Н.А. Панов, Ф.Ф. Тихонин

Домашняя работа по физике за 10 класс

к учебнику «Физика: Механика. Теория относительности. Электродинамика: Учеб. для 10 кл. общеобразоват. учреждений / С.В. Громов; Под ред. Н.В. Шароновой. — 3-е изд. — М.: Просвещение, 2002»

ВОПРОСЫ К ПАРАГРАФАМ

Основы кинематики

Глава 1. Пространство, время, движение

§ 1. Пространство и время

1. Время и пространство — это формы существования материи.

2. Свойствами пространства являются непрерывность, трехмерность, евклидность.

3. Свойствами времени являются одномерность, непрерывность.

4. К мегамиру относятся б) — скопления галактик; к макромиру относятся в) — автомобили, д) — ракеты, е) — земной шар; к микромиру относятся а) — атомы, г) — электроны.

§ 2. Система отсчета

1. Телом отсчета называется твердое тело, относительно которого определяется положение других тел.

2. Пусть человек едет в автомобиле. Он движется относительно дороги (т.е. его положение относительно дороги меняется), но покоится относительно кресла машины.

3. Положение тела в выбранной системе отсчета определяется координатами и временем.

4. Системой отсчета называют систему координат, связанную с телом отсчета, и неподвижные относительно него часы. Часы необходимы для описания физических явлений, поскольку все они происходят не только в пространстве, но и во времени.

5. Для выбора системы отсчета необходимо выбрать тело отсчета, связать с ним систему координат и указать начальный момент времени.

§ 3. Механическое движение

1. Механическим движением называется процесс изменения положения тела относительно тела отсчета с течением времени.

2. Относительность механического движения заключается в том, что в разных системах отсчета движение тела может быть различным. Также нельзя говорить, что тело движется, не указав систему отсчета. С другой стороны, относительное движение тел, количество которых не менее двух, является абсолютным, т.е. не зависит от выбора системы отсчета.

3. Плот, плывущий по реке, движется относительно берегов и покоится относительно воды.

4. Для того, чтобы ответить на этот вопрос, необходимо указать тело отсчета. Например, стоящий на остановке человек движется в системе координат, связанной с автобусом.

§ 4. Материальная точка

1. Материальной точкой называется модельное тело, размерами которого в данных условиях можно пренебречь.

2. Материальных точек не существует, это физическая абстракция.

3. Шарик диаметром 1 см можно считать материальной точкой, если характерные размеры в данной задаче значительно больше 1 см и нельзя в противном случае.

4. Использование моделей позволяет упростить задачу и в то же время с достаточной точностью описать движение реальных тел.

§ 5. Основная задача механики

1. Основная задача механики состоит в определении координат тела в любой момент времени. Эту задачу решает классическая механика.

2. В квантовой механике, в отличии от классической, тело не обладает однозначными координатами.

3. Существует координатный и векторный способы определения положения частиц.

4. Радиус-вектор точки это вектор, проведенный из начала системы координат в данную точку; $r_x = x$; $r_y = y$; $r_z = z$.

5. $\vec{r}$ — радиус-вектор; r_x — проекция радиус-вектора на ось Ox; r— модуль (длина) радиус-вектора; r_x может равняться 2 м или –3 м, а r может равняться только 2 м, поскольку длина всегда больше либо равна нулю.

§ 6. Траектория, путь и перемещение

1. Траектория — это линия, вдоль которой двигалось тело в данной системе отсчета. Путь — длина траектории. Перемещение — вектор, проведенный из начальной точки движения тела в конечную точку.

2. Понятия траектории для микрочастиц не существует, поскольку они подчиняются законам квантовой механики и не обладают определенными координатами, необходимыми для определения траектории движения.

3. Если выбрать систему отсчета, связанную с движущимся автобусом, то едущий в нем пассажир находится в покое и, соответственно, не совершает перемещения. Однако относительно Земли пассажир движется по траектории движения автобуса, перемещается от точки посадки до точки высадки и т.д. Путь пассажира относительно автобуса равен нулю, а относительно Земли — пути автобуса.

4. Скалярными называют величины, не имеющие направления, например: масса, время, расстояние. Этим скалярные величины отличаются от векторных, которые имеют направление. Над векторами и скалярами определены сходные операции (сложение, умножение).

5. Модуль перемещения совпадает с пройденным путем в том случае, если траектория движения есть прямая или тело вообще покоится. В остальных случаях они не совпадают.

6. Очень малые перемещения обозначаются $\Delta\vec{r}$.

7. Для решения основной задачи механики необходимо знать радиус-вектор тела и скорость в момент начала движения.

§ 7. Скорость

1. Мгновенной скоростью называется величина, равная: $\vec{v} = \Delta\vec{r} / \Delta t$, где $\Delta\vec{r}$ — изменение радиус-вектора за малое время Δt.

2. Мгновенная скорость направлена по касательной к траектории движения.

3. В системе СИ — 1 м/с.

4. Графический метод определения проекции перемещения заключается в определении площади под графиком проекции скорости. Эта площадь количественно равна проекции перемещения.

5. Знание этой скорости в разные моменты времени позволяет узнать перемещение тела в эти моменты.

6. 18 км/ч = 5 м/с; 36 км/ч = 10 м/с; 54 км/ч = 15 м/с;72 км/ч = 20 м/с.

§ 8. Ускорение

1. Ускорением называется векторная физическая величина, равная $\vec{a} = \dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$, где $\Delta\vec{v}$ — изменение скорости за Δt.

2. Модуль ускорения показывает быстроту изменения скорости.

3. В системе СИ — 1 м/с^2.

4. При прямолинейном движении: если тело разгоняется, то вектор ускорения сонаправлен с вектором скорости; если тормозит — противоположно направлен. При криволинейном движении: если скорость тела возрастает, то вектор ускорения составляет острый угол с вектором скорости; если скорость убывает — тупой угол.

5. Зная ускорение, можно найти скорость и перемещение тела, необходимое для решения основной задачи механики.

§ 9. Равноускоренное и равномерное движение

1. Равноускоренным называют движение с постоянным ускорением. Примером такого движения является любое падающее тело.

2. Все тела вблизи поверхности Земли падают с ускорением свободного падения $g \approx 9{,}81$ м/с^2.

