатора переменному току.

При этом напряжение на конденсаторе

$$U_C = \frac{1}{\omega C} I_m \cos(\omega t) = U_m \cos(\omega t)$$

отстает по фазе от силы тока, I протекающего через конденсатор, на $\frac{\pi}{2}$.

Переменный ток, наряду с мгновенным и амплитудным значениями силы тока и напряжения, принято описывать действующими (эффективными) значениями силы тока I_d и напряжения U_d . Действующее значение силы переменного тока равно значению силы постоянного тока, при котором в той же цепи выделяется та же мощность. Аналогично вводится понятие действующего значения переменного напряжения. При этом

$$I_d = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \text{и} \quad U_d = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

Методические указания к решению задач

Для решения задач, связанных с анализом цепей переменного тока, необходимо понимать смысл таких величин, как мгновенное, амплитудное, эффективное значения силы тока и напряжения, помнить соотношения, связывающие их между собой. Необходимо знать формулы для определения индуктивного и емкостного сопротивлений участков цепи переменному току. Основой для успешного решения задач являются представления о переменном токе как об одном из видов электрических колебаний со всеми характерными для них особенностями.

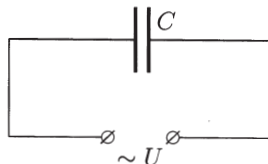


Рис. 6. Конденсатор в цепи переменного тока

Примеры решения задач

1. В цепь переменного тока с действующим значением напряжения 220 В включен резистор сопротивлением 22 Ом.

Амплитудное значение силы тока в цепи равно . . .
численное значение

Решение.

Воспользуемся законом Ома для участка цепи и найдем действующее значение силы тока в цепи

$$I_d = \frac{U_d}{R}. \quad (1)$$

Амплитудное значение силы тока связано с действующим значением соотношением

$$I_m = \sqrt{2} I_d. \quad (2)$$

После подстановки (1) в (2) получаем $I_m = \sqrt{2} \frac{U_d}{R}$. Подставив значения величин, находим $I_m = \sqrt{2} \frac{220}{22} = 10\sqrt{2}$ А.

Ответ: амплитудное значение силы тока в цепи равно $10\sqrt{2}$ А.

2. Конденсатор емкостью $2 \cdot 10^{-6}$ Ф, включенный в цепь переменного тока, имеет сопротивление 8 Ом.

Период колебаний переменного тока равен . . .
численное значение

Решение.

Сопротивление конденсатора переменному току зависит от емкости конденсатора и циклической частоты переменного тока и выражается формулой

$$X_C = \frac{1}{\omega C}. \quad (1)$$

Циклическая частота ω и период колебаний тока связаны соотношением

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (2)$$

С учетом (2) емкостное сопротивление $X_C = \frac{T}{2\pi C}$. Отсюда период колебаний тока $T = 2\pi C X_C$. Подставив значение величин, входящих в эту формулу, находим $T = 2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 8 = 10^{-4}$ с.

Ответ: период колебаний переменного тока равен 10^{-4} с.

3. На рисунках приведены графики зависимости некоторых величин от частоты колебаний переменного тока.

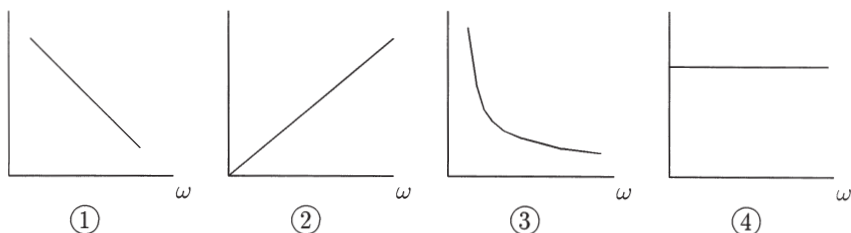


График зависимости сопротивления конденсатора (емкостного сопротивления) переменному току от циклической частоты тока приведен на рисунке . . .

номер

Решение.

Сопротивление конденсатора (емкостное сопротивление) переменному току определяется по формуле

$$X_C = \frac{1}{\omega C}.$$

Из этой формулы видно, что X_C обратно пропорционально циклической частоте ω переменного тока, т.е. $X_C \sim \frac{1}{\omega}$ и графически представляется гиперболой. Значит, правильный ответ – на рисунке 3.

Ответ: График зависимости сопротивления конденсатора переменному току от циклической частоты тока приведен на рисунке 3.

2 Волны

2.1 Основные понятия

Колебания, возникшие в некоторых точках пространства, передаются в другие точки и в них тоже могут происходить колебания. Процесс передачи колебаний от одной точки к другой характерен как для упругих сред, так и для электромагнитного поля.

Распространяющиеся в пространстве периодические возмущения состояния вещества или поля называют волной. Колебания точек вещества порождают упругую волну, а колебания электромагнитного поля – электромагнитную волну. Различают волны продольные и волны поперечные. Если колебания происходят вдоль направления распространения волны, то волна называется продольной. Если же колебания происходят перпендикулярно направлению распространения волны, то волна называется поперечной. При рассмотрении волновых процессов пользуются такими понятиями, как фронт волны, волновая поверхность, длина волны, фаза волны.

Фронт волны – геометрическое место точек пространства, до которых распространилось колебание в данный момент времени. Иначе можно сказать, что фронт волны представляет собой поверхность, которая отделяет область пространства, вовлеченную в волновой процесс от области пространства, не вовлеченной в волновой процесс.

Волновая поверхность – геометрическое место точек пространства, совершающих колебания в одной фазе.

Если волновые поверхности представляют собой плоскости, перпендикулярные направлению распространения волны, то такие волны называются плоскими. Если волновые поверхности представляют собой сферы, в центре которых размещен источник волн, то такие волны называются сферическими.

Распространение колебаний в пространстве – процесс периодический во времени и в пространстве. Периодичность во времени следует из того, что в каждой точке пространства совершаются колебания. Периодичность в пространстве следует из того, что при распространении волны в различных точках, расположенных вдоль направления распространения волны, колебания происходят одинаково, но с некоторым, определенным запаздыванием по фазе. На рис. 7 представлена зависимость смещения y от координат точек пространства для двух последовательных моментов времени t и Δt .

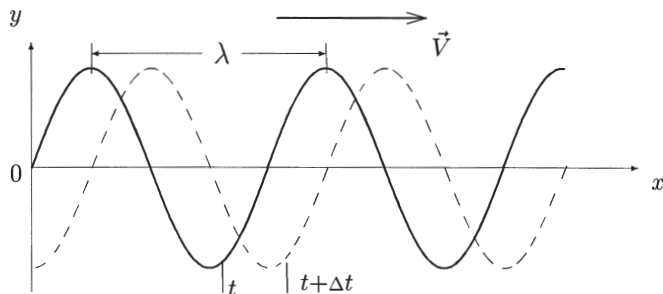


Рис. 7. График волны, распространяющейся вправо со скоростью V

Волновой процесс характеризуется *длиной волны*. Длина волны равна расстоянию, на которое распространяется волна за время, равное периоду колебаний.

$$\lambda = V \cdot T \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{V}{\nu},$$

где T – период колебаний, ν – частота колебаний, V – скорость распространения волны.

Можно дать и другое определение длине волны: длиной волны называется расстояние между двумя ближайшими точками, колебания в которых совершаются с разностью фаз 2π (или в одной фазе). Длина волны – это, по существу, пространственный период, аналогичный временному периоду T .

Как уже отмечалось ранее, в разных точках пространства при распространении волны колебания происходят с различными фазами. Вводят понятие *фазы волны*. Из рассмотрения процесса образования волн следует, что фаза волны при постоянной и конечной скорости распространения волн зависит от фазы колебаний источника волн и расстояния от источника до рассматриваемой точки (от координаты точки).

Разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний для двух точек пространства пропорциональна расстоянию Δx между ними. Так как расстоянию λ соответствует разность фаз 2π , то

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda}.$$

2.2 Уравнение плоской волны

Рассмотрим одномерную синусоидальную волну, распространяющуюся в положительном направлении оси ox (рис. 7). Это может быть, например,

поперечная волна в натянутой струне или шнуре. Источник колебаний находится в точке O , а колебания описываются уравнением

$$y = A \cos(\omega t).$$

Колебания до точки, отстоящей от источника на расстоянии x дойдут с запаздыванием во времени и будут описываться уравнением

$$y = A \cos \omega(t - \Delta t). \quad (4)$$

Если колебания распространяются со скоростью V , то

$$\Delta t = \frac{x}{V}.$$

После подстановки Δt в (1), получим уравнение плоской волны, распространяющейся в положительном направлении оси x :

$$y = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{V} \right). \quad (5)$$

Для волн в упругой среде уравнение (2) определяет смещение частиц среды от равновесного положения как функцию координаты x частицы и времени t . Величину A в данном уравнении принято называть амплитудой волны, а $\omega(t - x/V)$ – фазой волны.

Методические указания к решению задач

Задачи, в которых рассматриваются волновые процессы, не так разнообразны, как задачи на колебания. Для их решения необходимо владеть основными понятиями, такими как фронт волны, фаза волны, длина волны. Необходимо знать формулы, связывающие между собой длину волны, скорость распространения волны, период и частоту колебаний источника волн. Необходимо также знать уравнение плоской волны, понимать смысл всех входящих в него величин.

Часто у абитуриентов вызывают затруднения задачи, в которых требуется по известному направлению движения частиц среды в данный момент времени, определить направление распространения поперечной волны, или обратные им задачи. При решении таких задач рекомендуется изображать графически волны для двух близких моментов времени. Сравнение взаимного расположения графиков позволяет дать ответ на поставленный в условии задачи вопрос.

Примеры решения задач

1. Волна распространяется в однородной среде. Какое из перечисленных действий приведет к уменьшению длины волны?

1. Увеличение амплитуды колебаний источника.
2. Увеличение периода колебаний источника.
3. Увеличение частоты колебаний источника.

Укажите номер правильного ответа . . .

номер

Решение.

Длина волны λ , скорость ее распространения V , период колебаний источника волн T (частота колебаний ν) связаны соотношением

$$\lambda = V \cdot T \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{V}{\nu},$$

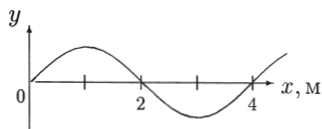
Поскольку среда однородная, скорость распространения волны V не меняется. Значит, уменьшение длины волны возможно либо за счет уменьшения периода T , либо за счет увеличения частоты колебаний источника. Из предложенных в условии задачи ответов подходит ответ номер 3.

Ответ: номер 3.

2. На рисунке изображен график поперечной волны. Скорость волны равна 1600 м/с.

Частота колебаний источника волн равна ...

численное значение



Решение.

Используя график для поперечной волны, изображенный на рисунке, находим, что длина волны $\lambda = 4$ м. Длина волны λ , скорость ее распространения V и частота колебаний связаны соотношениями

$$\lambda = \frac{V}{\nu}.$$

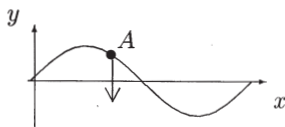
Из этой формулы получаем

$$\nu = \frac{V}{\lambda}.$$

Подставляя значения величин, находим $\nu = \frac{1600}{4} = 400$ Гц.

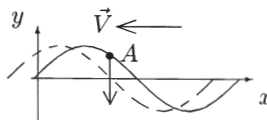
Ответ: частота колебаний источника волн равна 400 Гц.

3. На рисунке представлен график поперечной волны. Точка А среды движется в данный момент времени вниз. Покажите на рисунке направление распространения волны.



Решение.

Учитывая направление движения точки А среды в данный момент времени, изобразим график поперечной волны для более позднего момента времени. Принимая во внимание, что все точки среды при распространении бегущей волны совершают колебания с одной и той же



амплитудой и некоторым запаздыванием по фазе, делаем вывод, что данная волна распространяется влево (указано стрелкой).

Ответ: волна распространяется влево.

4. Волна с частотой $\nu = 100$ Гц и длиной $\lambda = 1$ м распространяется в некоторой среде. Время, за которое фронт волны переместится на расстояние $S = 100$ м, равно . . .

численное значение

Решение.

Длина волны λ , скорость ее распространения в среде V , частота колебаний источника волны ν связаны соотношением

$$\lambda = \frac{V}{\nu}.$$

Используя это соотношение находим $V = \lambda \cdot \nu$. Предполагается, что среда, в которой распространяется волна, однородная. В таком случае скорость волны в среде не меняется. Тогда время, за которое фронт волны переместится на расстояние S равно: $t = \frac{S}{V}$ или, подставляя $V = \lambda \cdot \nu$, получаем $t = \frac{S}{\lambda \cdot \nu}$. Подставив в полученное выражение значение всех величин, находим $t = \frac{100}{100 \cdot 1} = 1$ с.

Ответ: время, за которое фронт волны переместится на расстояние S равно 1 с.

5. Поперечная волна с частотой 200 Гц распространяется в среде со скоростью 400 м/с вдоль направления x . Разность фаз колебаний точек среды, расстояние между которыми $\Delta x = 1$ м, равна . . .

численное значение

Решение.

Разность фаз колебаний точек среды, расстояние между которыми Δx определяется по формуле $\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda}$, где λ – длина волны, распространяющейся в среде. Для нахождения длины волны воспользуемся соотношением между длиной волны λ , скоростью распространения волны V и частотой колебаний источника ν

$$\lambda = \frac{V}{\nu}.$$

Если подставить это выражение в формулу для $\Delta\varphi$, то получим

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi \cdot \nu}{V} \cdot \Delta x.$$

После подстановки значений все величины найдем

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi \cdot 200 \cdot 1}{400} = \pi \text{ рад.}$$

Ответ: разность фаз колебаний точек среды, расстояние между которыми 1 м равна π рад.

6. Колебания источника волн описываются уравнением

$$y = 0,08 \cos(\pi t) \text{ (м)}.$$

Скорость распространения колебаний 3 м/с. Смещение точки A среды, находящейся на расстоянии 0,75 м от источника в момент времени 0,5 с, равно . . .

численное значение

Решение.

Смещение точки A среды можно найти, если воспользоваться уравнением волны

$$y = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{V} \right).$$

После подстановки всех величин получим

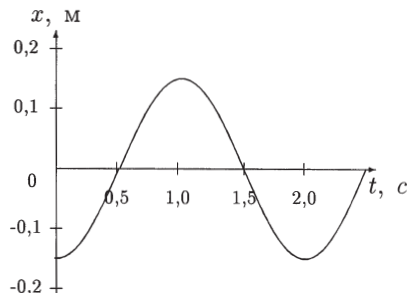
$$y = 0,08 \cos \left(\pi \left(0,5 - \frac{0,75}{3} \right) \right) = 0,08 \cos \frac{\pi}{4} = 0,04\sqrt{2} \text{ м.}$$

Ответ: смещение точки A равно $0,04\sqrt{2}$ м.

Задачи для самостоятельного решения

1. На графике представлена зависимость смещения x колеблющейся точки от времени. Запишите уравнение, используя функцию косинуса

$$x(t) = \dots$$



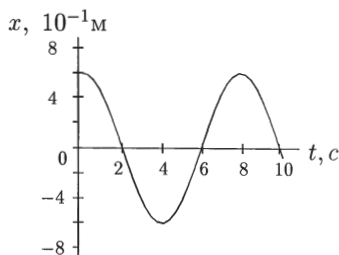
2. Тело, подвешенное на пружине, совершает гармонические колебания по закону $x = 0,04 \cos 2,5\pi t$ м. Время, за которое тело проходит путь от положения равновесия до максимального смещения, равно . . .

численное значение

3. На графике изображена зависимость смещения колеблющейся материальной точки от времени. Смещение точки в момент времени $t = 0,5T$ равно . . .

численное значение

Уравнение гармонических колебаний точки $x(t) = \dots$

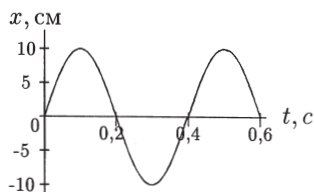


4. Ток в цепи изменяется по закону $I(t) = I_{\max} \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{3})$. Через четверть периода от начала колебаний значение тока I_1 равно 0,25 А. Мгновенное значение тока I_2 в момент времени $t_2 = \frac{T}{6}$ равно . . .

численное значение

5. На рисунке изображена зависимость смещения груза, подвешенного на пружине, от времени. Напишите уравнение гармонических колебаний этого груза.

$$x(t) = \dots$$



6. Материальная точка совершает гармонические колебания с амплитудой $A = 4$ см и частотой $\nu = 6$ Гц. В начальный момент времени смещение точки от положения равновесия равно 2,8 см. Запишите уравнение гармонических колебаний, используя функцию синуса

$$x(t) = \dots$$

7. Приведены уравнения четырех гармонических колебаний $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, $x_4(t)$.

1. $x_1(t) = 0,1 \cos(\pi t - \frac{\pi}{2})$;

2. $x_2(t) = 0,1 \sin(0,5\pi t + \frac{\pi}{2})$;

3. $x_3(t) = 0,1 \cos(\frac{3}{2}\pi t + \frac{\pi}{2})$;

4. $x_4(t) = -0,1 \cos(\pi t)$.

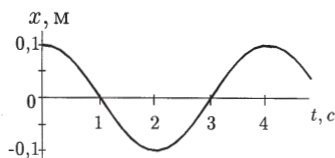


График колебаний, представленный на рисунке, соответствует уравнению . . .

укажите номер

8. Шарик подвешен на пружине и совершает свободные незатухающие колебания по закону $x(t) = 0,1 \cos(0,5\pi t + \frac{\pi}{3})$ (м).

Максимальная скорость шарика равна . . .

численное значение

9. Скорость тела, совершающего гармонические колебания, изменяется по закону $V(t) = 0,2\pi \cdot \cos(2\pi t)$ м/с. Запишите уравнение гармонических колебаний . . .

10. Заполните таблицу:

Уравнение колебаний, м	Скорость маятника, м/с	Ускорение маятника, м/с ²
$x(t) = 0,2 \sin(200t - \frac{\pi}{6})$	$V(t) = \dots$	$a(t) = \dots$

11. Маятник совершает 60 колебаний за 40 с. В начальный момент времени груз отклонили от положения равновесия на 0,2 м и отпустили. Зависимость скорости маятника от времени описывается уравнением

$$V(t) = \dots$$

12. Какое из перечисленных ниже действий позволит уменьшить период колебаний математического маятника?

1. Увеличение массы груза.

2. Уменьшение длины подвеса.

3. Уменьшение амплитуды колебания.

правильный ответ . . .

4. Увеличение длины подвеса.

укажите номер

13. Период колебаний математического маятника на Луне равен 15 с. Ускорение свободного падения на Луне равно $1,7 \text{ м/с}^2$

Период колебаний того же маятника на Земле равен . . .

численное значение

14. Два пружинных маятника совершают колебания, описываемые уравнениями

$$x_1(t) = 0,15 \sin(2\pi t) \text{ (м);}$$

$$x_2(t) = 0,20 \cos(\pi t + \pi) \text{ (м).}$$

Коэффициент жесткости первой пружины в два раза больше коэффициента жесткости второй пружины.

Отношение масс грузов маятников $\frac{m_1}{m_2} = . . .$

численное значение

15. Подвешенный на пружине груз совершает гармонические колебания в вертикальном направлении. Время перемещения груза из верхнего крайнего положения в нижнее крайнее положение равно t . В момент достижения грузом максимальной скорости сила упругости пружины равна $F_{\text{упр}}$.

Коэффициент упругости пружины $k = . . .$

выразить через заданные величины

16. Пружинный маятник совершает колебания по закону

$$x(t) = 0,1 \sin\left(10t + \frac{\pi}{3}\right) \text{ м.}$$

Масса груза маятника равна 1 кг. Максимальное значение силы упругости, возникающей в процессе колебаний, равно . . .

численное значение

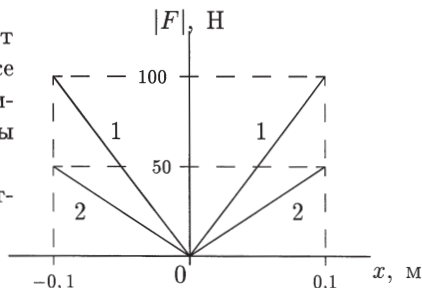
17. Длина свободно висящей пружины равна l_0 . При закреплении на ее конце груза массой m длина пружины стала равной l . Коэффициент жесткости пружины $k = . . .$

выразить через заданные величины

18. Зависимость силы упругости от деформации, возникающей в процессе колебания двух пружинных маятников, представлена на рисунке. Массы маятников равны.

Отношение частот колебания маятников $\frac{\omega_1}{\omega_2}$ равно . . .

численное значение



19. Как изменится период колебаний в колебательном контуре, если емкость конденсатора увеличить в четыре раза?

1. Увеличится в 4 раза. 2. Увеличится в 2 раза.

3. Не изменится. 4. Уменьшится в 2 раза.

5. Уменьшится в 4 раза.

Правильный ответ . . .

укажите номер

20. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 0,1 \cdot 10^{-3}$ Гн и конденсатора емкостью $C = 9 \cdot 10^{-6}$ Ф. Максимальный ток в контуре $I_m = 0,3$ А.

Максимальный заряд конденсатора $q_m = \dots$

численное значение

21. Максимальные значения тока в катушке и напряжения на конденсаторе колебательного контура соответственно равны I_m и U_m .

Емкость конденсатора равна C .

Индуктивность катушки контура $L = \dots$

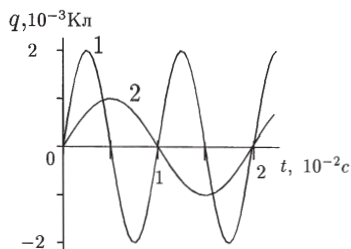
выразить через заданные величины

22. На графике представлена зависимость заряда конденсаторов от времени для двух электрических колебательных контуров.

Отношение индуктивностей контуров $\frac{L_1}{L_2} = 8$.

Отношение емкостей контуров $\frac{C_2}{C_1} = \dots$

численное значение



23. Какое из перечисленных ниже действий приведет к увеличению периода колебаний в электрическом контуре?

1. Увеличение заряда конденсатора.

2. Уменьшение индуктивности катушки.

3. Увеличение емкости конденсатора.

Правильный ответ . . .

укажите номер

24. Заряд конденсатора колебательного контура изменяется по закону

$$q_1(t) = q_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0).$$

Максимальное значение заряда конденсатора, его емкость и индуктивность катушки в контуре увеличили вдвое.

Запишите закон изменения заряда $q_2(t) = \dots$

выразить через заданные величины

25. Зависимость напряжения на обкладках конденсатора в колебательном контуре от времени описывается уравнением

$$U(t) = U_0 \cdot \sin(\omega t).$$

Индуктивность контура равна L .

Зависимость тока в контуре от времени $I(t) = \dots$

26. Ток в колебательном контуре изменяется по закону

$$I(t) = 10 \sin(\omega t) \text{ А.}$$

Заряд конденсатора в момент времени $t = 0$ равен $1,59 \cdot 10^{-5}$ Кл. В момент времени $t = 0,25 \cdot 10^{-5}$ с заряд конденсатора равен $\dots$

численное значение

27. Полные механические энергии колебания двух пружинных маятников одинаковы. Коэффициенты жесткости пружин маятников k_1 и k_2

($k_1 = 16k_2$). Отношение максимальных деформаций $\frac{\Delta x_1}{\Delta x_2}$, возникающих в пружинах маятниках, равно $\dots$

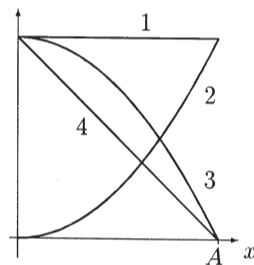
численное значение

28. На горизонтально расположенную пружину жесткостью k налетает груз, имеющий кинетическую энергию W_k . Груз захватывается пружиной. Амплитуда возникших колебаний пружинного маятника $A = \dots$

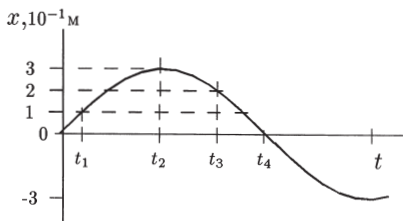
выразить через заданные величины

29. Зависимости потенциальной энергии пружинного маятника от смещения груза соответствует изображенный на рисунке график $\dots$

(A - амплитуда колебаний). укажите номер

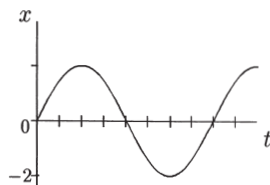


30. На рисунке представлен график зависимости смещения пружинного маятника от времени. Коэффициент жесткости пружины $k = 100 \text{ Н/м}$. Изменение кинетической энергии маятника в интервале времени от t_1 до t_2 равно . . .



численное значение

31. График зависимости смещения пружинного маятника от времени $x_1(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$ представлен на рисунке. Изобразите на том же рисунке $x_2(t)$ при увеличении энергии колебаний в четыре раза. Жесткость пружины и начальная фаза колебаний остались без изменения.



32. Пружинный маятник совершает гармонические колебания. Максимальное значение кинетической энергии равно 20 Дж, максимальное значение потенциальной энергии – 20 Дж.

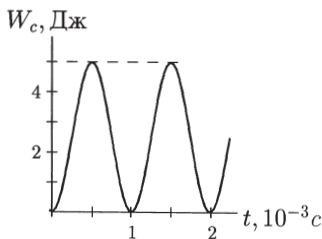
Полная механическая энергия пружинного маятника равна . . .

численное значение

33. После заполнения воздушного зазора конденсатора колебательного контура диэлектриком период колебаний увеличился в два раза. Отношение энергий конденсатора до заполнения и после заполнения диэлектриком $\frac{W_1}{W_2}$ равно . . .

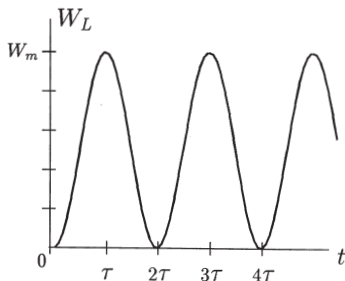
численное значение

34. На рисунке приведена зависимость энергии электрического поля конденсатора колебательного контура от времени. Емкость конденсатора $C = 1 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$. Запишите зависимость заряда конденсатора от времени



$q(t) = \dots$

35. На графике представлена зависимость энергии магнитного поля катушки электрического контура от времени. Индуктивность катушки равна L . Емкость конденсатора $C = \dots$ выразить через заданные величины



36. Электрический контур состоит из катушки индуктивностью $L = 1$ Гн и конденсатора емкостью $C = 100$ мкФ. Активное сопротивление контура мало. Резонансная частота электромагнитных колебаний контура равна . . .

численное значение

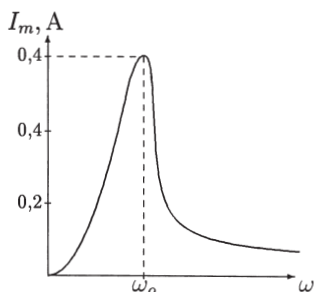
37. Произведение емкостного сопротивления X_C на индуктивное сопротивление X_L в цепи переменного тока равно единице. Емкость конденсатора $C = 5 \cdot 10^{-5}$ Ф.

Величина индуктивности катушки равна . . .

численное значение

38. Зависимость амплитуды силы тока в цепи переменного тока от частоты представлена на рисунке. Активное сопротивление цепи равно 2 Ом. Действующее значение напряжения в цепи равно . . .

численное значение



39. Зависимость изменения тока в цепи описывается уравнением

$$I(t) = I_m \sin(\omega t).$$

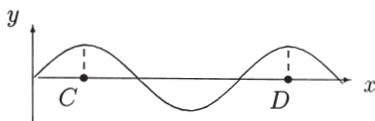
Мощность выделяемая на резисторе равна P . Сопротивление резистора

$$R = \dots$$

выразить через заданные величины

40. На рисунке изображен график поперечной волны. Скорость волны равна 2000 м/с, частота $\nu = 500$ Гц. Расстояние между точками C и D равно . . .

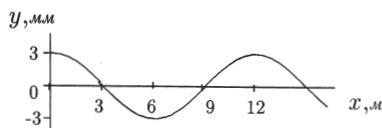
численное значение



41. На рисунке изображен график поперечной волны, распространяющейся вдоль направления x . Частота волны равна 2 Гц.

Скорость волны равна . . .

численное значение



42. Заполните таблицу:

Уравнение звуковой волны (м)	Амплитуда волны, м	Период колебаний, с	Длина волны, м
$y(x, t) = 2 \cdot 10^{-3} \cos 2\pi \cdot 10^3(t - 10^{-3}x)$			

43. Электромагнитная волна с частотой 10 МГц распространяется в вакууме со скоростью 300 000 км/с. За время десяти полных колебаний фронт волны распространяется на расстояние, равное . . .

численное значение

44. Две электромагнитные волны распространяются в вакууме. За время пяти полных колебаний первая волна проходит расстояние 100 м. За время десяти полных колебаний вторая волна проходит расстояние 300 м.

Отношение частот $\frac{\nu_1}{\nu_2}$ равно . . .

численное значение

45. Индуктивность колебательного контура приемника равна L . Величина электрической емкости конденсатора может изменяться в пределах от C_1 до C_2 ($C_1 < C_2$). Минимальная длина волны, на которую может быть настроен приемник,

$$\lambda_{min} = \dots$$

выразить через заданные величины

46. Звуковая волна определенной частоты за одно и то же время распространяется в первой среде на расстояние 5 м, во второй – на расстояние 2 м.

Отношение длин волн в средах $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ равно . . .

численное значение

47. При переходе электромагнитной волны из одной среды в другую длина волны увеличилась в два раза. Частота электромагнитной волны:

1) увеличилась в два раза,

2) не изменилась,

3) уменьшилась в два раза.

Правильный ответ . . .

укажите номер.

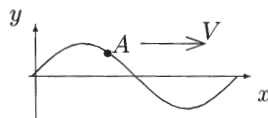
48. При переходе звуковой волны из одной среды в другую длина волны увеличилась в 2 раза. Из приведенных ниже утверждений зачеркнуть неправильные

период	скорость волны	частота
уменьшился в 2 раза	уменьшилась в 2 раза	уменьшилась в 2 раза
увеличился в 2 раза	увеличилась в 2 раза	увеличилась в 2 раза
не изменился	не изменилась	не изменилась

49. Волна с частотой $\nu = 100$ Гц распространяется в среде со скоростью 300 м/с. Расстояние между точками среды, разность фаз для которых составляет $\frac{\pi}{2}$, равно . . .

численное значение

50. На рисунке представлен график поперечной волны, распространяющейся в среде вдоль оси x . Покажите на рисунке направление движения точки А среды.



51. Уравнение поперечной акустической волны

$$y(x, t) = 4 \cdot 10^{-3} \sin 2\pi \cdot 10^3(t - 4 \cdot 10^{-3}x) \text{ м.}$$

Точки среды, разность фаз колебаний которых равна π , отстоят друг от друга на расстоянии, равном . . .

численное значение

52. Дано уравнение поперечной акустической волны

$$y(x, t) = 0,01 \sin 2\pi(t - 2 \cdot 10^{-3}x) \text{ м.}$$

За время, равное четверти периода колебаний, волна распространяется на расстояние, равное . . .

численное значение

53. Частица среды находится на расстоянии $x = \frac{\lambda}{2}$ от источника колебаний (λ – длина волны, распространяющейся в среде). Амплитуда колебаний $A = 0,05$ м. Смещение частицы в момент времени $t = \frac{T}{6}$ равно . . .

численное значение

54. Смещение от положения равновесия частицы, находящейся на расстоянии 0,04 м от источника колебаний в момент времени $t = \frac{T}{4}$ равно половине амплитуды. Длина волны, распространяющейся в среде от источника колебаний, равна . . . (численное значение)

Оптика. Элементы теории относительности

Оптика – один из разделов физики, в котором исследуются процессы излучения света, его распространения в различных средах и взаимодействия света с веществом. Оптика изучает широкую область спектра электромагнитных волн, лежащих в диапазоне длин волн от $0,78 \cdot 10^{-6}$ м до $0,4 \cdot 10^{-6}$ м. При рассмотрении оптических явлений выделяют геометрическую оптику, волновую оптику, квантовую оптику.

В данном пособии ограничимся рассмотрением явлений геометрической и квантовой оптики, так как именно, на эти разделы оптики в вариантах содержится большее количество заданий. При изучении явлений волновой оптики, таких как интерференция, дифракция можно воспользоваться учебниками для средней школы, где волновая оптика изложена достаточно подробно.

При изучении программного материала по разделу "Элементы теории относительности" можно так же воспользоваться учебниками для средней школы. В данном пособии приведены только примеры решения задач и задачи для самостоятельного решения по указанным темам, которые можно считать типовыми и которые наиболее часто встречаются в вариантах заданий, используемых при тестировании.

1 Геометрическая оптика

Задолго до того, как была выяснена волновая природа света, ученые пользовались геометрическими методами решения задач, связанных с построением изображений предметов в зеркалах и линзах, и при расчете оптических приборов. На основе геометрических методов удается весьма успешно описать некоторые свойства света, такие как отражение, преломление. Данные методы составляют содержание геометрической оптики.

1.1 Законы отражения и преломления

Одним из основных понятий геометрической оптики является понятие *светового луча*. Световой луч характеризует направление распространения света и переноса энергии. Геометрическая оптика базируется на нескольких законах: законе прямолинейного распространения света, законах отражения и преломления.

Законы отражения: 1) луч падающий, луч отраженный и нормаль к границе раздела сред в точке падения лежат в одной плоскости; 2) угол падения луча α равен углу отражения луча α' .

Законы преломления: 1) луч падающий, луч преломленный и нормаль к границе раздела сред в точке падения лежат в одной плоскости; 2) отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления β есть величина постоянная:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Ход лучей после отражения и преломления на границе раздела сред для случая $n_2 > n_1$ показан на рис. 1. В приведенном выше соотношении n_1, n_2 – абсолютные коэффициенты преломления первой и второй среды, соответственно.

Абсолютный коэффициент преломления n характеризует оптические свойства среды. Он равен отношению скорости света в вакууме (c) к скорости света в данной среде (v), то есть

$$n = \frac{c}{v}.$$

Если v_1 – скорость света в первой среде, а v_2 – скорость света во второй среде, то

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \quad \text{и} \quad n_2 = \frac{c}{v_2}.$$

Тогда следует, что

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Значение n_{21} постоянно для данных двух сред и называется коэффициентом преломления второй среды относительно первой. Среда с большим коэффициентом преломления называется оптически более плотной средой. Для воздуха коэффициент преломления n принимается равным единице. Из закона преломления следует, что при переходе света из оптически менее плотной среды в оптически более плотную среду преломленный луч света приближается к нормали ($\beta < \alpha$). При обратном ходе луча из более плотной среды в менее плотную, наоборот, преломленный луч удаляется от нормали ($\beta > \alpha$).

Рассмотрим подробнее ситуацию, когда свет переходит из среды, оптически более плотной, в среду, оптически менее плотную. Ход лучей после отражения и преломления на границе раздела сред для случая $n_2 < n_1$

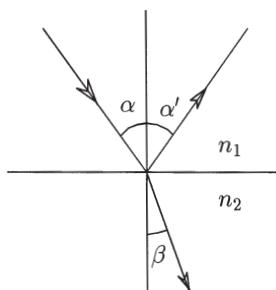


Рис. 1. Отражение и преломление светового луча

показан на рис. 2.

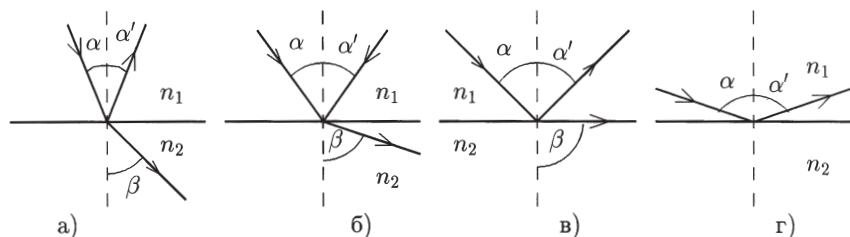


Рис. 2. Отражение и преломление на границе раздела сред для случая $n_2 < n_1$

В этом случае

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} < 1$$

и угол преломления β больше, чем угол падения α (рис. 2,а). При увеличении угла падения увеличивается угол преломления (рис. 2,б) до тех пор, пока при некотором угле падения ($\alpha = \alpha_{\text{пр}}$ угол преломления не окажется равным $\frac{\pi}{2}$ (рис. 2,в). Угол $\alpha_{\text{пр}}$ называется предельным углом падения. При углах падения $\alpha > \alpha_{\text{пр}}$ весь падающий свет полностью отражается на границе раздела сред (рис. 2,г). Явление отражения света при его падении из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную при $\alpha > \alpha_{\text{пр}}$ называется полным внутренним отражением.

1.2 Линзы. Построение изображений

Одной из задач геометрической оптики является построение изображений предметов, получаемых оптическими системами. Каждый предмет при этом рассматривается как совокупность точек, а поскольку точка однозначно определяется пересечением двух прямых, то для построения изображения любой точки достаточно взять только два луча, ход которых после преобразования их оптической системой заранее известен. Наиболее часто в оптических системах используются линзы. Линзы бывают выпуклые и вогнутые. И если рассматривать линзы как совокупность призм, то легко убедиться, что параллельный пучок лучей преобразуется выпуклой линзой в сходящийся пучок, а вогнутой линзой – в расходящийся пучок лучей. Поэтому выпуклую линзу называют собирающей, а вогнутую линзу – рассеивающей. Это выполняется, когда линза выполнена из вещества, показатель преломления которого больше показателя преломления среды, в которой находится линза. Правила построения изображения в линзах подробно изложены в соответствующих параграфах школьного учебника. В

данном пособии ограничимся рассмотрением лишь некоторых случаев построения изображений предметов в линзах.