3. Решение основной задачи механики для равноускоренного движения имеет вид: $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$, где $\vec{a}$ — ускорение; $\vec{v}_0$ — начальная скорость; $\vec{r}_0$ — начальные положение.

4. Для этого надо знать начальные координаты, скорость тела и его ускорение.

5. График скорости равномерном движении является прямой, параллельной оси *Ot*, при равноускоренном движении — прямой, не параллельной оси *Ot*.

6. Для определения координаты тела при его равномерном прямолинейном движении необходимо знать его начальные координаты и скорость.

§ 10. Равномерное движение по окружности

1. При равномерном движении тела по окружности его скорость остается неизменной по модулю, однако постоянно меняется по направлению. Скорость направлена по касательной к траектории.

2. Центростремительное ускорение направлено по радиусу к центру окружности, по которой движется тело. Его модуль можно вычислить по формуле: $a_ц = v^2/R$, где v — скорость тела, R — радиус окружности, по которой движется тело.

3. Период обращения — это время совершения телом одного оборота. Частота обращения — это величина, равная количеству оборотов в единицу времени. Частота ν и период T связаны между собой следующими соотношениями: $T = 1/\nu$ или $\nu = 1/T$.

4. Период обращения связан со скоростью движения следующим соотношением $v = 2\pi R/T$, где R — радиус окружности, по которой движется тело, v — скорость, T — период.

Глава 2. Принципы симметрии

§ 11. Принцип пространственно-временной симметрии

1. Под симметрией физических законов следует понимать, что форма этих законов не меняется в результате некоторой операции.

2. Преобразованиями симметрии называют те операции, которые не меняют формы физических законов. К таким операциям относятся: параллельный перенос и поворот в пространстве, а также временной сдвиг.

3. Рассмотрим математический маятник (небольшое тело на длинной легкой нити). Отведем его на некоторый угол и отпустим. Измерим период и амплитуду колебаний. Перенесем маятник в другое место или повернем его. Период и амплитуда не изменятся. Этим опытом мы показали, что законы физики не меняются при параллельном переносе и

повороте в пространстве. Если же этот маятник привести в колебательное движение в некоторый момент времени, затем остановить, подождать и снова привести его в колебательное движение, то период и амплитуда не изменятся. Отсюда можно заключить, что законы физики не меняются при временном сдвиге. Симметрия по отношению к параллельному переносу — это однородность пространства, по отношению к повороту в пространстве — изотропность пространства, по отношению к временному сдвигу — однородность времени.

4. В инерциальных системах отсчета пространство однородно и изотропно, время однородно.

5. Это утверждение не противоречит однородности пространства, т.к. точки у подножья Эльбруса и на его вершине не эквивалентны из-за наличия гравитационного поля Земли.

6. Как и в вопросе 5, мы имеем дело с гравитационным полем Земли, которое и создает анизотропию пространства.

7. Возможность использования законов, открытых в прошлом, связана с тем, что законы физики симметричны относительно временного сдвига, т.е. с однородностью времени.

8. Возможность использования законов, открытых в других странах, связана с тем, что законы физики симметричны относительно параллельного переноса, т.е. с однородностью пространства.

9. Экспериментальные установки в различных лабораториях не обязательно ориентировать одинаковым образом из-за того, что законы физики симметричны относительно поворота в пространстве, т.е. из-за изотропности пространства.

10. Инерциальными называют такие системы отсчета, которые покоятся либо движутся равномерно и прямолинейно относительно далеких звезд.

11. Система отсчета, связанная с Землей, может считаться инерциальной, т.к. эффекты, связанные с вращением Земли вокруг своей оси, движением Земли вокруг Солнца и т.д. малы.

§ 12. Принцип относительности

1. Законы физики во всех инерциальных системах отсчета имеют один вид.

2. Принцип относительности можно подтвердить следующим опытом. Отпустим тело, находящееся сначала в покоящемся, а затем в равномерно и прямолинейно движущемся поезде. При этом в обоих случаях тело будет падать по вертикали в соответствующей системе отсчета.

3. Об изотропности пространства в опыте Галилея свидетельствуют следующие факты: рыбы будут плавать безразлично во всех направлениях, мелкие животные летать во всех направлениях и т.д.

4. Наверное, каждый человек испытывал такие ощущения. Они возникают из-за того, что в инерциальной системе отсчета все законы фи-

зики не меняются. В закрытой каюте эти ощущения усиливаются, т.к. человек не видит окружающего мира.

5. Галилей рекомендует проводить опыты под палубой, т.к. там человек не видит окружающего мира.

§ 13. Преобразования Галилея

1. Физический смысл преобразований Галилея состоит в том, что они связывают пространственные координаты и время в одной системе отсчета с координатами и временем в другой. Преобразования Галилея справедливы при скоростях много меньших скорости света в вакууме, примерно равной 300000 км/с.

2. Принцип абсолютности времени состоит в том, что во всех системах отсчета промежутки времени между некоторыми событиями одинаковы. Фактом, подтверждающим этот принцип, может быть такой — измерения времени в движущемся автомобиле одинаковы с измерениями, проведенными человеком покоящемся относительно Земли.

3. Принцип абсолютности времени выполняется при скоростях, много меньших скорости света. При больших скоростях время замедляется.

4. Из принципа абсолютности времени следует, что в двух инерциальных системах отсчета $\Delta t = \Delta t'$. Пусть система K' движется со скоростью V относительно системы K. Из рис.1 следует, что $\Delta x = \Delta x' + V\Delta t' = \Delta x' + V\Delta t$. Аналогично $\Delta y = \Delta y' + V\Delta t$, $\Delta z = \Delta z' + V\Delta t$. Тогда в общем случае преобразования Галилея примут вид:

$$\begin{cases} \Delta\vec{r} = \Delta\vec{r}\,' + \vec{V}\Delta t; \\ \Delta t = \Delta t'. \end{cases}$$

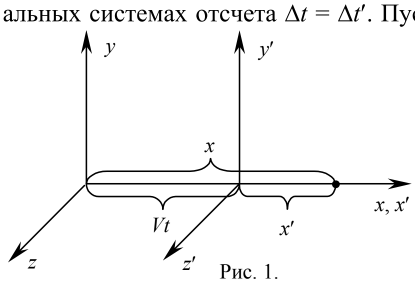


Рис. 1.