1. Предмет находится **за двойным фокусным расстоянием** линзы ($d > 2F$). Построение осуществляется, как и во всех остальных случаях, с использованием двух лучей, 1 и 2, первый из которых параллелен главной оптической оси, а второй проходит через центр линзы O (рис. 3).

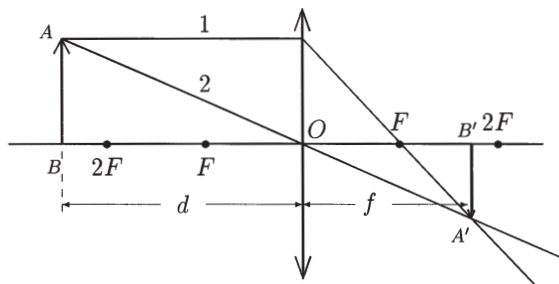


Рис. 3. Построение изображения в собирающей линзе

В этом случае изображение действительное, обратное и уменьшенное. Расположено оно на расстоянии, большем фокусного и меньше двойного фокусного.

2. Предмет находится **на расстоянии, равном фокусному** ($d = F$). Лучи, идущие от точки предмета, преобразуются линзой в параллельные лучи. Говорят, что в этом случае изображение находится в бесконечности (рис. 4).

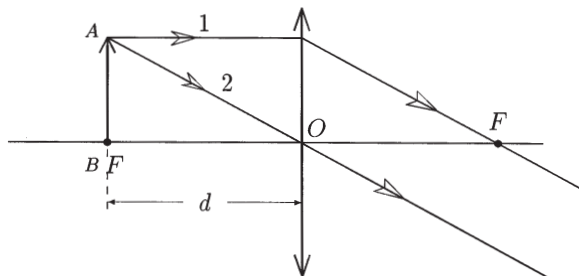


Рис. 4. Построение изображения в собирающей линзе ($d = F$)

3. построение изображения в рассеивающей линзе. Изображение всегда мнимое, прямое и уменьшенное (независимо от расстояния от предмета до линзы).

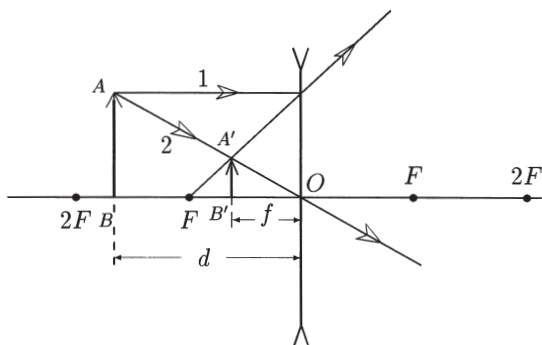


Рис. 5. Построение изображения в рассеивающей линзе

1.3 Увеличение линзы. Оптическая сила, формула тонкой линзы.

Отношение линейных размеров изображения $A'B'$ и предмета AB называется линейным увеличением линзы

$$k = \frac{A'B'}{AB}.$$

Как следует из рис. 3 и 5

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{f}{d},$$

т.е. линейное увеличение линзы равно отношению расстояния от линзы до изображения к расстоянию от предмета до линзы

$$k = \frac{f}{d}.$$

Одной из величин, характеризующих свойство линзы различным образом преломлять лучи света, является оптическая сила линзы. Оптической силой линзы D называется величина, обратная фокусному расстоянию линзы

$$D = \frac{1}{F}.$$

Единицей оптической силы линзы является диоптрия (дптр). Оптической силой 1 дптр обладает линза с фокусным расстоянием 1 м. Оптическая сила собирающей линзы положительна, оптическая сила рассеивающей линзы –

отрицательна. Линзы, толщина которых мала по сравнению с радиусами поверхностей, принято считать тонкими. Для тонких линз выполняется равенство

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

Это равенство называют формулой тонкой линзы. В этой формуле:

$F > 0$ – для собирающей линзы;

$F < 0$ – для рассеивающей линзы;

$d > 0$;

$f > 0$ – линза дает действительное изображение;

$f < 0$ – линза дает мнимое изображение.

2 Квантовая оптика

Целый ряд оптических явлений, таких как фотоэффект, люминесценция, излучение света атомами и др. не могли быть объяснены на основе волновой природы света. Все эти явления относятся к явлениям квантовой оптики, так как объясняются они теорией, основу которой составляют представления о квантовой природе света.

Суть этих представлений состоит в следующем. Свет не только излучается и поглощается, но также и распространяется в пространстве в виде отдельных порций энергии (квантов энергии) электромагнитного поля. Распространение света рассматривается не как непрерывный волновой процесс, а как поток особых частиц – фотонов, движущихся всегда со скоростью c (c – скорость света в вакууме). В случае монохроматического света все фотоны имеют одинаковую энергию

$$\mathcal{E} = h\nu = h \frac{c}{\lambda},$$

где ν и λ – частота и длина волны монохроматического света, h – постоянная Планка. Постоянная Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с и является универсальной физической постоянной. Представляя фотон частицей с энергией $\mathcal{E}$, можно утверждать на основании закона о взаимосвязи массы и энергии ($\mathcal{E} = mc^2$), что он обладает массой и импульсом.

Масса фотона

$$m_{\Phi} = \frac{\mathcal{E}}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}.$$

Импульс фотона

$$P_{\Phi} = m_{\Phi}c = \frac{h\nu}{c}.$$

Основываясь на квантовых представлениях о природе света, можно взаимодействие света с веществом представить как процесс взаимодействия фотонов с материальными частицами, например, электронами и воспользоваться этими представлениями для объяснения фотоэффекта.

Сущность фотоэффекта, описание экспериментов по его изучению достаточно подробно рассматриваются в школьных учебниках. Нам представляется целесообразным в данном пособии напомнить только законы внешнего фотоэффекта и дать их объяснение на основе квантовых представлений

Опытным путем (опыты А.Г. Столетова) установлены **три закона внешнего фотоэффекта**:

1. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности света, а определяется его частотой (длиной волны) и родом вещества, из которого вырываются электроны;

2. Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, то есть такая наибольшая длина волны (наименьшая частота) света, при которой еще возможен фотоэффект;

3. Число фотоэлектронов, вырываемых из катода за единицу времени (фототок насыщения), прямо пропорционально интенсивности света.

Трудности в объяснении законов фотоэффекта на основе волновой теории света были преодолены А. Эйнштейном на основе квантовой теории света. Известно, что для выхода из металла электрон должен преодолеть потенциальный барьер на границе металл – вакуум (должен совершить работу выхода из металла A_o). В результате поглощения электроном фотона энергия фотона $h\nu$ полностью передается электрону. Если $h\nu \geq A_o$, то электрон сможет совершить работу выхода и вырваться из металла. Если воспользоваться законом сохранения энергии, то можно найти наибольшую кинетическую энергию, которую сможет приобрести фотэлектрон.

$$\frac{mV_{max}^2}{2} = h\nu - A_o.$$

Это уравнение называется уравнением Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Его можно записать иначе:

$$h\nu = A_o + \frac{mV_{max}^2}{2},$$

откуда следует, что энергия фотона расходуется на совершение электроном работы выхода и приобретение им максимальной кинетической энергии.

Из уравнения Эйнштейна следует, что максимальная начальная скорость фотоэлектронов зависит от частоты света ν и работы A_o , но не зависит от интенсивности света. Это и есть первый закон фотоэффекта. Из этого же уравнения следует, что внешний фотоэффект возможен лишь

при условии $h\nu \geq A_0$. Энергия фотона должна быть достаточна, по крайней мере, для выбивания электрона с поверхности металла. Обозначив ν_0 наименьшую частоту света, при которой возможен фотоэффект, имеем

$$h\nu_0 = A_0 \quad \text{или} \quad h\frac{c}{\lambda_k} = A_0.$$

Красная граница фотоэффекта – наибольшая длина волны света λ_k зависит только от величины работы выхода электрона, то есть от химической природы вещества. Наконец, общее число n фотоэлектронов, вырывающихся за единицу времени с поверхности металла, должно быть пропорционально числу фотонов n' , падающих за то же время на поверхность и поглощенных веществом. При постоянном спектральном составе излучения $n' \sim \Phi$, где Φ световой поток, который пропорционален интенсивности света. Таким образом доказывается третий закон фотоэффекта: число фотоэлектронов, ежесекундно покидающих металл (фототок насыщения), пропорционально интенсивности света.

$$I_{\text{нас}} = en, \quad \text{где } e - \text{заряд электрона.}$$

К изложенному выше имеет смысл добавить следующее: электроны, которые вылетают при фотоэффекте с поверхности металла, имеют некоторую кинетическую энергию. Это позволяет им совершить работу против сил задерживающего электрического поля при отрицательном напряжении между катодом и анодом в вакуумном фотоэлементе. Электроны и в этом случае могут достигать анода и через фотоэлемент будет протекать фототок. На рис. 5 изображена вольт-амперная характеристика вакуумного фотоэлемента – зависимость фототока I_Φ от напряжения U между катодом и анодом при некотором световом потоке Φ . Если V_{max} – наибольшая начальная скорость электрона массой m , то его кинетическая энергия будет $\frac{mV_{\text{max}}^2}{2}$. За счет этой энергии электрон может преодолеть тормозящее электрическое поле. Если U_3 – наибольшее напряжение, при котором еще наблюдается фотоэффект, то, очевидно

$$\frac{mV_{\text{max}}^2}{2} = eU_3.$$

При $U \geq U_3$ фототок будет равен нулю. При увеличении напряжения фототок I_Φ постепенно возрастает, так как все большее число электронов достигает анода. Наибольшее значение фототока достигается при таких значениях U , когда все электроны, выбиваемые из катода, достигают анода и $I_\Phi = I_{\text{нас}}$.

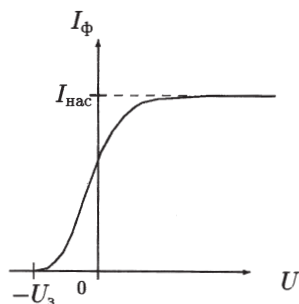


Рис. 5. Вольт-амперная характеристика

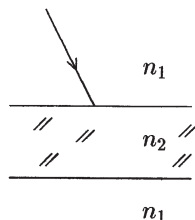
Методические указания к решению задач

Для решения задач по геометрической оптике необходимо владеть основными понятиями геометрической оптики, знать законы отражения и преломления света, понимать смысл относительного и абсолютного коэффициентов преломления среды. Необходимо также уметь находить построением изображения предметов, даваемых плоским зеркалом, собирающими и рассеивающими линзами, знать формулу увеличения линзы, формулу тонкой линзы.

Для успешного решения задач, в которых рассматриваются также явления волновой оптики, как интерференция, дифракция света, необходимо понимать суть этих явлений, владеть такими понятиями как когерентность, фаза световой волны, оптическая разность хода волны. Необходимо понимать, как возникает интерференционная картина при отражении света от тонких прозрачных пленок, знать формулы, определяющие условия максимумов и минимумов интерференционной картины, знать формулу, которая определяет положение главных максимумов при дифракции света на дифракционной решетке.

Примеры решения задач

1. Луч света падает на границу раздела двух сред. Показатель преломления первой среды n_1 больше показателя преломления второй среды n_2 . Покажите дальнейший ход луча.

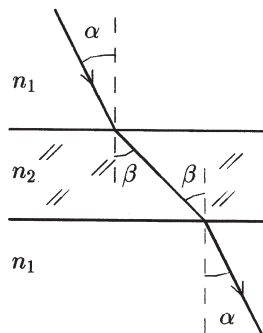


Решение.

При прохождении света через границу раздела сред происходит его преломление. Согласно закону преломления

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1},$$

где α – угол падения, β – угол преломления, n_1 – абсолютный показатель преломления первой среды, n_2 – абсолютный показатель преломления второй среды. По условию задачи $n_1 > n_2$, следовательно на верхней границе раздела сред луч преломляется так, что $\alpha < \beta$. На нижней границе раздела сред луч преломляется так, что $\beta > \alpha$. Ход луча показан на рисунке.



2. Луч света падает на границу раздела стекла и воды. Абсолютные коэффициенты преломления сред соответственно равны $n_{ст}$ и $n_{в}$. Предельный угол падения для этих сред $\alpha_{пред} = \dots$ выразить через заданные величины

Решение.

При предельном угле падения $\alpha_{пред}$ угол преломления света $\beta = \frac{\pi}{2}$. По закону преломления света

$$\frac{\sin \alpha_{пред}}{\sin \beta} = \frac{n_{в}}{n_{ст}}.$$

С учетом того, что $\sin \beta = \sin \frac{\pi}{2} = 1$, получаем $\sin \alpha_{пред} = \frac{n_{в}}{n_{ст}}$. Отсюда находим

$$\alpha_{пред} = \arcsin \frac{n_{в}}{n_{ст}}$$

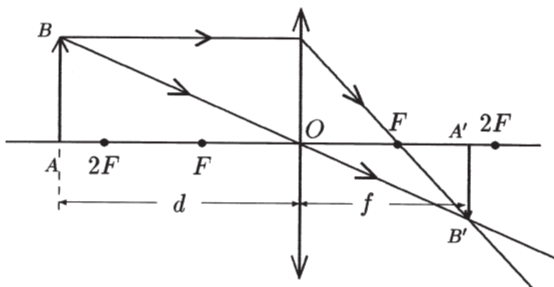
Ответ: Предельный угол падения для этих сред $\alpha_{пред} = \arcsin \frac{n_{в}}{n_{ст}}$.

3. Размеры действительного изображения меньше размеров предмета в три раза. Отношение расстояния от предмета до линзы к расстоянию от линзы до изображения $\frac{d}{f} = \dots$

численное значение

Решение.

Действительное уменьшенное изображение предмета может быть получено только с помощью собирающей линзы. Причем, предмет должен находиться за двойным фокусным расстоянием линзы. Изобразим рисунок, соответствующий рассматриваемому случаю.



AB – размеры предмета,

$A'B'$ – размеры изображения предмета,

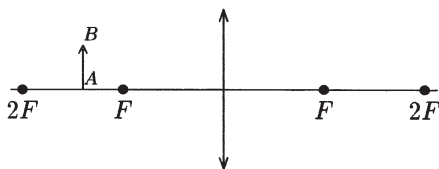
d – расстояние от предмета до линзы,
 f – расстояние от линзы до изображения.

Из подобия треугольников AOB и $A'B'O$ находим

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{d}{f} \quad \text{Получаем} \quad \frac{d}{f} = 3.$$

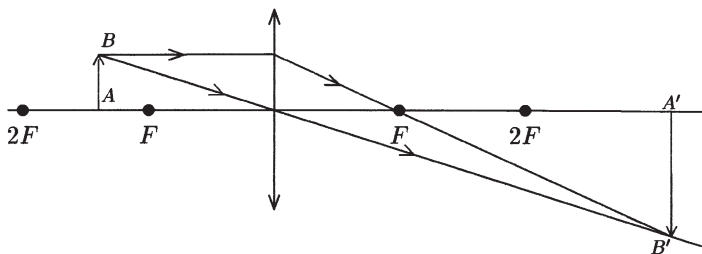
Ответ: отношение расстояния от предмета до линзы к расстоянию от линзы до изображения $\frac{d}{f} = 3$.

4. Найдите построением изображение предмета AB .



Решение.

Для нахождения изображения любой точки предмета достаточно рассмотреть ход двух лучей. Луч, параллельный главной оптической оси линзы, после прохождения через линзу идет через точку F на оси (через фокус линзы). Луч, идущий через оптический центр линзы (через точку O на оси), после прохождения через линзу идет, не преломляясь. Данные лучи в точке пересечения, дают изображение точки B предмета (на рисунке обозначена B'). На приведенном ниже рисунке показано построение изображения предмета AB .



5. Линза дает действительное изображение предмета AB , увеличенное в 15 раз и удаленное от линзы на расстояние 4 м.
 Оптическая сила линзы равна . . .
 численное значение

Решение.

Линейное увеличение линзы определяется по формуле

$$\frac{A'B'}{AB} = K = \frac{f}{d}.$$

Отсюда находим расстояние от предмета до линзы $d = \frac{f}{d}$. Подставим это выражение в формулу тонкой линзы. Получим

$$\mathcal{D} = \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{K}{f} + \frac{1}{f}.$$

По условию задачи $K = 15$, $f = 4$ м. После подстановки этих значений найдем

$$\mathcal{D} = \frac{15}{4} + \frac{1}{4} = \frac{16}{4} = 4 \text{ дптр.}$$

Ответ: Оптическая сила линзы равна 4 дптр.

6. Двояковыпуклая линза дает действительное изображение. Предмет находится на расстоянии $l_1 = 8$ см от переднего фокуса линзы, а изображение на расстоянии $l_2 = 28$ см от заднего фокуса линзы.

Фокусное расстояние линзы равно . . .

численное значение

Решение.

По условию задачи (линза дает действительное изображение) можно сделать вывод, что линза собирающая, а расстояние от нее до предмета и до изображения превышают фокусное расстояние: $d = F + l_1$, $f = F + l_2$. По формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F + l_1} + \frac{1}{F + l_2} = \frac{1}{F}.$$

Отсюда получаем $F = \sqrt{l_1 l_2}$. После подстановки значений l_1 и l_2 находим $F = \sqrt{224} \sim 15$ см.

Ответ: фокусное расстояние линзы равно 15 см.

7. Волны от двух когерентных источников света приходят в точку A с оптической разностью хода $\Delta d = 2\lambda$. В точке A может наблюдаться

1) максимум интенсивности света;

2) минимум интенсивности света;

3) равномерная освещенность.

Правильный ответ . . .

укажите номер

Решение.

При наложении волн от двух когерентных источников света в пространстве имеет место явление интерференции. При выполнении условия равенства оптической разности хода до некоторой точки целому числу длин волн

$$\Delta d = m\lambda \quad (m = 0, 1, 2 \dots)$$

наблюдается максимум интенсивности света. По условию задачи оптическая разность хода волн до точки A равна 2λ , следовательно в точке A будет наблюдаться максимум интенсивности света.

Ответ: правильный ответ приведен под номером 1.

8. Лучи белого света падают под углом $\alpha = 30^\circ$ на тонкую стеклянную ($n = 1,5$) пластинку. При этом максимум отражения наблюдается в красной ($\lambda = 0,68 \cdot 10^{-6}\text{м}$) части спектра.

Наименьшая толщина пластинки равна . . .

численное значение

Решение.

Максимум отражения наблюдается в результате интерференции лучей 1 и 2, отраженных от обеих поверхностей пластинки. Для этого оптическая разность хода лучей 1 и 2 должна быть равна целому числу длин волн:

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2} = k\lambda - \text{условие максимума в отраженном свете.}$$

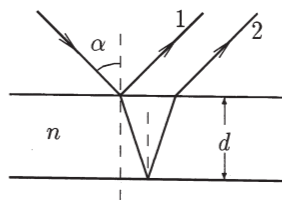
Слагаемое $\frac{\lambda}{2}$ учитывает, что при отражении луча 1 от оптически более плотной среды фаза волны меняется на противоположную, т.е. происходит такое же изменение фазы, как при прохождении расстояния $\frac{\lambda}{2}$. Наименьшей толщине пластинки соответствует $k = 1$. В таком случае, из условия максимума для интерференции в отраженном свете получаем

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}.$$

После подстановки значений всех величин, находим:

$$d_{\min} = \frac{0,68 \cdot 10^{-6}}{4\sqrt{2,25 - 0,25}} = 0,12 \cdot 10^{-6}\text{м}.$$

Ответ: наименьшая толщина пластинки равна $0,12 \cdot 10^{-6}\text{м}$.



9. Период дифракционной решетки равен d . Максимум первого порядка виден под углом α . Длина волны падающего на решетку света равна . . . выразить через заданные величины

Решение.

При прохождении света через дифракционную решетку наблюдается явление дифракции света. Максимум дифракционной картины наблюдается, если выполняется условие

$$d \sin \alpha = \pm m \lambda,$$

где d – период решетки, α – угол, под которым наблюдается максимум, λ – длина волны падающего на решетку света, m – порядок дифракционного максимума ($m = 0, 1, 2 \dots$). Из этого условия получаем

$$\lambda = \frac{d \sin \alpha}{m}.$$

По условию задачи $m = 1$. В таком случае находим $\lambda = d \sin \alpha$.

Ответ: длина волны падающего на решетку света $\lambda = d \sin \alpha$.

10. Импульс фотона увеличивается. Указать, какое из нижеперечисленных действий вызывает увеличение импульса:

1. Уменьшение частоты.
2. Уменьшение длины волны.
3. Увеличение длины волны.

Правильный ответ . . .

Укажите номер.

Решение.

Импульс фотона равен

$$p_{\text{ф}} = \frac{h \nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

Из этого соотношения видно, что импульс фотона увеличивается, если увеличивается частота ν или уменьшается длина волны λ .

Из предложенных ответов правильным является ответ под номером 2.

Ответ: номер 2.

11. Длина волны синего света равна $4,8 \cdot 10^{-7}$ м, красного – $6,7 \cdot 10^{-7}$ м. Отношение энергии фотона синего света к энергии фотона красного света равно . . .

численное значение

Решение.

Квант монохроматического света частотой ν (длиной волны λ) обладает энергией

$$\mathcal{E} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}.$$

Обозначим $\mathcal{E}_1$ – энергия фотона синего света, $\mathcal{E}_2$ – энергия фотона красного света. Тогда, после подстановки в формулу для $\mathcal{E}$ соответствующих длин волн λ_1 и λ_2 , найдем отношение $\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2}$.

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{hc\lambda_2}{\lambda_1 hc} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}.$$

Подставляя значения λ_1 и λ_2 , получим

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{6,7 \cdot 10^{-7}}{4,8 \cdot 10^{-7}} = 1,4.$$

Ответ: отношение энергии фотона синего света к энергии фотона красного света равно 1,4.

12. Длина волны света, которой соответствует "красная граница" фотоэффекта для стронция, равна λ_k . Стронций освещается излучением с длиной волны λ .

Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна . . .
выразить через заданные величины

Решение.

На основании уравнения Эйнштейна для фотоэффекта можно записать

$$W_{\text{кин}} = h\nu - A_o,$$

где $W_{\text{кин}}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, A_o – работа выхода. На основании второго закона фотоэффекта для работы выхода A_o можно записать

$$A_o = h\nu_k.$$

С учетом последнего выражения для $W_{\text{кин}}$ получим

$$W_{\text{кин}} = h\nu - h\nu_k.$$

Воспользовавшись соотношениями

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad \text{и} \quad \nu_k = \frac{c}{\lambda_k},$$

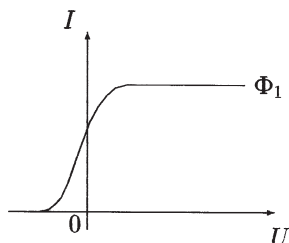
для максимальной кинетической энергии фотоэлектронов, получим

$$W_{\text{кин}} = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{\text{к}}} \right).$$

Ответ: максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна

$$W_{\text{кин}} = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{\text{к}}} \right).$$

13 На рисунке изображена вольт-амперная характеристика вакуумного фотоэлемента (Φ_1 – световой поток, падающий на фотокатод). Изобразите на этом же рисунке вольт-амперную характеристику для $\Phi_2 > \Phi_1$ и $V_2 > V_1$ (V – начальная скорость электронов, вылетевших из фотокатода).

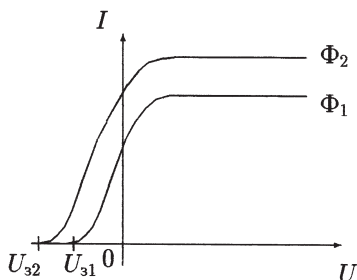


Решение.

По третьему закону фотоэффекта ток насыщения вакуумного фотоэлемента пропорционален интенсивности света (световому потоку). Так как $\Phi_2 > \Phi_1$, то $I_2 > I_1$. Это означает, что ВАХ для второго случая в области насыщения пойдет выше. Кинетическая энергия вырванных из фотокатода электронов уменьшается до нуля при совершении работы электрическим полем, созданным задерживающей разностью потенциалов. Можно записать

$$\frac{mV^2}{2} = eU_3.$$

По условию задачи $V_2 > V_1$. В таком случае $U_{32} > U_{31}$. ВАХ для случая $\Phi_2 > \Phi_1$ и $V_2 > V_1$ изображена на рисунке.



14. Ракета движется относительно неподвижного наблюдателя со скоростью, равной 0,6 скорости света в вакууме. По часам, движущимся вместе с ракетой, прошло 6 лет. Время, которое пройдет по часам неподвижного наблюдателя равно . . .

численное значение

Решение.

Промежуток времени, прошедшего по часам неподвижного наблюдателя можно найти по формуле

$$\Delta t = \frac{\Delta t_o}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},$$

где Δt_o – собственное время (время по часам, находящимся в ракете), V – скорость ракеты относительно неподвижного наблюдателя, c – скорость света в вакууме. Подставив в эту формулу значения величин, найдем

$$\Delta t = \frac{6}{\sqrt{1 - \frac{(0,6c)^2}{c^2}}} = \frac{6}{\sqrt{1 - 0,6^2}} = \frac{6}{0,8} = 7,5 \text{ лет.}$$

Ответ: Время, которое пройдет по часам неподвижного наблюдателя равно 7,5 лет.

15. Космическая ракета удаляется от наблюдателя со скоростью 0,9с. На ракете установлена пушка. Пушка выпускает снаряд в направлении движения ракеты со скоростью 0,8с относительно ракеты. Скорость снаряда относительно наблюдателя равна . . .

численное значение

Решение.

Введем обозначения:

V – скорость снаряда относительно наблюдателя;

v – скорость ракеты относительно наблюдателя;

u – скорость снаряда относительно ракеты.

Согласно релятивистской формуле сложения скоростей

$$V = \frac{v + u}{1 + \frac{v \cdot u}{c^2}}.$$

После подстановки значений скоростей, получим

$$V = \frac{0,9c + 0,8c}{1 + \frac{0,9c \cdot 0,8c}{c^2}} = \frac{1,7c}{1,72} \approx 0,99c.$$

Ответ: Скорость снаряда относительно наблюдателя равна 0,99с.

16. Масса покоящегося электрона m_o . Чтобы масса движущегося электрона была в 4 раза больше его массы покоя, электрон должен двигаться со скоростью равной . . .

численное значение

Решение.

Масса релятивистской частицы определяется по формуле

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

где m_o – масса покоящегося электрона; m – масса движущегося электрона; v – скорость движения электрона; c – скорость света в вакууме.

Выразим из этой формулы скорость движения электрона, предварительно возведя обе части равенства в квадрат. Получим

$$v = c \sqrt{1 - \frac{m_o^2}{m^2}}.$$

По условию задачи $\frac{m}{m_o} = 4$. Следовательно $\frac{m_o}{m} = \frac{1}{4}$. После подстановки значений, получаем

$$v = c \sqrt{1 - \left(\frac{1}{4}\right)^2} \approx 0,97c = 0,97 \cdot 3 \cdot 10^8 \approx 2,9 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Ответ: скорость электрона равна $2,9 \cdot 10^8$ м/с.

Задачи для самостоятельного решения

1. Луч света преломляется на границе раздела двух сред; Скорость света во второй среде в два раза меньше, чем скорость света в первой среде. Абсолютный показатель преломления первой среды относительно вакуума равен 1,3.

Абсолютный показатель преломления второй среды равен . . .

численное значение

2. Луч света падает на поверхность стекла с показателем преломления n . Отраженный и преломленный лучи взаимноперпендикулярны.

Угол между падающим и отраженным лучами равен . . .

выразить через заданные величины

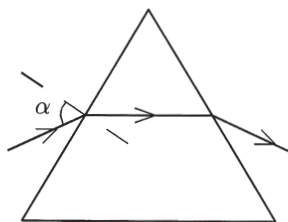
3. При переходе луча света из первой среды во вторую ($n_1 > n_2$) угол падения и преломления равны соответственно $\frac{\pi}{6}$ и $\frac{\pi}{2}$.

При переходе луча из второй среды в первую при угле падения $\frac{\pi}{6}$ угол преломления равен . . .

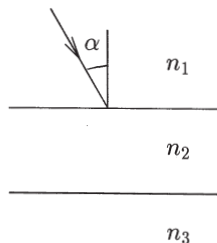
численное значение

4. Сечение призмы представляет собой равносторонний треугольник. Луч, падающий на грань призмы под углом $\alpha = 60^\circ$, преломляется в точках, равноотстоящих от вершины. Показатель преломления материала призмы равен . . .

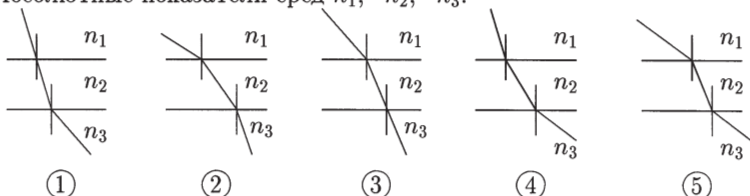
численное значение



5. На первую границу раздела трех сред под углом α падает луч света. Покажите дальнейший ход луча при условии, что $n_1 > n_2 < n_3$.



6. На рисунках изображен ход лучей через границы раздела трех сред. Абсолютные показатели сред n_1 , n_2 , n_3 .



Соотношения $n_1 < n_2$; $n_2 < n_3$ справедливы для хода лучей на рисунке . . .

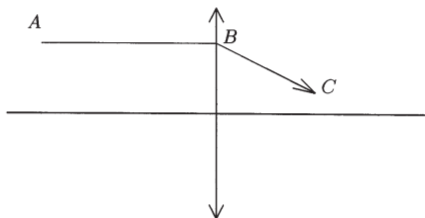
7. Лучи света 1, 2, 3 идущие от одного источника падают перпендикулярно поверхности стекла ($n_{\text{стекла}} > n_{\text{воды}}$). Изобразите дальнейший ход лучей.

Первым из воды выйдет луч . . .

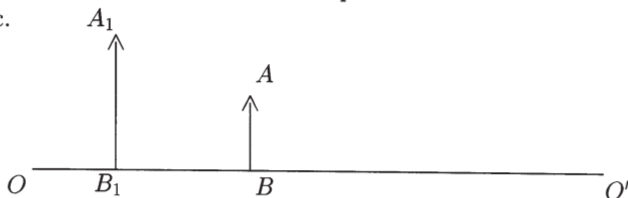
укажите номер



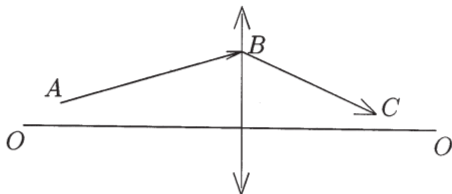
8. На рисунке изображен луч ABC , прошедший сквозь собирающую линзу. Найдите построением главный фокус линзы.



9. На рисунке изображены светящаяся стрелка AB и ее изображение A_1B_1 , OO' – главная оптическая ось. Найдите построением положение линзы и ее главный фокус.



10. На рисунке изображен ход луча AB , прошедшего через линзу. Построением найдите положение главных фокусов линзы.



11. Предмет находится на расстоянии 10 см от оптического центра линзы. Размер полученного изображения равен размеру предмета. Оптическая сила линзы D равна . . .

численное значение

12. Изображение предмета в собирающей линзе получается уменьшенным, действительным, перевернутым. Из предложенных ниже утверждений выберите правильное.

Предмет находится:

1. . . . между фокусом и центром линзы.
2. . . . между фокусным и двойным фокусным расстоянием.
3. . . . в фокусе линзы.
4. . . . за двойным фокусным расстоянием.

Правильный ответ . . .

укажите номер

13. Изображение предмета находится на расстоянии f от собирающей линзы с фокусным расстоянием F .

Если $F < f < 2F$ то, полученное изображение:

действительное	прямое	увеличенное
мнимое	обратное	уменьшенное

неправильное зачеркнуть

14. На мыльную пленку ($n = 1,33$) падает белый свет под углом 45° . Наименьшая толщина пленки, при которой отраженные лучи будут окрашены в желтый цвет ($\lambda = 0,6 \cdot 10^{-6}\text{м}$) равна . . .

численное значение

15. На поверхность стеклянного объектива ($n = 1,5$) нанесена тонкая "просветляющая" пленка, показатель преломления которой ($n = 1,2$). Наименьшая толщина пленки, при которой произойдет максимальное ослабление отраженного света с длиной волны ($\lambda = 0,6 \cdot 10^{-6}\text{м}$) равна . . .

численное значение

16. На дифракционную решетку падает монохроматический свет с длиной волны λ . Максимум третьего порядка наблюдается под углом α .

Период решетки $d = \dots$

выразить через заданные величины

17. При дифракции света, длина волны которого равна λ , на дифракционной решетке с периодом $d = 5\lambda$ максимум третьего порядка наблюдается под углом $\varphi = \dots$

выразить через заданные величины

18. Монохроматический свет падает нормально на дифракционную решетку, имеющую 500 штрихов на миллиметр. Длина волны света $\lambda = 0,43 \cdot 10^{-6}$ м. Наибольший порядок наблюдаемого спектра равен $\dots$

численное значение

19. Импульс фотона уменьшается. Укажите, какое из нижеперечисленных действий вызывает уменьшение импульса:

1. Увеличение частоты.

2. Уменьшение частоты.

Правильный ответ $\dots$

3. Уменьшение длины волны.

Укажите номер.

20. Максимальный импульс фотоэлектронов равен P_e ,

Красная граница фотоэффекта – λ_k .

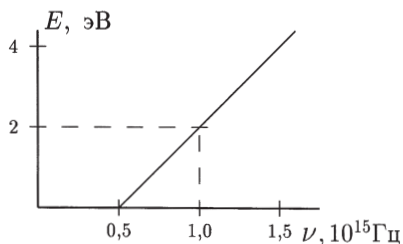
Энергия фотонов, падающих на фотокатод, равна $\dots$

выразить через заданные величины

21. На рисунке изображен график зависимости кинетической энергии фотоэлектронов от частоты падающего света. Постоянная Планка $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с.

Работа выхода фотоэлектронов равна $\dots$

численное значение



22. При уменьшении частоты света, падающего на фотоэлемент:

1) уменьшается ток насыщения;

2) увеличивается энергия падающего фотона;

3) увеличивается максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов;

4) уменьшается задерживающая разность потенциалов.

Правильный ответ $\dots$

укажите номер

23. При освещении фотоэлемента светом с частотой ν_1 были испущены фотоэлектроны с максимальной кинетической энергией в два раза большей, чем работа выхода электронов. При освещении того же фотоэлемента светом с частотой ν_2 были испущены фотоэлектроны с максимальной кинетической энергией в три раза большей, чем работа выхода электронов.

Отношение частот этих световых волн $\frac{\nu_1}{\nu_2} = \dots$
численное значение

24. Работа выхода электронов для серебра равна $7,7 \cdot 10^{-19}$ Дж. Красная граница фотоэффекта для серебра равна $\dots$

$$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с},$$

$$C = 3,0 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

численное значение

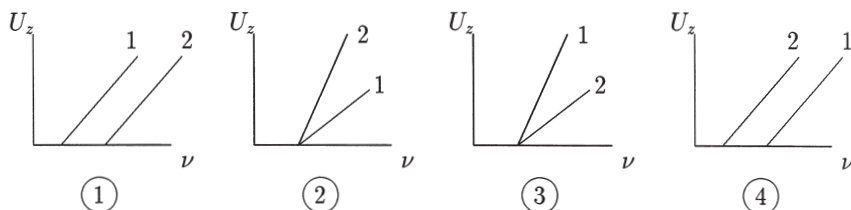
25. Работа выхода электронов из вольфрама равна $7,2 \cdot 10^{-19}$ Дж. На вольфрам падают лучи с длиной волны $2,0 \cdot 10^{-7}$ м. Кинетическая энергия фотоэлектронов, вырываемых из вольфрама, равна $\dots$

$$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с},$$

численное значение

$$C = 3,0 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

26. На рисунках изображены зависимости задерживающей разности потенциалов от частоты падающего света для двух фотоэлементов. Работа выхода у первого фотоэлемента больше чем у второго.



Правильный ответ соответствует рисунку $\dots$

укажите номер

27. Работа выхода фотоэлектронов из рубидия равна $3,3 \cdot 10^{-19}$ Дж (константы $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж/с; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с).

Длина волны света, соответствующая красной границе фотоэффекта для рубидия, равна $\dots$

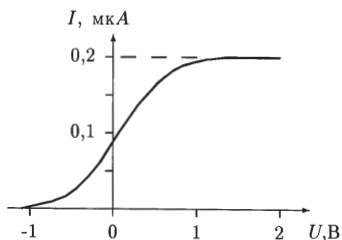
численное значение

28. Энергия фотонов, падающих на фотоэлемент, равна 6 эВ. Работа выхода электронов – 1,5 эВ. При изменении частоты падающего на фотоэлемент света задерживающая разность потенциалов уменьшилась в 3 раза. Энергия фотонов после изменения частоты равна . . .

численное значение

29. На рисунке изображена вольт-амперная характеристика фотоэлемента. Число электронов, покидающих фотокатод при $U = 2$ В в течение одной секунды, равно . . .

численное значение



30. Длина стержня, покоящегося относительно наблюдателя, равна l_0 . Чтобы длина стержня уменьшилась для наблюдателя в три раза, стержень должен двигаться относительно наблюдателя со скоростью, равной . . .

численное значение

31. Космический корабль движется относительно Земли со скоростью 0,4 скорости света в вакууме. За временной промежуток в 25 земных лет на космическом корабле пройдет промежуток времени, равный . . .

численное значение

32. Электрон движется со скоростью 0,8 скорости света в вакууме. Полная энергия электрона равна . . .