5. Пусть в нулевой момент времени движущаяся система K' находилась в начале координат системы K (этого всегда можно добиться, произведя параллельный перенос начала координат системы K). Из принципа абсолютности времени $\Delta t = \Delta t'$. Учитывая $\Delta t = t - 0 = t$, $\Delta t' = t' - 0 = t'$. Отсюда следует $t = t'$. В случае очень быстрого движения системы отсчета (порядка скорости света) это не выполняется, поскольку в этом случае не выполняется принцип абсолютности времени.

6. Пусть выполнены условия, приведенные в вопросе 5.

$\Delta t = t(B) - t(A) > 0$. $\Delta t' = t'(B) - t'(A)$. Учитывая, что $\Delta t = \Delta t'$, получим: $t'(B) - t'(A) > 0$, т.е. $t'(B) > t'(A)$.

7. Запишем преобразование Галилея для координаты x:

$\Delta x = \Delta x' + V\Delta t$. Т.к. события одновременны, то $\Delta t = 0$, т.е. $\Delta x = \Delta x'$. Аналогично мы можем доказать $\Delta y = \Delta y'$; $\Delta z = \Delta z'$ или $\Delta\vec{r} = \Delta\vec{r}\,'$.

8. Такую систему можно выбрать, если связать систему отсчета с мальчиком.

9. Классический закон сложения скоростей: $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{V}$, где $\vec{v}$ — скорость тела в покоящейся системе отсчета, $\vec{v}'$ — скорость тела в системе, движущейся со скоростью $\vec{V}$. Данный закон называется классическим, т.к. он справедлив при скоростях, много меньших скорости света.

10. Величины называются инвариантными, если они не меняют своего значения при переходе от одной системы отсчета к другой.

11. При переходе от одной инерциальной системы отсчета ускорение $\vec{a}$ не меняется. Докажем это.

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t};\ \vec{a}' = \frac{\vec{v}_2' - \vec{v}_1'}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{V} - (\vec{v}_1 - \vec{V})}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} = \vec{a}.$$

Основы динамики

Глава 3. Законы динамики

§ 14. Принцип причинности

1. Говорят, что состояние системы известно, если вся необходимая информация для определения будущего системы известна.

2. Состояние системы в классической механике определяется положениями $\vec{r}_1,\ \vec{r}_2,\ \vec{r}_3, \ldots$ и скоростью $\vec{v}_1,\ \vec{v}_2,\ \vec{v}_3, \ldots$ частиц системы.

3. Основная задача механики для системы частиц состоит в нахождении положения любой из частиц в любой момент времени.

4. Принцип причинности состоит в том, что совокупность положений и скоростей частиц системы в начальный момент времени определяет движение системы в будущем.

§ 15. Понятия о силе и массе

1. Взаимодействием называют влияние тел либо частиц на движение друг друга. Столкновение бильярдных шаров и притяжение этих шаров к Земле есть примеры взаимодействий.

2. Причиной ускорения некоторого тела является взаимодействие этого тела с другими телами.

3. Взаимодействие тел характеризует сила. Сила — это векторная величина, зависящая только от скорости и положения тела; чем больше сила, действующая на тело, тем больше и ускорение, им приобретаемое; направление ускорения совпадает с направлением силы.

4. Массой тела называется отношение модулей ускорения эталонного тела к ускорению нашего тела, которые приобрели тело и эталон в результате взаимодействия; масса измеряется в единицах массы эталонного тела — в СИ это килограмм (кг).

5. Масса тела — величина инвариантная, т.е. она не зависит от скорости и положения тела.

§ 16. Законы Ньютона

1. Первый закон Ньютона состоит в том, что изолированное тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Движение изолированного тела называют движением по инерции. Отсюда первый закон Ньютона называют законом инерции.

2. В отличие от Галилея и Ньютона Аристотель отрицал возможность сохранения скорости у изолированного тела. Он считал, что такое тело может лишь покоиться, а для движения даже с постоянной скоростью необходимо прикладывать силу.

3. Предположим, что изолированное тело движется с ненулевым ускорением $\vec{a}$. Согласно принципу причинности, $\vec{a}$ зависит от скорости тела $\vec{v}$ и его положения $\vec{r}$, т.е. в разных точках и при различных скоростях ускорение $\vec{a}$ различно. А это противоречит принципам однородности и изотропности пространства. Таким образом, мы имеем $\vec{a} = 0$, а, значит, первый закон Ньютона есть следствие симметрии пространства.

4. Второй закон Ньютона состоит в том, что при действии на тело силы $\vec{F}$ оно приобретает ускорение $\vec{a}$, причем произведение массы тела m на $\vec{a}$ будет равно $\vec{F}$: $m\vec{a} = \vec{F}$.

5. Математическую запись второго закона Ньютона называют уравнением движения.

6. Скорость тела может быть направлена не туда, куда направлена действующая на тело сила (например, при движении по окружности), а ускорение, как следует из второго закона Ньютона, не может.

7. Из уравнения движения можно найти зависимость ускорения от времени, а зная начальное положение и скорость, описать все движение тела.

8. В системе СИ — 1 Н (ньютон).

9. Третий закон Ньютона состоит в том, что силы взаимодействия двух частиц равны по модулю и противоположно направлены вдоль прямой, соединяющей частицы. Рассмотрим пример его проявления. Пусть человек сильно бьет кулаком по стене. При этом стена несколько деформируется, а человек испытывает боль.

10. Согласно третьему закону Ньютона модуль силы, с которой Земля притягивает яблоко, равен модулю силы, с которой яблоко притягивает Землю.

§ 17. Следствия из законов Ньютона

1. Сила — это характеристика взаимодействия, оказываемого на данное тело со стороны других тел.

2. Пусть на тело массы m действуют силы: $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$…, $\vec{F}_n$. Тогда мы можем записать: $m\vec{a} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$, где $\vec{a}$ — ускорение тела. В этом и состоит второй закон Ньютона с учетом принципа независимости взаимодействий.

3. Внутренние силы системы по третьему закону Ньютона скомпенсированы, и поэтому они не могут привести систему как целое в движение.

4. Масса есть мера инертности.

5. Аддитивность массы заключается в следующем. Пусть система состоит из n тел с массами m_1, m_2,…, m_n. Тогда общая масса системы M определяется формулой $M = \sum_{i=1}^{n} m_i$.