численное значение

Атомная и ядерная физика

1 Элементы атомной физики

1.1 Ядерная модель атома Резерфорда и ее противоречивость

Результатом опытов по рассеянию α – частиц и теоретических расчетов Резерфорда явилось создание в 1911 г. ядерной модели атома. По этой модели в центре атома находится его ядро, имеющее линейные размеры $10^{-15} - 10^{-14}$ м. В ядре сосредоточен весь положительный заряд атома и практически вся его масса. Вокруг ядра, в области с размерами 10^{-10} м, по орбитали движутся электроны, масса которых составляет лишь малую долю от массы ядра. Теоретическое обоснование ядерной модели атома на основе классических законов механики, электродинамики и оптики выявило противоречивость этой модели и ее несоответствие с результатами экспериментов. Из теории следовало, что:

- а) атом должен быть неустойчив, ввиду непрерывной потери электронами энергии на излучение электромагнитных волн;
- б) спектральных линий в спектрах излучения и поглощения существовать не должна; спектры должны быть только непрерывными.

В действительности же оказывается, что:

- а) атом является устойчивой системой;
- б) атом излучает свет, имеющий линейчатый спектр.

Полное несоответствие выводов, основанных на классическом истолковании ядерной модели атома, и опытных фактов послужило поводом для создания Н. Бором в 1913 г. первой неклассической теории атома.

1.2 Постулаты Бора

Основная идея теории Н. Бора – связать в единое целое три результата, полученные в физике к тому времени:

- 1) эмпирические закономерности линейчатого спектра атома водорода;
- 2) ядерную модель атома Резерфорда, не допускающую классического истолкования;
- 3) квантовый характер процессов и излучения и поглощения света атомами.

Для решения этой задачи Н.Бор, сохраняя классический подход к описанию поведения электронов в атоме, выдвинул три постулата, которые называются постулатами Бора.

Первый постулат Бора – постулат стационарных состояний, он заключается в следующем: атом может находиться в некоторых стационарных состояниях, не изменяющихся во времени без внешних воздействий. В этих состояниях атом не излучает электромагнитные волны. Стационарным состояниям атома соответствуют стационарные орбиты, по которым движутся электроны.

Второй постулат Бора – правило выбора орбит. Он утверждает, что в стационарном состоянии атома электрон, двигаясь по круговой орбите, должен иметь дискретные, квантовые значения момента импульса L_n , то есть

$$L_n = n \cdot v \cdot r = n\hbar, \quad \text{где } n = 1, 2, 3 \dots$$

m – масса электрона, v – скорость электрона, r – радиус орбиты, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$.

Приведенное выражение для L_n позволяет осуществлять выбор стационарных орбит электронов.

Третий постулат Бора – правило частот, утверждает, что при переходе атома из одного стационарного состояния в другое испускается или поглощается определенная порция энергии (квант энергии). Испускание (излучение) происходит при переходе атома из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией. Этому соответствует переход электрона с орбиты, более удаленной от ядра, на более близкую к ядру орбиту. Поглощение атомом энергии сопровождается переходом атома из состояния с меньшей энергией в состояние с большей энергией. Этому соответствует переход электрона с орбиты, близкой к ядру, на более удаленную от ядра орбиту. Если E_1 и E_2 – энергии атома в двух стационарных состояниях, то энергия кванта определяется формулой $h\nu = E_2 - E_1$.

2 Основные свойства и строение атомных ядер

2.1 Заряд и масса атомных ядер, состав ядра

Важнейшими характеристиками ядра являются его заряд и масса. Заряд ядра определяется количеством положительных элементарных зарядов, содержащихся в ядре. Носителем положительного элементарного заряда в ядре является протон. Таким образом, заряд ядра равен $Z \cdot e$, где Z – число протонов в ядре или порядковый номер элемента в периодической системе

Д.И. Менделеева, e – заряд протона. Число Z еще называют зарядовым числом. Атом в целом нейтрален, и зарядовое число Z определяет количество электронов в атоме. Масса атомного ядра практически совпадает с массой всего атома, ввиду того, что масса электронов в атоме мала. Массы атомов принято измерять в атомных единицах массы (а.е.м.).

Измерения показывают, что массы атомов, выраженные в а.е.м., близки к целым числам. Целое число, ближайшее к атомной массе, выраженной в а.е.м., называется массовым числом и обозначается буквой A .

В природе обнаружены изотопы – разновидности атомов данного химического элемента, у которых зарядовые одинаковые, а массовые числа различаются.

В настоящее время принято обозначать изотопы химических элементов следующим образом:

$${}_Z X^A \quad \text{или} \quad {}_Z^A X,$$

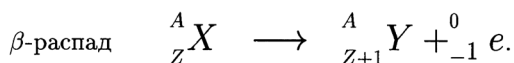
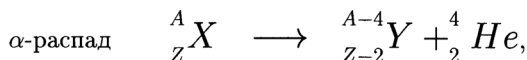
где X – символ химического элемента, соответствующего данному ядру, в таблице Менделеева.

После создания модели атома вопрос о составе атомного ядра являлся одним из основных в ядерной физике. Ответ на этот вопрос физика смогла дать по мере накопления сведений о заряде, массе ядер, о различных их свойствах. Общепринятой является протон-нейтронная модель атомного ядра. Согласно этой модели, ядро атома любого химического элемента состоит из протонов и нейтронов. Массовое число A ядра равно общему числу протонов и нейтронов, находящихся в ядре. Так как число протонов в ядре равно Z , то число нейтронов в ядре $N = A - Z$. Массовые числа протона и нейтрона одинаковы и равны единице.

2.2 Естественная радиоактивность

Естественной радиоактивностью называют самопроизвольное превращение ядер одних элементов в ядра других элементов, сопровождающееся испусканием определенных частиц (α , β) и электромагнитного излучения (γ -излучения). Естественная радиоактивность наблюдается, как правило, у ядер тяжелых элементов, располагающихся за свинцом в таблице Менделеева. По отклонению α -, β -частиц и γ -излучения в магнитном поле установили, что α -частицы несут положительный заряд, β -частицы – отрицательный, а γ -лучи не заряжены. Исследования показали, что α -частицы

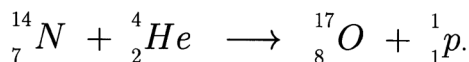
– это ядра гелия ${}^4_2\text{He}$; β - частицы – электроны ${}^0_{-1}e$; γ -излучение представляет собой электромагнитное излучение большой частоты ($\nu > 10^{19} \text{ с}^{-1}$). Превращения ядер, сопровождающиеся испусканием α - и β -частиц, называются, соответственно α - и β - распадом. Опытами установлено, что γ -излучение ядер не является самостоятельным видом радиоактивности. Оно, как правило, сопровождает процессы α - и β - радиоактивных распадов. Были открыты правила смещения, выполняющиеся при радиоактивных распадах, и которые можно пояснить следующими схемами:



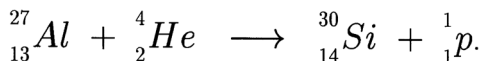
В этих схемах распадов X – символ материнского ядра, Y – символ дочернего ядра. При α -распаде массовое число уменьшается на 4 единицы, а зарядовое число на 2, то есть происходит перемещение элемента на две клетки влево в таблице Менделеева. При β -распаде массовое число не изменяется, а зарядовое число увеличивается на 1, т.е. элемент перемещается на одну клетку вправо в таблице Менделеева. Гамма-излучение уменьшает только массу ядра атома радиоактивного изотопа.

2.3 Ядерные реакции

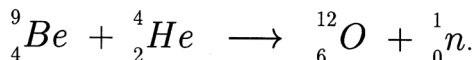
Ядерными реакциями принято называть превращения атомных ядер, вызванные их взаимодействием с частицами или друг с другом. Первой ядерной реакцией было превращение ядер азота в ядра изотопа кислорода при бомбардировке ядер азота α -частицами:



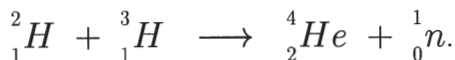
Можно привести примеры и других ядерных реакций, например, превращения ядер алюминия ${}^{27}_{13} \text{Al}$ в ядро кремния ${}^{30}_{14} \text{Si}$



Ядерные реакции под действием α -частиц привели, в частности, к открытию нейтронов, которые, как отмечено ранее, входят в состав атомных ядер



Среди ядерных превращений особое место занимают ядерные реакции деления тяжелых ядер и ядерные реакции синтеза легких ядер, имеющих огромное значение в современной науке и технике. При протекании этих реакций выделяется огромное количество энергии. Весьма эффективной в отношении выделения энергии является следующая реакция:



При осуществлении этой реакции выделяется энергия, равная 17,6 МэВ. Необходимо отметить, что при протекании ядерных реакций, как и при радиоактивном распаде ядер выполняются *законы сохранения* – **закон сохранения зарядового числа и закон сохранения массового числа**: сумма зарядовых чисел (а также массовых чисел) продуктов реакции равна сумме зарядовых чисел (а также массовых чисел) ядер и частиц исходных в данной реакции.

Методические указания к решению задач

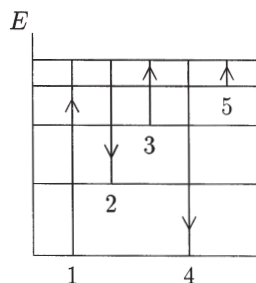
Для решения задач по атомной и ядерной физике необходимо иметь представление о моделях атома и ядра, о процессах излучения и поглощения энергии атомами, знать постулаты Бора, состав и основные свойства ядер. Кроме того, для решения многих задач необходимо понимать смысл зарядового числа Z и массового числа A , знать виды радиоактивных распадов и их особенности, типы ядерных реакций, уметь записывать ядерные реакции на основе законов сохранения зарядового и массового чисел.

Примеры решения задач

1. На рисунке представлена диаграмма энергетических уровней атома. Фотон с наименьшей частотой излучается при переходе

...

Укажите номер.



Решение.

При поглощении атомом фотона его энергия увеличивается. При этом энергия фотона $\mathcal{E} = h\nu$ передается электрону и он переходит на более

высокий энергетический уровень, увеличив свою энергию на ΔE . Из представленной на рисунке диаграммы энергетических уровней атома видно, что энергия поглощается при переходах 1, 3, 5. По закону сохранения энергии $\Delta E = h\nu$, следовательно, меньшей разности энергий двух состояний атома соответствует меньшая частота. Делаем вывод: фотон с наименьшей энергией поглощается при переходе 5.

Ответ: номер 5.

2. Ядро испускает позитрон. Из перечисленных в таблице утверждений выберите правильное.

заряд ядра	массовое число	масса ядра
увеличился	увеличилось	увеличилась
уменьшился	уменьшилось	уменьшилась
не изменился	не изменилось	не изменилась

Ненужное зачеркнуть.

Решение.

При испускании ядром позитрона ${}^0_{+1}e$ в соответствии с правилом смещения и законом сохранения энергии, происходит уменьшение массы ядра. Массовое число при этом не изменяется, так как суммарное число протонов и нейтронов в ядре не изменилось. В приведенной таблице все ненужное зачеркнуто.

Ответ:

заряд ядра	массовое число	масса ядра
увеличился	увеличилось	увеличилась
уменьшился	уменьшилось	уменьшилась
не изменился	не изменилось	не изменилась

3. Ядро испускает γ -квант. Из перечисленных ниже утверждений выберите правильное.

- Масса ядра: 1. Увеличивается.
2. Уменьшается.
3. Не изменяется.

Правильный ответ . . .

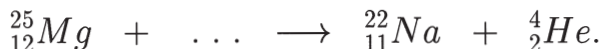
Укажите номер.

Решение.

При испускании γ -кванта заряд ядра не изменяется. Следовательно, не изменяется и порядковый номер элемента в таблице Д.И. Менделеева. правильный ответ под номером 3.

Ответ: номер 3.

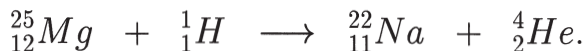
4. Допишите ядерную реакцию



Решение.

При протекании ядерных реакций выполняются законы сохранения зарядовых чисел и массовых чисел. Сумма зарядовых чисел ядер и частиц продуктов реакции должна быть равна сумме зарядовых чисел ядер и частиц, вступающих в реакцию. Аналогичное утверждение можно сделать и для массовых чисел. По условию задачи имеем: сумма зарядовых чисел продуктов реакции равна 113, а исходных – 12. Сумма зарядовых чисел продуктов реакции равна 26, а исходных – 25. Для того, чтобы выполнялись указанные выше законы, необходимо в левую часть записанной реакции включить ядро с $Z = 1$ и $A = 1$.

Это ядро водорода – ${}_1^1\text{H}$. В символьной записи реакция будет иметь вид



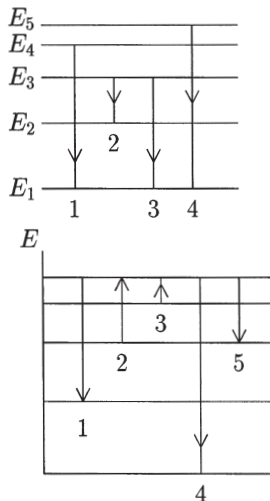
Задачи для самостоятельного решения

1. Наименьшей длине волны, излучаемой атомом, соответствует переход . . .

номер

2. На рисунке представлена диаграмма энергетических уровней атома. Фотон с наибольшей частотой поглощается при переходе . . .

Укажите номер.



3. Число нейтронов в ядре магния $^{25}_{12}\text{Mg}$ равно . . .

численное значение

4. Ядро дейтерия ^2_1H поглотило γ -квант и испустило нейтрон. Ядро какого химического элемента образовалось в результате реакции?

- 1) ^3_1H 2) ^1_1H 3) ^3_2He 4) ^4_2He .

Правильный ответ . . .

укажите номер

5. Ядро углерода $^{12}_6\text{C}$ поглотило протон и испустило позитрон. Ядро какого химического элемента образовалось в результате реакции?

- 1) $^{10}_5\text{B}$ 2) $^{11}_5\text{B}$ 3) $^{13}_6\text{C}$ 4) $^{14}_7\text{N}$.

Правильный ответ . . .

укажите номер

6. В результате ядерной реакции заряд ядра увеличился. Из предложенных ниже утверждений выберите правильное.

1. Ядро захватило электрон.

2. Ядро захватило протон.

3. Ядро захватило нейтрон.

Правильный ответ . . .

укажите номер.

7. Допишите массовые числа, которые не указаны в уравнении ядерной реакции



8. Ядро захватывает позитрон. Из перечисленных в таблице утверждений выберите правильное.

заряд ядра	массовое число	масса ядра
увеличился	увеличилось	увеличилась
уменьшился	уменьшилось	уменьшилась
не изменился	не изменилось	не изменилась

Ненужное зачеркнуть.

9. Какая частица должна вылететь из атомного ядра, чтобы порядковый номер химического элемента увеличился на единицу?

- 1) α -частица; 2) протон;
3) нейтрон; 4) электрон.

Правильный ответ . . .

укажите номер

10. Атомное ядро поглощает α -частицу. Зарядовое число ядра:

- 1) уменьшается на 2;
2) увеличивается на 2;
3) уменьшается на 4;
4) увеличивается на 4;
5) не изменяется.

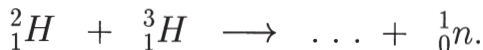
Правильный ответ . . .

укажите номер

11. Допишите уравнение ядерной реакции



12. Допишите ядерную реакцию



13. При бомбардировке ядра ${}_4^9\text{Be}$ ядром дейтерия образуется ядро ${}_5^{10}\text{B}$. Напишите уравнение ядерной реакции.

14. При бомбардировке ядра некоторого изотопа протоном образуется ядро ${}_{11}^{22}\text{Na}$ и альфа-частица. Напишите ядерную реакцию.

Тесты для самостоятельного решения

Методические указания к выполнению экзаменационной работы по физике:

1. Задания части **А** оцениваются только по чистовику.
2. При выполнении экзаменационной работы требуется обязательно привести в черновике решение заданий части **В**.
3. Возможные оценки заданий части **А** – 0; 1 балл.
Возможные оценки заданий части **В** – 0; 1; 2 балла.

Вариант № 1

Часть А

А1. Движение материальной точки вдоль оси x описывается уравнением

$$x(t) = 2 + 2t - 2t^2.$$

Проекция скорости на ось x описывается уравнением:

- 1) $V_x(t) = 2 - 2t$; 2) $V_x(t) = 2 - 4t$; 3) $V_x(t) = -2 + 2t$; 4) $V_x(t) = -2 + 4t$.

Правильный ответ . . .

укажите номер

А2. Тело массой 1 кг, двигаясь прямолинейно и равноускоренно, увеличило свою скорость с 10 м/с до 20 м/с за время 2 с. Величина результирующей силы, действующей на тело, равна:

- 1) 5 Н; 2) 10 Н; 3) 7,5 Н; 4) 15 Н; 5) 30 Н.

Правильный ответ . . .

укажите номер

А3. Давление идеального газа вычисляется по формуле:

- 1) $p = \frac{3}{2}nkT$; 2) $p = \frac{2}{3}nkT$; 3) $p = nkT$; 4) $p = \frac{3}{2}kT$; 5) $p = \frac{1}{2}kT$.

Правильный ответ . . .

укажите номер

А4. При адиабатическом расширении идеального газа его температура:

- 1) увеличивается;
2) не изменяется;
3) уменьшается.

Правильный ответ . . .

укажите номер

А5. Если в некоторую точку электрического поля поместить точечный заряд q_1 , то его потенциальная энергия будет равна W_1 . Если в эту же точку поместить точечный заряд q_2 , то его потенциальная энергия будет равна:

1) $W_2 = W_1 \frac{q_1}{q_2}$; 2) $W_2 = W_1 \frac{q_2}{q_1}$; 3) $W_2 = W_1 \sqrt{\frac{q_1}{q_2}}$; 4) $W_2 = W_1 \sqrt{\frac{q_2}{q_1}}$.

Правильный ответ . . .
укажите номер

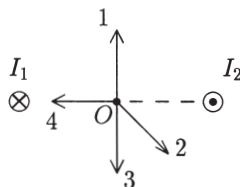
А6. По проводнику с сопротивлением R за время t прошел заряд q . Падение напряжения на проводнике равно:

1) $U = qRt$; 2) $U = q^2 Rt$; 3) $U = \frac{qt}{R}$; 4) $U = \frac{qR}{t}$; 5) $U = qRt^2$.

Правильный ответ . . .
укажите номер

А7. Направление результирующего вектора индукции магнитного поля $\vec{B}$, созданного двумя параллельными бесконечными проводниками с токами $I_1 = I_2$ в точке O , совпадает с направлением вектора . . .

укажите номер

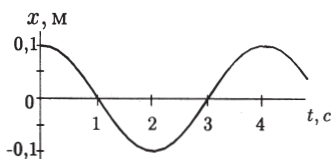


А8. Приведены уравнения четырех гармонических колебаний $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, $x_4(t)$.

1. $x_1(t) = 0,1 \cos(\pi t - \frac{\pi}{2})$;
2. $x_2(t) = 0,1 \sin(0,5\pi t + \frac{\pi}{2})$;
3. $x_3(t) = 0,1 \cos(\frac{3}{2}\pi t + \frac{\pi}{2})$;
4. $x_4(t) = -0,1 \cos(\pi t)$.

График колебаний, представленный на рисунке, соответствует уравнению . . .

укажите номер



А9. Волна распространяется в однородной среде. Какое из перечисленных действий приведет к уменьшению длины волны?

1. Увеличение амплитуды колебаний источника.
2. Увеличение периода колебаний источника.
3. Увеличение частоты колебаний источника.

Правильный ответ . . .
укажите номер

- A10. Из ядра вылетает протон. Порядковый номер химического элемента:
1. Увеличивается.
 2. Уменьшается.
 3. Не изменяется.

Правильный ответ . . .
укажите номер

Часть В

B1. Две частицы равномерно движутся в плоскости xoy . Проекции векторов скоростей частиц имеют значения

$$V_{1x} = 8 \text{ м/с}, \quad V_{1y} = 0;$$

$$V_{2x} = 0, \quad V_{2y} = 6 \text{ м/с}.$$

Относительная скорость частиц (по модулю) равна . . .

численное значение

B2. Шар массой m , подвешенный на нити длиной l , приведен во вращение в вертикальной плоскости. Период вращения T .

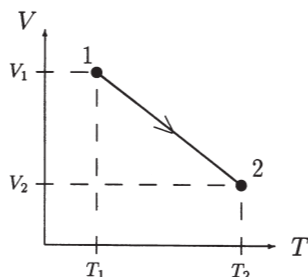
Сила натяжения нити в нижней точке траектории $F_n = \dots$

выразить через заданные величины

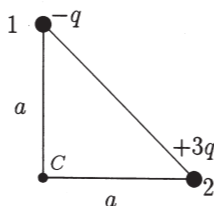
B3. На рисунке показан процесс, совершаемый идеальным газом. Количество теплоты, подведенное к газу, равно Q .

Работа одного моля газа $A = \dots$

выразить через заданные величины



B4. Два точечных заряда расположены в вершинах прямоугольного треугольника. Изобразите в масштабе векторы напряженностей электрических полей и их равнодействующую в точке C .



В5. Имеется отключенный от источника плоский воздушный конденсатор. Емкость конденсатора $C = 1 \cdot 10^{-11}$ Ф. Заряд конденсатора $q = 1 \cdot 10^{-10}$ Кл. Конденсатор помещают в жидкий диэлектрик ($\epsilon = 10$). Напряжение на конденсаторе стало равным . . .

численное значение

В6. Две последовательно соединенные электрические лампы с сопротивлениями R_1 и R_2 присоединены к источнику тока с внутренним сопротивлением r . Напряжение на второй лампе равно U_2 .

ЭДС источника тока $\mathcal{E} = \dots$

выразить через заданные величины

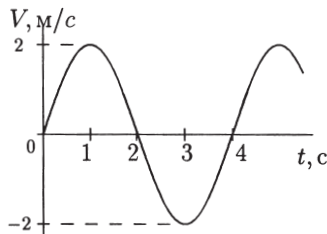
В7. На рисунке изображены поперечные сечения двух бесконечных прямолинейных проводников, по которым текут токи I . Укажите направление вектора силы, действующей на второй проводник.

1 $\odot I$

2 $\otimes I$

В8. На графике представлена зависимость скорости маятника от времени. Смещение маятника в момент времени $t = 3$ с равно . . .

численное значение



В9. При переходе звуковой волны из одной среды в другую ее скорость уменьшается в два раза. Длина волны в первой среде равна 1 м.

Длина волны во второй среде равна . . .

численное значение

В10. Период дифракционной решетки равен $3 \cdot 10^{-6}$ м. Длина волны падающего на решетку света равна $5 \cdot 10^{-7}$ м.

Максимум третьего порядка наблюдается под углом равным . . .

численное значение

Вариант № 2

Часть А

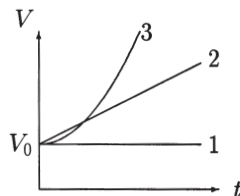
А1. Проекция скорости материальной точки, движущейся вдоль оси x , описывается уравнением $V_x(t) = 4 - 2t$.

Начальная координата $x_0 = 4$ м. Координата x материальной точки описывается уравнением:

- 1) $x(t) = 4 + 4t - 2t^2$; 2) $x(t) = 4 + 4t - 4t^2$; 3) $x(t) = 4 + 4t - t^2$; 4) $x(t) = 4 - 4t - 2t^2$.

Правильный ответ . . .
укажите номер

А2. Тело движется под действием постоянной силы.



Номер графика, соответствующего этому движению: 1; 2; 3.

Правильный ответ . . .
укажите номер

А3. Уравнение состояния идеального газа:

- 1) $pV = mMR T$; 2) $pV = \frac{M}{m}RT$; 3) $pV = \frac{m}{M}RT$; 4) $pV = nkT$; 5) $pV = \frac{3}{2}kT$.

Правильный ответ . . .
укажите номер

А4. При адиабатическом нагревании идеального газа его объём:

- 1) увеличивается;
2) не изменяется;
3) уменьшается.

Правильный ответ . . .
укажите номер

А5. Имеются два конденсатора. Первый конденсатор емкостью C_1 заряжен до напряжения U_1 . Если второму конденсатору сообщить такой же заряд, как и первому, то напряжение на нем будет равно U_2 .

Емкость второго конденсатора равна:

$$1) C_2 = C_1 \frac{U_2}{U_1}; \quad 2) C_2 = C_1 \frac{U_1}{U_2}; \quad 3) C_2 = C_1 \frac{U_2 - U_1}{U_2}; \quad 4) C_2 = C_1 \frac{U_2}{U_2 - U_1}.$$

Правильный ответ . . .

укажите номер

А6. На резисторе сопротивлением R за время t выделяется количество теплоты Q . За время t через проводник протекает заряд, равный:

$$1) q = \sqrt{\frac{QR}{t}}; \quad 2) q = R\sqrt{\frac{Q}{t}}; \quad 3) q = t\sqrt{\frac{Q}{R}}; \quad 4) q = \sqrt{\frac{Qt}{R}}.$$

Правильный ответ . . .

укажите номер

А7. По соленоиду течет ток I . Ориентация магнитной стрелки относительно соленоида показана на рисунке. Укажите направление тока в соленоиде.



А8. В колебательном контуре зависимость напряжения на обкладках конденсатора от времени описывается уравнением

$$U = 100 \cos(5\pi \cdot 10^3 t) \text{ В.}$$

Период колебаний равен:

$$1) 5\pi \cdot 10^3 \text{ с}; \quad 2) 5\pi \cdot 10^{-3} \text{ с}; \quad 3) 0,4 \cdot 10^3 \text{ с}; \quad 4) 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Правильный ответ . . .

укажите номер

А9. Импульс фотона увеличивается. К этому приводит:

1. Увеличение частоты.

2. Уменьшение частоты.

3. Увеличение длины волны.

Правильный ответ . . .

укажите номер

A10. Ядро испускает γ -квант. Массовое число элемента:

1. Увеличивается.
2. Уменьшается.
3. Не изменяется.

Правильный ответ . . .

Укажите номер.

Часть В

B1. Груз массой m поднимают на высоту h с постоянным ускорением a .

Работа, совершаемая при перемещении, $A = \dots$

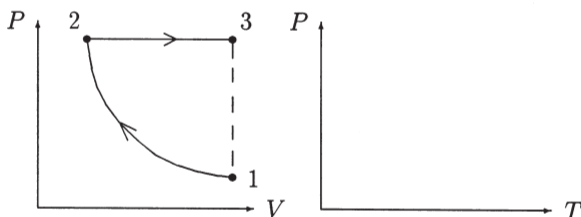
выразить через заданные величины

B2. Автомобиль массой $1 \cdot 10^4$ кг движется по выпуклому мосту со скоростью 10 м/с. Вес автомобиля в верхней точке моста равен $50 \cdot 10^3$ Н.

Радиус кривизны моста равен . .

численное значение

B3. На рисунке изображен график некоторого процесса в осях PV для идеального газа. Изобразите график этого процесса в осях PT .

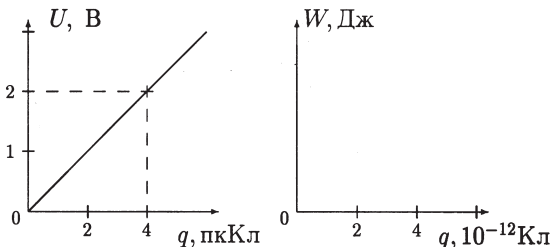


B4. Чтобы получить из снега массой m_1 , взятого при температуре плавления T_1 , воду температурой T_2 сожгли некоторое количество дров с удельной теплотой сгорания q . Удельная теплоемкость воды c , удельная теплота плавления льда λ .

Масса сгоревших дров $m = \dots$

выразить через заданные величины

В5. Дан график зависимости напряжения на конденсаторе от его заряда. Построить график зависимости энергии поля конденсатора от величины заряда.



В6. К источнику тока присоединены реостат и амперметр для измерения тока, протекающего через реостат. При сопротивлении реостата 10 Ом показание амперметра 4 А. При сопротивлении реостата 30 Ом показание амперметра 2 А. ЭДС источника тока равна . . .

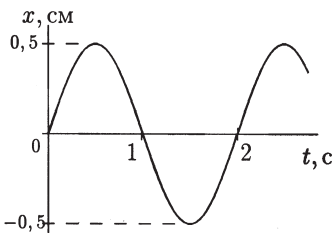
численное значение

В7. Электрон влетает в однородное магнитное поле индукцией $B = 0,001$ Тл перпендикулярно линиям индукции со скоростью $4 \cdot 10^7$ м/с. Масса и заряд электрона: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Центробежное ускорение электрона равно . . .

численное значение

В8. На графике представлена зависимость смещения маятника от времени. Скорость маятника в момент времени $t = 1$ с равна . . .

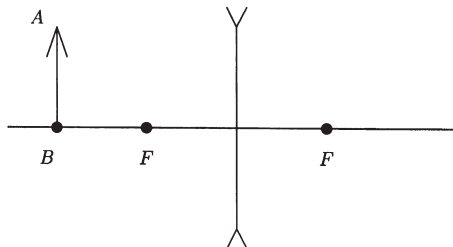
численное значение



В9. Звуковая волна определенной частоты за одно и то же время распространяется в первой среде на расстояние 1 м, во второй – на расстояние 3 м. Отношение длин волн в средах $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ равно . . .

численное значение

В10. Постройте изображение предмета AB , находящегося на расстоянии $a = 2F$ перед рассеивающей линзой.

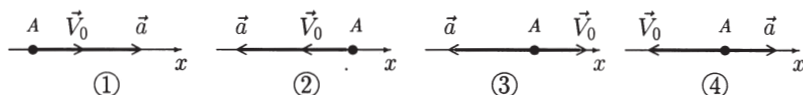


Вариант № 3

Часть А

А1. На рисунках 1 – 4 показаны векторы скорости в начальный момент времени и векторы ускорения материальной точки.

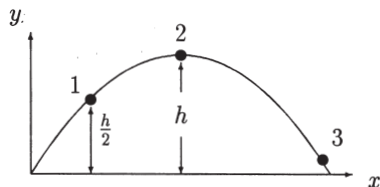
$|\vec{V}_0| = 2 \text{ м/с}$, $|\vec{a}| = 6 \text{ м/с}^2$.



Зависимости $x(t) = 2t - 3t^2$ соответствует рисунок . . .
укажите номер

А2. На рисунке представлена траектория движения тела, брошенного под углом к горизонту. Импульс тела имеет максимальное значение в точке . . .

укажите номер



А3. Из приведенных ниже утверждений выберите правильное.

Произведение PV :

1. . . . при изотермическом сжатии уменьшается.
2. . . . при изохорическом нагревании увеличивается.
3. . . . при изотермическом расширении увеличивается.
4. . . . при изобарическом сжатии увеличивается.

Правильный ответ . . .

укажите номер.

А4. При изобарическом охлаждении работа идеального газа:

- 1) $A > 0$;
- 2) $A < 0$;
- 3) $A = 0$.

Правильный ответ . . .

укажите номер

А5. Два точечных заряда q_1 и q_2 ($|q_1| = |q_2|$) удалены на расстояния R_1 и R_2 от точечного заряда Q и действуют на него с силами F_1 и F_2 ($|F_1| < |F_2|$). Какое из перечисленных действий может привести к равенству модулей сил?

1. Увеличение заряда Q .
2. Увеличение заряда q_2 .
3. Увеличение расстояния R_2 .

Укажите номер правильного ответа . . .

А6. Две последовательно соединенные электрические лампы с сопротивлениями R_1 и R_2 включены в электрическую сеть. Напряжение на второй лампе равно U_2 .

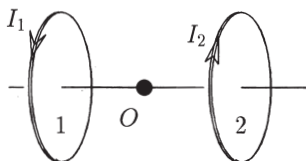
Напряжение в электрической сети равно:

$$1) U = \frac{U_2 R_2}{R_1 + R_2}; \quad 2) U = \frac{U_2 R_1}{R_1 + R_2}; \quad 3) U = \frac{U_2 (R_1 + R_2)}{R_2}; \quad 4) U = \frac{U_2 (R_1 + R_2)}{R_1}.$$

Правильный ответ . . .

укажите номер

А7. Магнитное поле создано двумя круговыми токами I_1 и I_2 , равными по величине. Изобразите векторы магнитной индукции полей, созданных этими токами, в точке O , лежащей посередине между витками.



А8. Период собственных колебаний пружинного маятника равен 2 с. После увеличения массы груза в 4 раза период собственных колебаний станет равным:

- 1) 0,5 с; 2) 1 с; 3) 4 с; 4) 8 с.

Правильный ответ . . .

укажите номер

А9. На дифракционную решетку падает монохроматический свет с длиной волны λ . Максимум третьего порядка наблюдается под углом α . Период решетки равен:

$$1) \lambda/3; \quad 2) 3\lambda; \quad 3) 3\lambda \sin \alpha; \quad 4) \frac{3\lambda}{\sin \alpha}.$$

Правильный ответ . . .

укажите номер

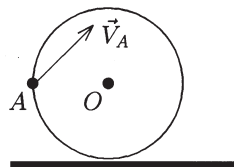
A10. В результате ядерной реакции заряд ядра уменьшился. Из предложенных ниже утверждений выберите правильное.

1. Ядро испустило γ -квант.
2. Ядро испустило нейтрон.
3. Ядро испустило протон.

Правильный ответ . . .
укажите номер.

Часть В

B1. Диск без проскальзывания катится по горизонтальной поверхности. Скорость точки A диска относительно поверхности равна V_A . Точка диска O относительно поверхности движется со скоростью $V_O = . .$



выразить через заданные величины

B2. Тело массой m свободно падает с высоты h_1 .

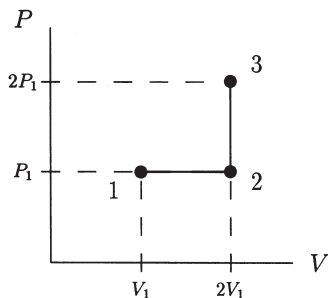
На высоте h_2 кинетическая энергия этого тела $E_k = . . .$

выразить через заданные величины

B3. Идеальный одноатомный газ переведен из состояния 1 в состояние 3 как показано на рисунке. Отношение внутренних энергий

газа $\frac{U_3}{U_1}$ равно. . .

численное значение



B4. В цикле Карно газ получил от нагревателя $4,0 \cdot 10^4$ Дж тепла и совершил работу $2,7 \cdot 10^4$ Дж. Отношение температуры нагревателя к температуре холодильника равно . . .

численное значение

В5. Электрический заряд $q = -2 \cdot 10^{-16}$ Кл перемещается в электрическом поле из точки A в точку B . Кинетическая энергия заряда в точке A равна 10^{-16} Дж, в точке $B - 2 \cdot 10^{-16}$ Дж.

Разность потенциалов точек $\varphi_A - \varphi_B = \dots$

численное значение

В6. При замыкании источника тока на сопротивление R_1 в цепи идет ток I_1 , а при замыкании на сопротивление R_2 идет ток I_2 .

Внутреннее сопротивление источника тока $r = \dots$

выразить через заданные величины

В7. Электрон влетает в однородное магнитное поле индукцией $B = 1 \cdot 10^{-2}$ Тл перпендикулярно линиям индукции. Центробежное ускорение протона равно $0,2 \cdot 10^{16}$ м/с².

Масса и заряд электрона: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

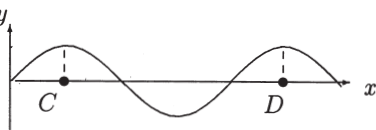
Скорость электрона равна $\dots$

численное значение

В8. Материальная точка совершает гармонические колебания с амплитудой $A = 3$ см и частотой $\nu = 2,5$ Гц. В начальный момент времени смещение точки от положения равновесия равно 1,5 см. Запишите уравнение гармонических колебаний, используя функцию косинуса

$$x(t) = \dots$$

В9. На рисунке изображен график поперечной волны. Скорость волны равна 2000 м/с, частота $\nu = 500$ Гц. Расстояние между точками C и D равно $\dots$



численное значение

В10. При освещении вакуумного фотоэлемента наблюдается явление фотоэффекта. При увеличении интенсивности света в два раза максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов $\dots$

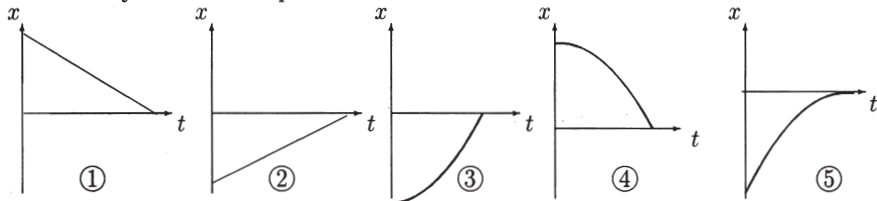
увеличится, уменьшится, не изменится

Вариант № 4

Часть А

А1. Зависимость координаты от времени при равнозамедленном движении изображена на графике . . .

укажите номер



А2. Движение материальной точки вдоль оси x описывается уравнением

$$x(t) = 4 - 2t - t^2 \text{ (м)}.$$

В момент времени $t = 1$ с проекция скорости на ось x равна:

- 1) 2 м/с; 2) - 2 м/с; 3) 4 м/с; 4) - 4 м/с; 5) 0.

Правильный ответ . . .

укажите номер

А3. Лифт движется вертикально вверх с ускорением 2 м/с².

Вес пассажира при этом равен 600 Н.

Масса пассажира равна:

- 1) 30 кг; 2) 50 кг; 3) 60 кг; 4) 75 кг; 5) 100 кг.

Правильный ответ . . .

укажите номер

А4. Неупругий шарик массой m , обладающий кинетической энергией E , сталкивается с неподвижным неупругим шариком массой $2m$.