§ 18. Типы взаимодействий и различные виды сил

Нет вопросов.

Глава 4. Гравитационные силы

§ 19. Гравитационное взаимодействие

1. Гравитационным называется взаимодействие, присущее всем телам вселенной и проявляющееся как взаимное притяжение.

2. Принцип эквивалентности состоит в равенстве массы тела и его гравитационного заряда. Он следует из того, что ускорение свободного падения не зависит от массы падающего тела.

3. Гравитационное взаимодействие осуществляется посредством гравитационного поля.

§ 20. Закон всемироного тяготения

1. Закон всемирного тяготения состоит в том, что сила гравитационного притяжения двух частиц пропорциональна произведению масс этих частиц и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

2. В теории закон всемирного тяготения справедлив для точечных частиц или для тел шарообразной формы, но на практике, если размеры тел много меньше расстояния между ними, то закон всемирного тяготения можно успешно применять.

3. Если рассматривать шары, то под r в законе всемирного тяготения следует понимать расстояния между их центрами.

§ 21. Гравитационная постоянная

1. Физический смысл гравитационной постоянной G заключается в том, что G есть сила притяжения между двумя небольшими шарами массой по 1 кг. на расстоянии 1 м между их центрами.

2. Первые точные измерения гравитационной постоянной были проведены Генри Кавендишем.

3. Малость гравитационной постоянной приводит к тому, что мы не наблюдаем в обычной жизни гравитационные взаимодействия между телами существенно меньшими массы Земли.

§ 22. Сила тяжести

1. Силой тяжести называют силу притяжения некоторого тела вблизи поверхности Земли к Земле.

2. Сила тяжести $\vec{F}_т$ определяется формулой: $\vec{F}_т = m\vec{g}$, где m — масса тела, $\vec{g}$ — ускорение свободного падения вблизи поверхности Земли.

3. Ускорение свободного падения зависит от высоты над поверхностью Земли и от места на планете (эта зависимость связана с вращением Земли вокруг своей оси, с тем, что породы слагающие Землю имеют различную плотность).

4. Гравиметрическая разведка основана на точном измерении ускорения свободного падения. При этом более плотные минералы увеличивают ускорение свободного падения, а менее плотные уменьшают.

§ 23. Движение под действием силы тяжести

1. Тела, брошенные вертикально, горизонтально и под острым углом к горизонту, движутся с одинаковым ускорением — ускорением свободного падения.

2. Траектория движения в заданных условиях зависит от угла, под которым брошено тело, от начальной скорости тела и от начальной координаты.

3. Тело, брошенное под углом к горизонту, движется по параболе.

§ 24. Движение искусственных спутников

1. Первой космической скоростью называется минимальная скорость, которую необходимо сообщить телу вблизи поверхности Земли, чтобы превратить его в искусственный спутник.

2. Скорость движения спутника уменьшается с увеличением высоты.

3. Скорость движения спутника не зависит от его массы.

4. Скорость движения спутника по орбите направлена по касательной к траектории, ускорение — к центру Земли.

5. Ускорение спутника равно ускорению свободного падения.

6. Круговое движение нельзя считать равноускоренным, т.к. всегда меняется направление его движения.

7. Искусственные спутники бывают научно-исследовательские и прикладные.

§ 25. Перегрузки и невесомость

1. Перегрузкой называют состояние тела, когда его вес превышает силу тяжести. Она возникает при ускоренном движении тела.

2. Если тело движется с ускорением a, то коэффициентом перегрузки называется $n = a/g$, где g — ускорение свободного падения.

3. Человек способен переносить перегрузку примерно $5g$ в течение 12 — 15 с, $8g$ — в течение 3 с, а перегрузку в $20g$ и более — менее 0,1 с.

4. Невесомостью называется состояние тела, когда его вес равен нулю. Невесомость возникает, например, после выключения двигателей космического корабля. Невесомость ослабляет кости, мышцы, приводит к обезвоживанию организма, но с помощью лечебной физкультуры и медикаментов все функции организма могут быть восстановлены.

5. Рассмотрим движение самолета в поле силы тяжести. На него действует только сила тяжести. При таком полете времена движения вверх и вниз равны. Найдем t_1 — время полета вверх (см. рис. 2).

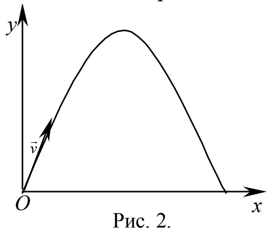


Рис. 2.

$$0 = v_0 \sin\alpha - gt_1;\ t_1 = \frac{v_0 \sin\alpha}{g};$$

$$t = 2t_1 = 2\frac{v_0}{g}\sin\alpha.$$

6.

Дано:	Решение.
$v_0 = 750$ м/с; $\alpha = 55°$.	$t = 2\frac{v_0}{g}\sin\alpha = 2 \cdot \frac{750\text{ м/с}}{9{,}8\text{ м/с}^2} \cdot \sin 55° \approx 125\text{ с} \approx 2$ мин.
Найти t.	Ответ: $t \approx 2$ мин.

7. На космическом корабле можно создать искусственную тяжесть, если он будет вращаться вокруг своей оси.

Законы сохранения

Глава 5. Закон сохранения энергии

§ 26. Механическая работа

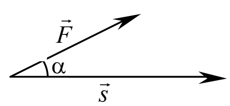


Рис. 3.

1. Работой постоянной силы $\vec{F}$ по перемещению $\vec{s}$ называется произведение модуля силы $\vec{F}$ на модуль перемещения $\vec{s}$ и на cos α, где угол α — угол между $\vec{F}$ и $\vec{s}$: $A = Fs\cos\alpha$ (см. рис. 3).

2. Работа A положительна, если угол α меньше 90°, отрицательна, если больше 90°, равна нулю, если либо сила $\vec{F}$, либо перемещение $\vec{s}$, равны нулю, либо угол α равен 90°. На рис. 3 приведен первый случай, на рис. 4 — второй, на рис. 5 — третий.

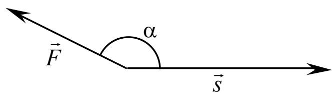


Рис.4.

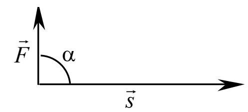


Рис.5.