Скорость шариков после соударения равна:

- 1) $3\sqrt{\frac{E}{m}}$; 2) $\sqrt{2\frac{E}{m}}$; 3) $\sqrt{\frac{E}{m}}$; 4) $\frac{1}{3}\sqrt{2\frac{E}{m}}$; 5) 0.

Правильный ответ . . .

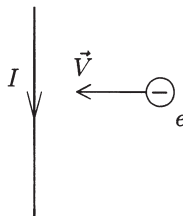
укажите номер

А5. Мяч массой m бросили вертикально вверх со скоростью V_0 . На высоте, равной половине от максимальной, потенциальная энергия мяча равна:

- 1) $\frac{mV_0^2}{2}$; 2) $\frac{mV_0^2}{4}$; 3) $\frac{mV_0^2}{8}$; 4) $\frac{mV_0^2}{16}$; 5) $\frac{mV_0^2}{32}$.

Правильный ответ . . .
укажите номер

А6. Электрон движется со скоростью $\vec{V}$ к прямому проводнику, по которому течет ток I . Укажите вектор силы Лоренца, действующей на электрон.



А7. Какое из перечисленных ниже действий приведет к уменьшению частоты колебаний математического маятника?

1. Увеличение массы маятника.
2. Уменьшение амплитуды колебаний.
3. Увеличение длины подвеса.

Правильный ответ . . .
укажите номер

А8. Два пружинных маятника совершают колебания с периодами T_1 и T_2 . ($T_1 < T_2$). Какое из перечисленных действий приведет к равенству периодов колебаний?

1. Увеличение коэффициента жесткости пружины первого маятника.
2. Увеличение массы второго маятника.
3. Уменьшение массы первого маятника.
4. Увеличение массы первого маятника.

Правильный ответ . . .
укажите номер

А9. Изображение предмета находится на расстоянии f от рассеивающей линзы с фокусным расстоянием F .

Если $f < F$ то, полученное изображение:

действительное	прямое	увеличенное
мнимое	обратное	уменьшенное

неправильное зачеркнуть

A10. Какую частицу необходимо добавить в атомное ядро, чтобы превратить его в более тяжелое ядро того же химического элемента?

- 1) α -частицу; 2) протон;
3) нейтрон; 4) электрон.

Правильный ответ . . .
укажите номер

Часть В

B1. Из ружья массой 5 кг вылетает пуля массой $2 \cdot 10^{-3}$ кг, со скоростью 500 м/с.

Скорость отдачи ружья равна . . .
численное значение

B2. Шарик массой 200 г падает на горизонтальную плиту. Скорость шарика в момент удара 10 м/с. В результате удара он отскакивает от плиты, поднимаясь на высоту 3,2 м. Модуль изменения импульса шарика в результате удара равен . . .

численное значение

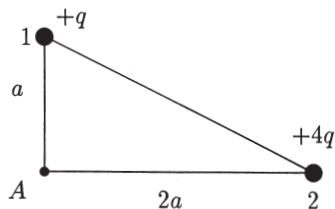
B3. На велосипеде установлен двигатель мощностью 8000 Вт. Коэффициент полезного действия двигателя равен 0,2. При движении велосипеда в течение 30 минут расход бензина составил 1,5 кг.

Удельная теплота сгорания бензина равна . . .

численное значение

B4. Два точечных заряда расположены в вершинах прямоугольного треугольника.

Изобразите в масштабе векторы напряженностей электрических полей и их равнодействующую в точке А.



В5. Две электрические лампы соединены последовательно и включены в сеть с напряжением $U = 120 \text{ В}$. Падение напряжения на первой лампе $U_1 = 20 \text{ В}$, ток в цепи $I = 5 \text{ А}$.

Сопротивление второй лампы равно . . .
численное значение

В6. Две последовательно соединенные электрические лампы с сопротивлениями R_1 и R_2 присоединены к источнику тока с ЭДС, равной $\mathcal{E}$. Напряжение на второй лампе равно U_2 .

Внутреннее сопротивление источника тока $r = \dots$
выразить через заданные величины

В7. Заряженная частица движется в однородном магнитном поле по окружности. Как изменится радиус траектории движения частицы при увеличении ее скорости в два раза?

1. Уменьшится в 4 раза.
2. Уменьшится в 2 раза.
3. Не изменится.
4. Увеличится в 2 раза.
5. Увеличится в 4 раза.

Правильный ответ . . .

укажите номер

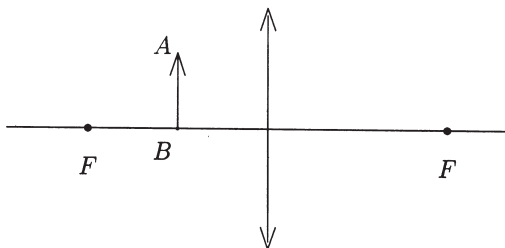
В8. Энергия колебаний пружинного маятника равна W . За время t груз маятника переместился из крайнего положения в положение равновесия, пройдя путь равный A .

масса груза маятника $m = \dots$
выразить через заданные величины

В9. При переходе звуковой волны из одной среды в другую длина волны изменяется со значения 2 м в первой среде на значение 0,5 м во второй среде. Скорость распространения волны в первой среде 1000 м/с.

Скорость распространения волны во второй среде равна . . .
численное значение

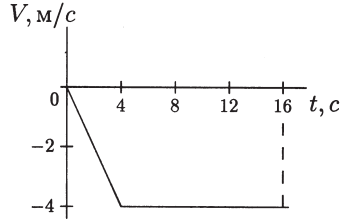
В10. Постройте изображение предмета AB , находящегося на расстоянии $a = F/2$ перед собирающей линзой.



Вариант № 5

Часть А

А1. На рисунке приведен график зависимости скорости тела V от времени. Путь пройденный телом за 16 с равен:



- 1) 16 м; 2) 32 м; 3) 56 м; 4) 64 м.

Правильный ответ . . .
укажите номер

А2. Движение тела массой 5 кг описывается уравнением

$$x = At + Bt^2 \text{ (м)}, \text{ где } A = 4 \text{ м/с}; \quad B = 3 \text{ м/с}^2.$$

Импульс тела в момент времени $t = 2$ с равен:

- 1) $120 \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$; 2) $80 \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$; 3) $40 \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$; 4) $20 \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$.

Правильный ответ . . .
укажите номер

А3. В сосуде объемом V находится N молекул идеального газа. Температура газа T . Давление газа на стенки сосуда может быть выражено формулой:

- 1) $p = \frac{kT}{NV}$; 2) $p = \frac{kV}{NT}$; 3) $p = \frac{NkT}{V}$; 4) $p = \frac{NkV}{T}$; 5) $p = \frac{V}{NkT}$.

Правильный ответ . . .
укажите номер

А4. При изобарическом сжатии внутренняя энергия идеального газа:

- 1) увеличивается;
2) не изменяется;
3) уменьшается;

Правильный ответ . . .
укажите номер

A5. Напряженность электрического поля на расстоянии 8 см от точечного заряда равна 160 В/м. Расстояние, на котором напряженность поля равна 10 В/м, равно:

- 1) 0,5 см; 2) 4 см; 3) 16 см; 4) 32 см; 5) 64 см.

Правильный ответ . . .

укажите номер

A6. Электрокипятильник состоит из двух параллельно соединенных спиралей сопротивлением R каждая. При включении в сеть с напряжением U за время t кипятильник выделяет количество тепла, равное:

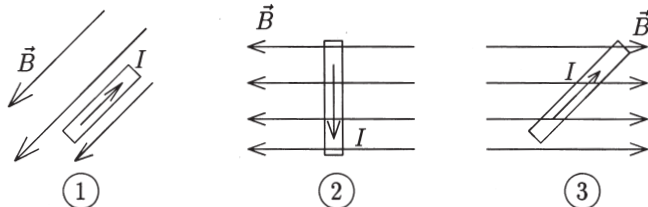
- 1) $Q = 2\frac{U}{R}t$; 2) $Q = 2U^2Rt$; 3) $Q = 2\frac{U^2}{R}t$; 4) $Q = 2URt^2$; 5) $Q = 2\frac{U}{R}t^2$.

Правильный ответ . . .

укажите номер

A7. В однородное магнитное поле помещены отрезки проводников одинаковой длины, по которым протекает одинаковый ток I . Сила Ампера, действующая на отрезок проводника, минимальна в случае . . .

укажите номер правильного ответа



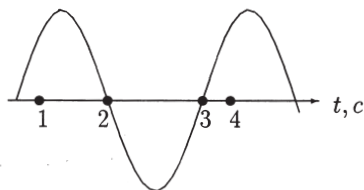
A8. Колебание точки описывается уравнением $x(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$.

Начальная фаза равна π .

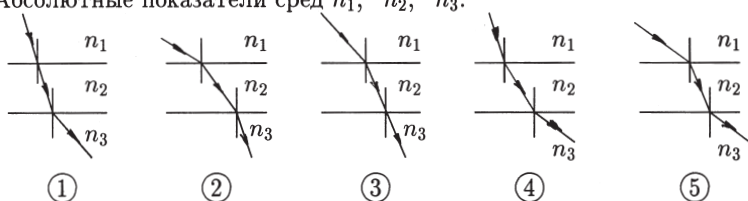
Начальному моменту времени соответствует точка: 1; 2; 3; 4.

Правильный ответ . . .

укажите номер



A9. На рисунках изображен ход лучей через границы раздела трех сред. Абсолютные показатели сред n_1 , n_2 , n_3 .



Соотношения $n_1 > n_2$; $n_2 > n_3$ справедливы для хода лучей на рисунке . . .
укажите номер

A10. Количество нейтронов в ядре лития ${}^7_3\text{Li}$ равно:

- 1) 7; 2) 3; 3) 4; 4) 10.

Правильный ответ . . .
укажите номер

Часть В

B1. Из состояния покоя ракета начинает движение с ускорением a и к некоторому моменту времени приобрела скорость V . За это время ракета пролетела расстояние $S = \dots$
выразить через заданные величины

B2. Кинетическая энергия тела массой m в момент бросания вертикально вверх с высоты h_1 равна E_k . Высота, считая от поверхности Земли на которую может подняться тело, $h = \dots$
выразить через заданные величины

B3. Средняя квадратичная скорость молекул газа равна $V_{\text{кв}}$. Молярная масса газа M . Средняя энергия молекул газа $E_{\text{ср}} = \dots$
выразить через заданные величины

B4. Частица массой m и зарядом $-2q$, равномерно движется по круговой орбите радиусом R вокруг неподвижной частицы с зарядом $+2q$. Скорость движения частицы $V = \dots$
выразить через заданные величины

В5. Точечный электрический заряд Q перемещается в однородном электрическом поле на расстояние d по прямой линии под углом α к силовым линиям. При этом совершается работа равная A .

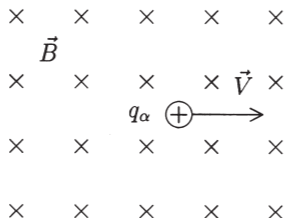
Напряженность электрического поля $E = \dots$

выразить через заданные величины

В6. В электроплите, включенной в сеть с постоянным напряжением, имеются две последовательно соединенных конфорки с сопротивлениями $R_1 = 60$ Ом и $R_2 = 180$ Ом. Чайник, поставленный на первую конфорку, закипает за время t_1 . Чайник, поставленный на вторую конфорку, закипает за время t_2 .

Отношение времен $\frac{t_1}{t_2} = \dots$ (численное значение)

В7. В однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$ движется α -частица со скоростью $\vec{V}$, направленной перпендикулярно силовым линиям индукции. Изобразите траекторию движения α -частицы.



В8. Скорость тела, совершающего гармонические колебания, изменяется по закону $V(t) = 6 \cdot 10^{-2} \sin(100t)$ м/с.

Запишите уравнение гармонических колебаний

$$x(t) = \dots$$

В9. Волны распространяются со скоростью 10 м/с. Частота колебаний источника волн равна 5 Гц. Расстояние между двумя точками среды с разностью фаз колебаний $\frac{1}{2}\pi$ равно $\dots$

численное значение

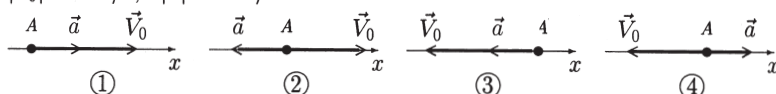
В10. Длина волны синего света равна $4,8 \cdot 10^{-7}$ м, красного – $6,7 \cdot 10^{-7}$ м. Отношение энергии фотона синего света к энергии фотона красного света равно $\dots$

численное значение

Часть А

А1. На рисунках 1 – 4 показаны векторы скорости в начальный момент времени и векторы ускорения материальной точки А:

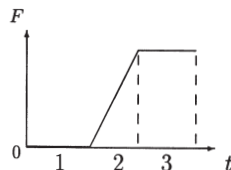
$$|\vec{V}_0| = 2 \text{ м/с}, \quad |\vec{a}| = 4 \text{ м/с}^2.$$



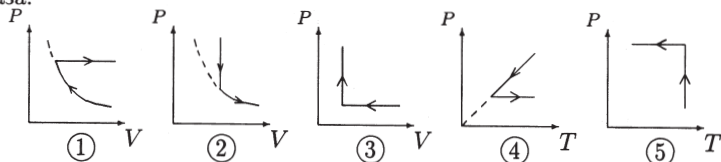
Зависимости $x(t) = -2t - 2t^2$ соответствует рисунок . . .
укажите номер

А2. На рисунке приведена зависимость действующей на тело силы от времени $F(t)$.
Укажите промежуток времени, в течение которого тело движется равномерно . . .

номер промежутка



А3. На рисунках изображены графики изопроцессов для идеального газа.



Изобарическому сжатию и изохорическому нагреванию соответствует рисунок . . .

укажите номер рисунка

А4. Два точечных заряда q_1 и q_2 одинаково удалены ($R_1 = R_2$) от точечного заряда Q и действуют на него с силами F_1 и F_2 ($|F_1| > |F_2|$).
Какое из перечисленных действий может привести к равенству модулей сил?

1. Увеличение заряда Q .
2. Увеличение расстояния R_1 .
3. Увеличение расстояния R_2 .

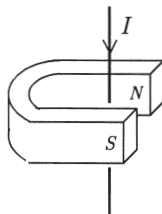
Укажите номер правильного ответа . . .

A5. К проводнику с площадью поперечного сечения S и длиной l приложена разность потенциалов. За время t по проводнику прошел заряд q . Для увеличения q необходимо изменить величины S , l и t следующим образом:

S	l	t
увеличить	увеличить	увеличить
уменьшить	уменьшить	уменьшить

ненужное зачеркнуть

A6. Прямолинейный проводник с током I расположен между полюсами постоянного магнита. Изобразите вектор силы, действующей на проводник.

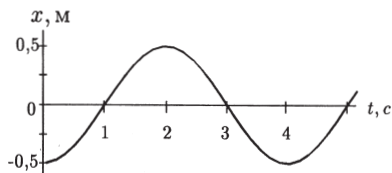


A7. Приведены уравнения четырех гармонических колебаний $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, $x_4(t)$.

1. $x_1(t) = -0,5 \cos(2\pi t)$;
2. $x_2(t) = 0,5 \sin(\pi t - \frac{\pi}{2})$;
3. $x_3(t) = 0,5 \cos(\pi t - \pi)$;
4. $x_4(t) = 0,5 \cos(0,5\pi t + \pi)$.

График колебаний, представленный на рисунке, соответствует уравнению . . .

укажите номер



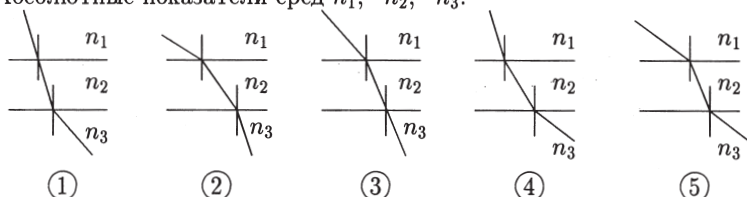
A8. При переходе электромагнитной волны из одной среды в другую скорость волны увеличилась в два раза. Период колебаний электромагнитной волны:

- 1) увеличился в два раза,
- 2) не изменился,
- 3) уменьшился в два раза.

Правильный ответ . . .

укажите номер.

А9. На рисунках изображен ход лучей через границы раздела трех сред. Абсолютные показатели сред n_1 , n_2 , n_3 .



Соотношения $n_1 > n_2$; $n_2 > n_3$ справедливы для хода лучей на рисунке . . .
укажите номер

А10. Атомное ядро поглощает α -частицу. Зарядовое число ядра:

- 1) уменьшается на 2;
- 2) увеличивается на 2;
- 3) уменьшается на 4;
- 4) увеличивается на 4;
- 5) не изменяется.

Правильный ответ . . .
укажите номер

Часть В

В1. Две частицы равномерно движутся в плоскости xoy . Проекции векторов скоростей частиц имеют значения

$$V_{1x} = 0, \quad V_{1y} = -4 \text{ м/с}; \quad V_{2x} = 3 \text{ м/с}, \quad V_{2y} = 0.$$

Относительная скорость частиц (по модулю) равна . . .

численное значение

В2. Масса ружья в 100 раз больше массы заряда. Отношение кинетической энергии вылетающей при выстреле дроби (вместе с пороховыми газами) к кинетической энергии ружья равно . . .

численное значение

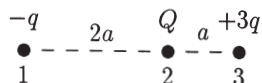
В3. В цикле Карно количество теплоты, отданное холодильнику, равно Q . Температура газа при адиабатическом расширении уменьшилась в 2 раза. Работа газа за один цикл $A = \dots$

выразить через заданные величины

В4. Три точечных электрических заряда расположены на одной линии. Сила, действующая на первый заряд, равна нулю.

Величина заряда $Q = \dots$

выразить через заданные величины



Заряды 1 и 3 известны

В5. К аккумулятору подключены три одинаковые лампочки, соединенные параллельно. Сопротивление каждой лампочки в три раза больше внутреннего сопротивления аккумулятора. Если одна из ламп перегорит, то ток в цепи аккумулятора уменьшится в . . . раз.

численное значение

В6. В вертикальном однородном магнитном поле горизонтально подвешен отрезок проводника, по которому течет ток $I = 1$ А. Длина проводника $l = 0,5$ м, масса $m = 0,05$ кг. Ускорение, которое получает проводник с током в начале движения, равно 4 м/с^2 .

Магнитная индукция поля равна . . .

численное значение

В7. α -частица движется в однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции по окружности радиусом $2 \cdot 10^{-2}$ м. Индукция магнитного поля $3,3 \cdot 10^{-3}$ Тл;

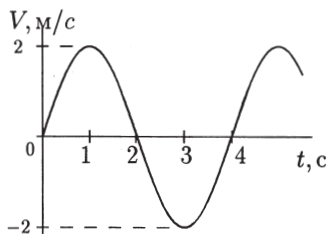
масса и заряд α -частицы $m_\alpha = 6,6 \cdot 10^{-27}$ кг, $q_\alpha = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Скорость α -частицы равна . . .