3. Свойства работы постоянной силы: работа по замкнутой траектории равна нулю, работа по перемещению между двумя точками не зависит от траектории.

4. Для вычисления работы непостоянной силы следует разбить всю траекторию на малые участки, где силу можно считать постоянной, вычислить работу на каждом участке, а затем сложить эти работы. Полученный результат и будет работой непостоянной силы.

5. Мощностью P называется отношение работы A ко времени ее выполнения t: $P = A/t$.

6. Мощность P и сила тяги двигателя F связаны соотношением: $P = Fv$, где v — скорость.

§ 27. Кинетическая энергия

1. Кинетической энергией E_k называется следующая физическая величина $mv^2/2$, где m — масса тела, v — его скорость.

2. Кинетическая энергия зависит от выбора системы отсчета.

3. Теорема о кинетической энергии связывает работу суммы всех сил, действующих на тело, с изменением кинетической энергии:

$A = mv^2/2 - mv_0^2/2$.

4. Работой тела $A_{\text{тела}}$ называется следующая величина: $\dfrac{mv_0^2}{2} - \dfrac{mv^2}{2}$, где $mv_0^2/2$ — начальная кинетическая энергия, $mv^2/2$ — конечная кинетическая энергия: $A_{\text{тела}} = mv_0^2/2 - mv^2/2$.

5. Физический смысл кинетической энергии состоит в том, что она равна работе тела, которую оно совершит при полном торможении.

§ 28. Потенциальная энергия

1. Силы, которые не зависят от скорости и работа которых по любой замкнутой траектории равна нулю, называют потенциальными. Потенциальной является сила тяжести и сила упругости, а непотенциальной — сила трения.

2. Потенциальной энергией тела в данном положении называется работа, совершаемая потенциальной силой по перемещению тела из этого положения в некое нулевое.

3. Потенциальная энергия E_p тела массы m поднятого на высоту h определяется формулой $E_p = mgh$, где g — ускорение свободного падения.

4. Потенциальная энергия E_p тела смещенного на пружине жесткости k на x определяется формулой $E_p = kx^2/2$.

5. Потенциальную энергию называют энергией взаимодействия, потому что она связана с некой силой, а, значит, и с взаимодействием.

§ 29. Теорима о потенциальной энергии

1. Силы называются консервативными, если они потенциальны и не зависят от времени. Такими силами являются сила тяжести, сила упругости.

2. Теорема о потенциальной энергии утверждает, что работа консервативных сил равна изменению потенциальной энергии, взятой с обратным знаком.

3. Направление консервативных сил совпадает с направлением уменьшения потенциальной энергии.

4. Принцип минимума потенциальной энергии состоит в том, что любая система, представленная сама себе, стремится перейти в состояние с минимальной потенциальной энергией.

5. Энергетически более выгодным называют состояние с меньшей потенциальной энергией.

6. Устойчивым называют равновесие, при котором тело обладает минимальной потенциальной энергией. Примером устойчивого равновесия является шарик на дне ямки; тело на нерастянутой пружине и т.д.

7. Обобщенная теория о потенциальной энергии утверждает, что $\Delta E_p = \Delta_t E_p - A$, где ΔE_p — изменение потенциальной энергии, связанные с перемещением, $\Delta_t E_p$ — изменения потенциальной энергии, связанные с течением времени A — работа.

§ 30. Полная механическая энергия

1. Полной механической энергией E называется сумма кинетической E_k и потенциальной E_p энергий: $E = E_k + E_p$.

2. Теорема об изменении полной механической энергии состоит в том, что изменение полной механической энергии ΔE равно сумме работы силы трения $A_{\text{тр}}$ и изменению потенциальной энергии с течением времени $\Delta_t E_p$: $\Delta E = A_{\text{тр}} + \Delta_t E_p$.

3. Если $A_{\text{тр}} = 0$, то $\Delta E = A_{\text{тр}} + \Delta_t E_p = \Delta_t E_p$.

4. Если $\Delta_t E_p = 0$, то $\Delta E = A_{\text{тр}} + \Delta_t E_p = A_{\text{тр}}$.

§ 31. Закон сохранения энергии и однородность времени

1. Полная механическая энергия E равна сумме кинетической E_k и потенциальной E_p энергий.

2. Полная механическая энергия E остается постоянной при любых процессах в консервативной системе.

3. Закон сохранения механической энергии справедлив для консервативных систем.

4. Теорема Нетер состоит в том, что каждому свойству симметрии пространства и времени соответствует некоторый закон сохранения.

5. Закон сохранения энергии следует из однородности времени.

6. Пусть ΔE_k — изменение кинетической энергии, ΔE_p — изменение потенциальной энергии. $E_k+E_p=E$; $E_k+\Delta E_k+E_p+\Delta E_p=E$. Подставляя первое уравнение во второе, получим $E + \Delta E_k + \Delta E_p = E$, а, значит, $\Delta E_k = -\Delta E_p$.

7. Примем за нулевой уровень потенциальной энергии точку бросания. При полете вверх кинетическая энергия уменьшается, потенциальная увеличивается, пока в самой верхней точке вся кинетическая энергия не перейдет в потенциальную. При движении вниз, потенциальная энергия будет переходить в кинетическую, пока в точке бросания потенциальная энергия не обратится в нуль, а кинетическая не будет максимальной. Это рассмотрение движения тела сделано без учета сил трения.

8. Закон Бернулли состоит в том, что давление жидкости больше в тех местах, где скорость меньше, и меньше, где скорость больше.

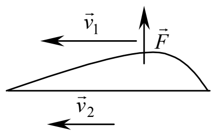


Рис. 6.

9. Профиль крыла изображен на рис. 6. Считая воздух несжимаемым, получим, что скорость воздуха $\vec{v}_1$ сверху крыла больше, чем скорость $\vec{v}_2$ снизу. По закону Бернулли получаем, что давление сверху крыла p_1 меньше, чем давление снизу p_2. Таким образом, имеем подъемную силу за счет разности этих давлений.

Глава 6. Закон сохранения импульса

§ 32. Импульс

1. Импульсом частицы $\vec{p}$ называется произведение массы этой частицы m на её скорость $\vec{v}$: $\vec{p} = m\vec{v}$.

2. Второй закон Ньютона в импульсном представлении определяется формулой $\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t$, где $\Delta\vec{p}$ — изменение импульса, $\vec{F}$ — сила, действующая на частицу, Δt — время действия силы $\vec{F}$.

3. Импульс зависит от выбора системы отсчета.

4. Пусть система частиц состоит из n частиц, импульс каждой частицы $\vec{p}_1$, $\vec{p}_2$, …, $\vec{p}_n$. Тогда импульс системы $\vec{p}$ определяется формулой $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \ldots + \vec{p}_n$.

5. Импульс покоящегося тела равен нулю.

6. Пусть импульс первой частицы $\vec{p}_1$, импульс второй частицы $\vec{p}_2$. Учитывая, что модули скоростей обеих частиц одинаковы, направления

скоростей противоположны и массы частиц одинаковы, получаем $\vec{p}_1 = -\vec{p}_2$. Импульс системы $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = -\vec{p}_2 + \vec{p}_2 = 0$.

§ 33. Закон сохранения импульса и однородность пространства

1. Закон сохранения импульса состоит в том, что импульс замкнутой системы частиц остается постоянным. Условие замкнутости системы обозначает, что векторная сумма сил, действующих на систему, равна нулю.

2. Закон сохранения импульса следует из однородности пространства.

3. При наличии внешних сил импульс системы будет меняться. Это следует из второго закона Ньютона в импульсной форме. Действительно, $\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t$. Если $\vec{F} \neq 0$, то и $\Delta\vec{p} \neq 0$, т.е. импульс системы будет меняться.

§ 34. Столкновение тел

1. Абсолютно неупругим ударом называется столкновение тел, при котором они соединяются и движутся или покоятся вместе, как целое. Примером неупругого удара является столкновение двух шаров из пластилина.

2. Абсолютно упругим ударом называется столкновение тел, при котором они не соединяются и внутренняя энергия тел не изменяется.

3. а) При абсолютно упругом ударе сохраняется и импульс, и энергия. б) При абсолютно неупругом ударе сохраняется только импульс.

4. После абсолютно упругого удара крайне левого шара о соседний он передаст свой импульс и энергию соседнему, тот следующему и т.д. В итоге крайне правый шар отклонится на тот же угол, на который был отклонен крайне левый. После удара крайнего правого шара по соседнему процесс пойдет в обратном направлении.

5. При абсолютно упругом столкновении шара со стеной он поменяет направление своей скорости на противоположное, сохраняя ее модуль.

§ 35. Реактивное движение

1. Существование реактивного движения основано на законе сохранения импульса.

2. Ракета состоит из рабочего тела (раскаленных газов, образующихся после сгорания топлива) и конечной или «сухой» массы (полезная масса, которую выводит на орбиту ракета).

3. Скорость ракеты зависит от импульса газовой струи и от «сухой» массы ракеты.

Колебания и волны

Глава 7. Механические колебания

§ 36. Свободные колебания

1. Механическими колебаниями называются движения, которые точно или приближенно повторяются через равные промежутки времени

2. Колебания называются свободными, если они возникли после выведения системы из равновесия и представления ее самой себе и происходит под действием только внутренних сил.

3. Отличительной особенностью систем, способных совершать свободные колебания, является наличие в них положения устойчивого равновесия.

4. Для возникновения свободных колебаний необходимо наличие в системе избыточной энергии и чтобы вся эта энергия не тратилась на преодоление сил трения.

5. Основными характеристиками колебательного движения является амплитуда (максимальное отклонение от положения равновесия), период (минимальное время, за которое система возвращается в прежнее состояние), частота (величина обратная периоду), циклическая частота (частота, умноженная на число 2π).

Рис. 7.

6. При отсутствии трения графиком свободных колебаний является график некоторой периодической функции. На рис. 7 приведен график свободных колебаний маятника на пружине, а на рис. 8 график свободных колебаний шарика, катающегося без трения между двумя стенками (сама система изображена на рис. 9).

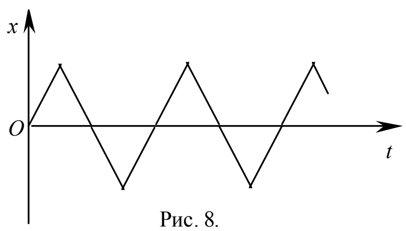


Рис. 8.

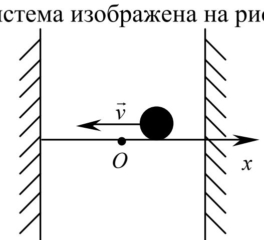


Рис. 9.

7. Гармоническими называются колебания, при которых координата тела зависит от времени по синусоидальному или косинусоидальному закону. Свободные колебания не являются гармоническими.

§ 37. Динамика свободных колебаний

1. Причинами колебаний пружинного маятника является наличие силы упругости, пропорциональной смещению, и наличие инертной массы.

2. Период колебаний пружинного маятника T зависит от жесткости пружины k и массы груза m. Он определяется по формуле $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.

3. Математическим маятником называется материальная точка, подвешенная на невесомой, нерастяжимой, длинной нити.

4. Причинами колебаний математического маятника является наличие силы тяжести и наличие инертной массы.

5. Период колебаний математического маятника T зависит от длины нити l и от ускорения свободного падения g. Он определяется по формуле $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

6. Уравнение колебаний математического ($a_x = -(g/l)x$) и пружинного ($a_x = -(k/m)x$) маятников можно записать в виде $a_x = -\omega^2 x$. Из этого уравнения следует, что оба маятника совершают гармонические колебания.

§ 38. Превращения энергии при колебательном движении

1. В отсутствии трения при свободных колебаниях потенциальная энергия переходит в кинетическую и обратно; при этом полная энергия сохраняется.

2. При наличии трения происходят те же процессы, что описаны в вопросе 1, но также часть энергии идет на совершение работы против силы трения; при этом полная энергия уменьшается.

3. Амплитуда свободных колебаний уменьшается со временем из-за трения.

§ 39. Вынужденные колебания. Резонанс

1. Колебания называются вынужденными, если они происходят под действием внешней периодической силы.

2. Частота вынужденных колебаний определяется частотой внешней силы.

3. Резонансом называется резкое увеличение амплитуды колебаний при совпадении частоты внешней силы с собственной частотой системы.