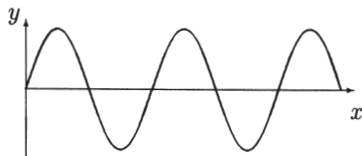
численное значение

В8. На графике представлена зависимость скорости маятника от времени. Смещение маятника в момент времени $t = 3$ равно . . .

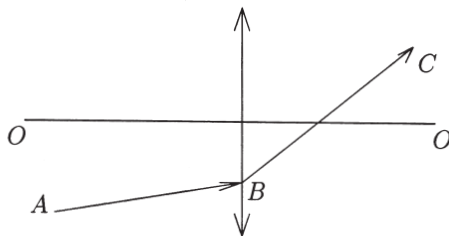
численное значение



В9. На рисунке представлен график поперечной волны, распространяющейся вдоль оси x . Изобразите график волны, распространяющейся с такой же скоростью и имеющей ту же амплитуду, но у которой значение частоты в два раза меньше.



В10. На рисунке изображен ход луча AB , прошедшего через линзу. Построением найдите положение главных фокусов линзы.

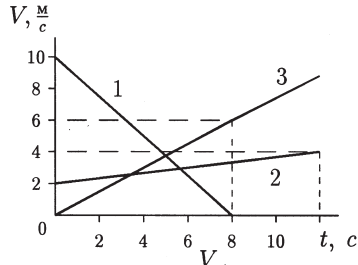


Вариант № 7

Часть А

A1. Из графиков, представленных на рисунке, движению с максимальным по модулю ускорением при одинаковых направлениях векторов скорости и ускорения соответствует график . . .

укажите номер



балл

A2. Зависимость от времени модуля скорости тела, движущегося прямолинейно, представлена на рис.1. Укажите, какой из графиков, приведенных на рис.2, выражает зависимость от времени равнодействующей силы F

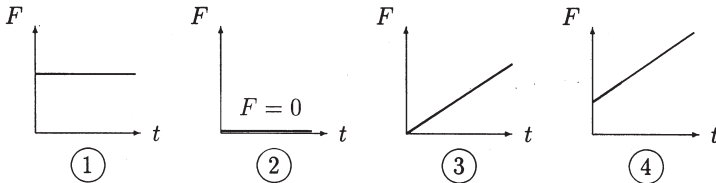
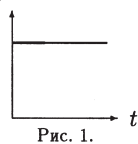


Рис. 2.

номер графика . . .

A3. Выберите из приведенных ниже выражений уравнение изохорического процесса. ($\frac{m}{M} = 1$ моль)

- 1) $P_1 V_1 = P_2 V_2$; 3) $V_1 T_2 = V_2 T_1$;
2) $P_1 T_2 = P_2 T_1$; 4) $PV = RT$;

правильный ответ . . .

укажите номер

A4. Заряд $+q$ перемещается из точки A в точку B электрического поля заряда $+Q$. Из перечисленных утверждений выбрать правильное:

1. Работа электрического поля равна нулю.
2. Работа электрического поля положительная.
3. Работа электрического поля отрицательная.

Правильный ответ . . .

укажите номер



А5. Удельное сопротивление проводника ρ , площадь поперечного сечения проводника S , длина проводника l . Какое из перечисленных ниже действий приводит к уменьшению сопротивления проводника?

1. Увеличение ρ .

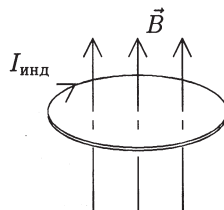
2. Увеличение S .

3. Увеличение l .

Правильный ответ . . .

укажите номер

А6. Проводящее кольцо помещено в однородное магнитное поле индукцией $\vec{B}$. В кольце возникает индукционный ток указанного направления. Из приведенных ниже выражений выберите ответ, соответствующий данному направлению тока . . .



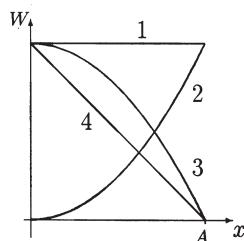
укажите номер

1) $\frac{\Delta B}{\Delta t} > 0$; 2) $\frac{\Delta B}{\Delta t} < 0$; 3) $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 0$;

А7. В колебательном контуре максимальное значение энергии электрического поля конденсатора равно 50 Дж, максимальное значение энергии магнитного поля катушки – 50 Дж. Полная энергия электромагнитного поля контура равна . . .

численное значение

А8. Зависимости кинетической энергии пружинного маятника от смещения груза соответствует изображенный на рисунке график . . . (A - амплитуда колебаний). Укажите номер



А9. Изображение предмета в собирающей линзе получается увеличенным, мнимым, прямым. Из предложенных ниже утверждений выберите правильное. Предмет находится:

1. . . . между фокусом и центром линзы.

2. . . . между фокусным и двойным фокусным расстоянием.

3. . . . в фокусе линзы.

4. . . . за двойным фокусным расстоянием.

Правильный ответ . . .

укажите номер

A10. В результате ядерной реакции заряд ядра увеличился. Из предложенных ниже утверждений выберите правильное.

1. Ядро испустило протон.
2. Ядро испустило электрон.
3. Ядро испустило γ -квант.

Правильный ответ . . .
укажите номер.

Часть В

B1. Груз массой m поднимают на высоту h с постоянным ускорением a .

Работа, совершаемая при перемещении, $A = \dots$

выразить через заданные величины

B2. Шарик массой 100 г падает с высоты 5 м на горизонтальную плиту и отскакивает от нее, поднимаясь на прежнюю высоту.

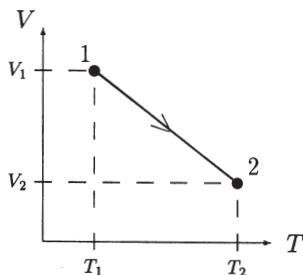
Модуль изменения импульса шарика в результате удара равен . . .

численное значение

B3. На рисунке показан процесс, совершаемый идеальным газом. Количество теплоты, подведенное к газу, равно Q .

Работа одного моля газа $A = \dots$

выразить через заданные величины



B4. Заряд $q_1 = 10$ нКл создает в точке O поле, напряженность которого равна 100 В/м. Заряд $q_2 = 20$ нКл, удаленный от точки O на расстояние в два раза больше, чем заряд q_1 , создает в этой точке напряженность поля, равную . . .

численное значение

B5. Пылесос, сопротивление двигателя которого равно R_1 , подключен к электрической сети с напряжением U с помощью провода с сопротивлением R_2 .

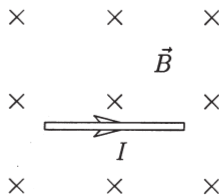
Мощность пылесоса $N = \dots$

выразить через заданные величины

В6. В однородном магнитном поле "висит" неподвижно отрезок проводника, по которому течет ток $I = 10$ А. Длина проводника $l = 98$ см, масса $m = 0,1$ кг.

Индукция магнитного поля $B = \dots$

численное значение



В7. Круговой контур находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости контура. Магнитный поток через контур изменяется с течением времени по закону $\Phi = At + C$, где $A = -5 \frac{\text{Вб}}{\text{с}}$, $C = 3$ Вб

ЭДС индукции, возникающая в контуре, равна $\dots$

численное значение

В8. Груз массой m , колеблющийся на пружине, за время t переместился из крайнего положения в положение равновесия, пройдя путь, равный A . Энергия колебаний маятника $W = \dots$

выразить через заданные величины

В9. Дано уравнение поперечной волны:

$$y(x, t) = 0,02 \sin 4\pi(t - 10^{-3}x) \text{ м.}$$

За время, равное половине периода колебаний, волна распространяется на расстояние, равное $\dots$

численное значение

В10. На дифракционную решетку падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м. Наблюдается максимум второго порядка. Оптическая разность хода лучей равна $\dots$

численное значение

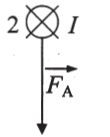
ОТВЕТЫ к тестам.

Вариант 1

Часть А

- A1. Правильный ответ № 2. $V_x = x'(t) = 2 - 4t$.
- A2. Правильный ответ № 1. $F = m \frac{V_2 - V_1}{t} = 5 \text{ Н.}$
- A3. Правильный ответ № 3. $p = nkT$.
- A4. Правильный ответ № 3. Температура уменьшается.
- A5. Правильный ответ № 2. $W_2 = q_2 \varphi_1 = q_2 \frac{W_1}{q_1}$.
- A6. Правильный ответ № 4. $U = IR = \frac{q}{t} R$.
- A7. Правильный ответ № 3. По правилу буравчика.
- A8. Правильный ответ № 2.
- A9. Правильный ответ № 3. $\lambda = VT = \frac{V}{\nu}$.
- A10. Правильный ответ № 2. $U = IR = \frac{q}{t} R$.

Часть В

- B1. $V_{\text{отн}} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} = 10 \text{ м/с.}$
- B2. $F_H = m \left(g + \frac{4\pi^2 l}{T^2} \right).$
- B3. $A = Q - \frac{3}{2} R(T_2 - T_1).$
- B4. $E_1 = k \frac{q}{a^2}; \quad E_2 = k \frac{3q}{a^2}; \quad E_2 = 3E_1;$
- B5. $U = 1 \text{ В.}$
- B6. $\mathcal{E} = \frac{U_2}{R_2} (R_1 + R_2 + r).$
- B7. 
- B8. $x = 0.$
- B9. $\lambda = 0,5 \text{ м.}$
- B10. $\varphi = 30^\circ.$

Вариант 2

Часть А

А1. Правильный ответ № 3.

А2. Правильный ответ № 2.

А3. Правильный ответ № 3.

А4. Правильный ответ № 3. $\frac{pV}{T} = \text{const}.$

А5. Правильный ответ № 2. $C_2 U_2 = C_1 U_1;$ $C_2 = C_1 \frac{U_1}{U_2}.$

А6. Правильный ответ № 4. $I = \frac{q}{t};$ $Q = I^2 R t;$ $q = \sqrt{\frac{Q t}{R}}.$

А7.  По правилу правого винта.

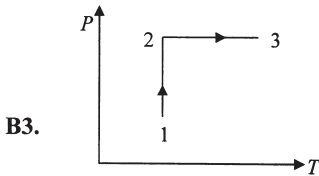
А8. Правильный ответ № 4. $T = \frac{2\pi}{\omega} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$

А9. Правильный ответ № 1. $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{C}.$

А10. Правильный ответ № 3. ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_Z Y + {}^0_0 \gamma.$

Часть В

В1. $A = m(g + a)h.$



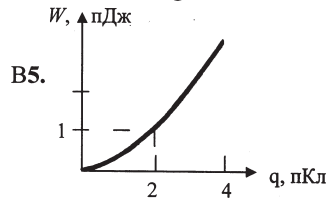
В4. $m = \frac{m_1(\lambda + C(T_2 - T_1))}{q}.$

В6. $\mathcal{E} = 80 \text{ В}.$

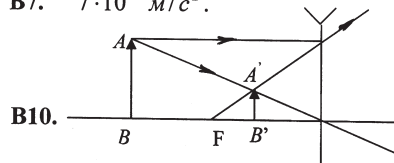
В8. $V = V_{\text{max}} = \omega A = 1,57 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}.$

В9. $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{1}{3}.$

В2. $R = \frac{mV^2}{mg - P} = 20 \text{ м}.$



В7. $7 \cdot 10^{15} \text{ м/с}^2.$



Вариант 3

Часть А

A1. Правильный ответ № 3. Равнозамедленное движение.

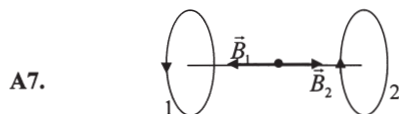
A2. Правильный ответ № 3. $p = mV$.

A3. Правильный ответ № 2. $pV = \nu RT$.

A4. Правильный ответ № 2. $A = p\Delta V = \nu R\Delta T$.

A5. Правильный ответ № 3. $F_2 = k \frac{q_2 Q}{R_2^2}$.

A6. Правильный ответ № 3. $I_1 = I_2$; $\frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{U_2}{R_2}$.



A8. Правильный ответ № 3. $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$.

A9. Правильный ответ № 4. $d \sin \alpha = k\lambda$.

A10. Правильный ответ № 3. ${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-1}_{Z-1} Y + {}^1_1 P$.

Часть В

B1. $V_o = \frac{V_A}{\sqrt{2}}$.

B2. $E_k = mg(h_1 - h_2)$.

B3. $\frac{U_3}{U_1} = \frac{2P_1 2V_1}{P_1 V_1} = 4$.

B4. $\frac{T_H}{T_X} = \frac{Q_H}{Q_X} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_X} = 3,1$.

B5. $\varphi_A - \varphi_B = \frac{W_B - W_A}{q} = -0,5 B$.

B6. $\mathcal{E} = \frac{U_2}{R_2} (R_1 + R_2 + r)$.

B7. $V = \frac{ma}{qB} = 1,14 \cdot 10^5 \text{ м/с}$.

B8. $x(t) = 0,03 \cos\left(5\pi t \pm \frac{\pi}{3}\right)$.

B9. $\Delta x = \lambda = \frac{V}{\nu} = 4 \text{ м}$.

B10. Не изменится.

Часть А

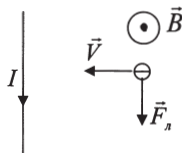
А2. Правильный ответ № 4.

А3. Правильный ответ № 2.

А4. Правильный ответ № 4.

A5. Правильный ответ № 2.

A6.



A7. Правильный ответ № 3.

А8. Правильный ответ № 4.

A9. Мнимое, прямое, уменьшенное.

A10. Правильный ответ № 3.

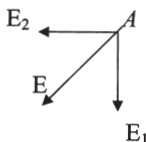
Часть В

$$\text{B1. } V_p = V_\Pi \frac{m_\Pi}{m_p} = 0,2 \text{ м/с.}$$

$$\text{B2. } \Delta p = m(V + \sqrt{2gh}) = 3,6 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

$$\text{В3. } q = \frac{N t}{m \eta} = 48 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

B4. $E_1 = k \frac{q}{a^2}$; $E_2 = k \frac{4q}{4a^2}$; $E_2 = E_1$.



B5. $R = \frac{U - U_1}{I} = 20 \, \Omega$.

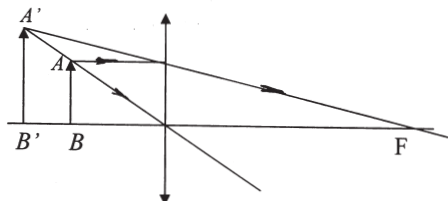
B6. $r = \frac{\mathcal{E} R_2}{U} - R_1 - R_2.$

B7. $R = \frac{mV}{qB}$ — № 4.

B8. $m = \frac{8W}{A^2} \frac{t^2}{\pi^2}$.

B9. $V_2 = V_1 \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 250 \text{ m/c.}$

B10.



Вариант 5

Часть А

- A1. Правильный ответ № 3.
 A2. Правильный ответ № 2.
 A3. Правильный ответ № 3.
 A4. Правильный ответ № 3.
 A5. Правильный ответ № 4.
 A6. Правильный ответ № 3.
 A7. Правильный ответ № 1.
 A8. Правильный ответ № 2.
 A9. Правильный ответ № 4.
 A10. Правильный ответ № 3.

Часть В

B1. $S = \frac{V^2}{2A}.$

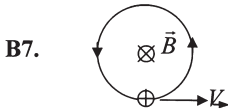
B2. $h = h_1 + \frac{E_k}{mg}.$

B3. $E_{cp} = \frac{MV_{кв}^2}{2N_A}.$

B4. $V = 2g\sqrt{\frac{1}{4\pi\epsilon_0 mR}}.$

B5. $E = \frac{A}{Qd \cos \alpha}.$

B6. $\frac{t_1}{t_2} = 3.$



B8. $x(t) = 6 \cdot 10^{-4} \cos(100t \pm \pi) \text{ м}.$

B9. $\Delta\chi = \frac{\lambda}{2\pi} \Delta\varphi = 0,5 \text{ м}.$

B10. $\frac{\mathcal{E}_c}{\mathcal{E}_\kappa} = \frac{\lambda_\kappa}{\lambda_c} = 1,4.$

Вариант 6

Часть А

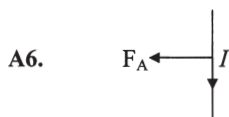
A1. Правильный ответ № 3.

A2. Правильный ответ № 1.

A3. Правильный ответ № 3.

A4. Правильный ответ № 2.

A5. S – увеличить; l – уменьшить; t – увеличить.



A7. Правильный ответ № 4.

A8. Правильный ответ № 2.

A9. Правильный ответ № 4.

A10. Правильный ответ № 2.

Часть В

B1. $V_{\text{отн}} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} = 5 \text{ м/с}.$

B2. $\frac{E_d}{E_p} = \frac{m_d}{m_p} \left(\frac{V_d}{V_p} \right)^2 = \frac{m_p}{m_d} = 100.$

B3. $A = Q \left(\frac{T_r}{T_x} - 1 \right) = Q.$

B4. $Q = \frac{4}{3} q.$

B5. В 1,25 раза.

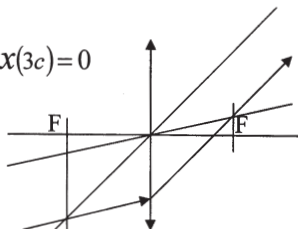
B6. 0,4 Тл.

B7. $V_a = 3,2 \cdot 10^3 \text{ м/с}.$

B8. $\chi(3c) = 0$

B9. $\lambda_2 = 2\lambda_1$

B10.



Вариант 7

Часть А

А1. Правильный ответ № 3.

А2. Правильный ответ № 2. $a = 0$; $F = ma = 0$.

А3. Правильный ответ № 2.

А4. Правильный ответ № 3. $A = q(\varphi_A - \varphi_B)$; $q > 0$; $\varphi_A < \varphi_B$; $A < 0$.

А5. Правильный ответ № 2. $R = \rho \frac{l}{S}$.

А6. Правильный ответ № 1. По правилу Ленца.

А7. Полная энергия 50 Дж.

А8. Правильный ответ № 3. $E_k = E - \frac{kx^2}{2}$.

А9. Правильный ответ № 1.

А10. Правильный ответ № 2. ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e$.

Часть В

В1. $A = m\hbar(g + a)$.

В2. $\Delta p = 2m\sqrt{2gh} = 2 \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{с}$.

В3. $A = Q - \frac{3}{2}R(T_2 - T_1)$.

В4. $E_2 = \frac{1}{2}E_1 = 50 \text{ В} / \text{м}$.

В5. $N = \left(\frac{U}{R_1 + R_2} \right)^2 R_1$.

В6. $B = \frac{mg}{l} = 0,1 \text{ Тл}$.

В7. $\mathcal{E} = -\Phi' = 5 \text{ В}$.

В8. $W = \frac{m\pi^2 A^2}{8t^2}$.

В9. $S = \frac{\lambda}{2} = 250 \text{ м}$

В10. $\Delta = m\lambda = 1 \text{ мкм}$