4. При условии совпадения собственной частоты колебаний с частотой внешней силы наблюдается резонансное поглощение энергии, т.к. вынуждающая сила действует в такт со свободными колебаниями.

5. Если мы приведем математический маятник в колебания и будем слегка ударять по грузу, когда он проходит положение равновесия, то

мы можем получить колебания с большой амплитудой. Это и есть пример резонанса.

Глава 8. Механические волны

§ 40. Распространение возмущенийв упругой среде

1. Волнами называются возмущения, которые распространяются в пространстве с течением времени.

2. Упругими волнами называются волны в упругой среде.

3. Необходимым условием возникновения волны является наличие упругой силы, которая препятствует возмущению в момент его возникновения.

4. Волна образуется следующим образом. Источник волн возбуждает колебания в среде вблизи себя. Постепенно эти колебания распространяются все дальше и дальше от источника.

5. Продольной называется волна, в которой частицы колеблются в одном направлении с направлением распространения возмущения. Поперечной называется волна, в которой частицы колеблются в перпендикулярном направлении относительно направления распространения возмущения.

6. Продольные волны распространяются в твердых, жидких и газообразных телах, а поперечные — только в твердых.

7. Длиной волны λ называется расстояние, на которое волна распространяется за период колебаний. Она зависит от периода T и от скорости распространения возмущения v и выражается формулой $\lambda = vT$.

§ 41. Звуковые волны

1. Звуком называются упругие волны, способные возбуждать у человека слуховые ощущения.

2. Человеческое ухо воспринимает колебания в диапазоне частот от 16 Гц до 20 кГц.

3. Скорость звука в газах зависит от температуры; с увеличением температуры она растет.

4. Инфразвуком называются упругие волны с частотой менее 16 Гц, ультразвуком — с частотой более 20 кГц.

§ 42. Громкость и высота звука. Эхо

1. Громкость звука определяется его амплитудой; чем больше амплитуда, тем громче звук.

2. Высота звука определяется его частотой; чем больше частота, тем выше звук.

3. Музыкальный звук — это звук на определенной частоте с «примесью» звуковых колебаний на других частотах.

4. Эхом называются отраженные от препятствий звуковые волны.

Теория относительности

§ 43. Классические представления о пространстве, времени и движении

1. Инерциальными системами отсчета называются системы отсчета, которые покоятся или движутся равномерно и прямолинейно относительно далеких звезд. В инерциальных системах выполняются законы Ньютона.

2. Классические представления о пространстве состоят в том, что оно абсолютно (длина в любой системе отсчета одинакова); о времени — что оно также абсолютно (промежуток времени в любой системе отсчета одинаков); о движении — что фундаментальная скорость бесконечна.

3. Известны многие принципы симметрии — однородность и изотропность пространства и однородность времени.

§ 44. Постулаты Энштейна

1. Первый постулат СТО. Скорость света в вакууме постоянна во всех инерциальных системах отсчета.

Второй постулат СТО. Законы физики имеют один вид во всех инерциальных системах отсчета.

2. Независимость скорости света в вакууме от движения источника подтверждают, например, опыты А. М. Бонч-Бруевича и В. А. Молчанова (измерение скорости света от правого до левого краев Солнца) и опыты Т. Альвегера (измерение скорости света, возникающего при распаде быстродвижущихся π^0-мезонов).

3. Согласно первому постулату Эйнштейна скорость света не зависит от системы отсчета, а из преобразований Галилея следует, что зависит. Поэтому возникла необходимость отказа от преобразований Галилея.

4. Пусть сигнал посылается из одного конца поезда в другой, а затем, после отражения, возвращается назад. Из приведенных в учебнике выкладок следует, что $\frac{\Delta t}{l} > \frac{\Delta t'}{l'}$, где Δt — время распространения света в системе отсчета, связанной с Землей, $\Delta t'$ — в системе отсчета, связанной с поездом, l — длина поезда в системе отсчета, связанной с Землей, l' — в системе отсчета, связанной с поездом. Важнейший вывод из этого мысленного эксперимента состоит в том, что либо $\Delta t > \Delta t'$, либо $l < l'$, либо имеет место и то, и то.

§ 45. Следствия из постулатов Энштейна

1. Интервалом S называется следующая величина $c^2(\Delta t)^2 - (\Delta\vec{r})^2$.

2. Интервал инвариантен во всех инерциальных системах отсчета.

3. Собственным временем некоторого тела называется время, которое определяется по часам, движущимся вместе с этим телом.

4. Относительность промежутков времени состоит в том, что движущиеся часы идут медленнее неподвижных.

5. Предельность скорости света состоит в том, что никакое тело не может двигаться со скоростью большей либо равной скорости света.

6. Относительность пространственных длин состоит в том, что движущиеся тела сокращают свою длину в направлении движения.

§ 46. Релятивистская динамика

1. Не все законы классической механики удовлетворяют принципам теории относительности. Но основной закон классической динамики — второй закон Ньютона остаётся в силе, но в форме $\Delta\vec{p}/\Delta t = \vec{F}$, а не в форме $\vec{F} = m\vec{a}$.

2. Импульс в специальной теории относительности определяется формулой $\vec{p} = \dfrac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$. Он совпадает с классическим при $v << c$.

3. Рассмотрим формулу $v = \dfrac{c}{\sqrt{1 + \left(\dfrac{mc}{Ft}\right)^2}}$. Так как $\left(\dfrac{mc}{Ft}\right)^2 > 0$, то и $\sqrt{1 + (mc/Ft)^2} > 1$. Отсюда следует, что $v < c$.

4. Движение релятивистской частицы не является равноускоренным, так как для равноускоренного движения верна формула $v = \dfrac{F}{m}t$, а для движения релятивистской частицы верна $v = \dfrac{c}{\sqrt{1 + \left(\dfrac{mc}{Ft}\right)^2}}$.

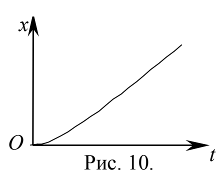


Рис. 10.

5. $x(t) = \dfrac{mc^2}{F}\left(\sqrt{1 + \left(\dfrac{Ft}{mc}\right)^2} - 1\right)$.

Перепишем эту формулу в виде $x(t) = \dfrac{mc^2}{F}\left(\dfrac{Ft}{mc}\sqrt{1 + \left(\dfrac{mc}{Ft}\right)^2} - 1\right)$. При больших временах движения, т.е. когда $\left(\dfrac{mc}{Ft}\right)^2 << 1$ $\sqrt{1 + \left(\dfrac{mc}{Ft}\right)^2} \approx 1$. Тогда

$x(t) \approx \frac{mc^2}{F}\left(\frac{Ft}{mc} - 1\right)$. Мы получили, что при больших временах движения $x(t)$ является линейной функцией, что и видно на графике, приведенном на рис. 10.

§ 47. Масса и энергия в СТО

1. Закон взаимосвязи массы и энергии утверждает, что любое тело обладает энергией благодаря факту своего существования, причем эта энергия пропорциональна массе; коэффициентом пропорциональности является квадрат скорости света.

2. $E^2 - p^2c^2 = m^2c^4$.

3. У покоящейся частицы импульс равен нулю. Отсюда следует, что $E^2 = m^2c^4$, или $E = mc^2$. Учитывая, что $E = E_k + mc^2$, получаем $mc^2 = E_k + mc^2$. Значит $E_k = 0$.

4. $\left(M_{\text{сист}}c^2\right)^2 + \left(P_{\text{сист}}c\right)^2 = E^2_{\text{сист}}$, $M_{\text{сист}} = \frac{1}{c^2}\sqrt{E^2_{\text{сист}} - (P_{\text{сист}}c)^2}$.

5. $M_{\text{сист}} = \sum_i m_i + \frac{E_k + W}{c^2}$. Масса системы, как следует из этого уравнения, аддитивна при условии $E_k = W = 0$. Реально, это условие обозначает, что $\sum_i m_i c^2 >> E_k + W$.

§ 48. Пространство-время

1. Пространство-время представляет собой множество событий.

2. Событие определяется тремя пространственными координатами (x, y, z) и одной временной (ct).

3. Мировая линия некоторой частицы — траектория этой частицы в четырехмерном пространстве-времени.

4. Прошлым данного события называют события, которые могли повлиять на него; настоящим — которые не могут взаимодействовать с данным; будущим — события, на которые может повлиять данное событие.

5. Световой конус — это поверхность в четырехмерном пространстве-времени, которая образована мировыми линиями световых лучей, проходящих через начало координат.

6. Мировые линии, проходящие через начало координат не могут выходить за пределы светового конуса, т.к. они не могут двигаться со скоростью, большей скорости света.

7. Это событие лежит в настоящем по отношению к нулевому, т.к. 2с$\cdot 3\cdot 10^8$м/с = $6\cdot 10^8$м < $7\cdot 10^8$м.

Электромагнитное поле вакууме

Глава 9. Электрический заряд и электрическое поле

§ 49. Электрический заряд и его свойства

1. Известны ядерное, слабое, электромагнитное и гравитационное взаимодействия.

2. Электромагнитным называют дальнодействующее взаимодействие, которое проявляет себя как притяжение, так и отталкивание.

3. Классическая электродинамика — наука, описывающая электромагнитные взаимодействия в макромире.

4. Электрический заряд — это скалярная величина, которая характеризует интенсивность электромагнитного взаимодействия и вместе с расстоянием между телами определяет силу этого взаимодействия.

5. Электрический заряд — величина знакопеременная (противоположные заряженные тела отталкиваются, одноименно заряженные — притягиваются). Электрический заряд инвариантен во всех системах отсчета. Электрический заряд аддитивен. Электрический заряд квантован (минимальный или элементарный заряд равен модулю заряда электрона).

6. В отличие от электрического заряда масса всегда положительна (при этом гравитационное взаимодействие — всегда притяжение); масса не квантована. Как и заряд, масса есть инвариант во всех системах отсчета. В общем случае масса не есть величина аддитивная, но в классической физике она является таковой.

7. Единица электрического заряда называется Кулон.

8. Значение элементарного заряда равно $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

§ 50. Электромагнитное поле

1. Электромагнитное поле — это особый вид материи, посредством которого передается электромагнитное взаимодействие.

2. Электромагнитное поле описывается вектором электрической напряженности $\vec{E}$ и вектором магнитной индукции $\vec{B}$.

3. Электрической называется сила, которая действует на покоящийся заряд со стороны электромагнитного поля.

4. Магнитной называется добавочная к электрической сила, которая действует на движущийся заряд.

5. Пробный заряд — это тело с небольшими размерами, несущее небольшой заряд.

6. Электрическая напряженность $\vec{E}$ равна (по определению) отношению силы электрического взаимодействия $\vec{F}$, действующей на пробный заряд q, к величине этого заряда: $\vec{E} = \vec{F}/q$.

7. По определению модуль магнитной индукции $\vec{B}$ равен: $B = F/(|q|v)$, где F — магнитная сила, q — пробный заряд, v — перпендикулярная $\vec{B}$ составляющая скорости. Направление $\vec{B}$ определяется, как направление, на которое указывает северный полюс магнитной стрелки, находящейся в данном поле.

8. Взаимодействие заряженных частиц на языке теории поля описываются, как взаимодействие одной из них с электромагнитным полем, созданным другой.

§ 51. Сила Лоренца

1. Силой Лоренца называется сила, действующая на движущийся заряд в магнитном поле.

2. Сила Лоренца определяется формулой: $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$.

3. Электрическая сила определяется формулой: $\vec{F} = q\vec{E}$.

4. Магнитная сила Лоренца определяется формулой: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$.

5. $m\vec{a} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$.

6. Векторное произведение $\vec{a}$ и $\vec{b}$ по модулю равно $|a||b|\sin\alpha$ и направлено перпендикулярно $\vec{a}$ и $\vec{b}$, в ту сторону, куда бы перемещался буравчик в случае кратчайшего поворота от $\vec{a}$ к $\vec{b}$. Векторное произведение отличается от скалярного тем, что оно вектор, а не скаляр, и тем, что его модуль равен $|a||b|\sin\alpha$, а не $|a||b|\cos\alpha$, как в случае скалярного произведения.

7. $\vec{E}' = \vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}$; $\vec{B}' = \vec{B} - \dfrac{1}{c^2}\vec{v} \times \vec{E}$.

§ 52. Движение заряженной частицы в электрическом поле

1. Состояние электромагнитного поля с магнитной индукцией, равной нулю, называется электрическим полем.

2. Однородным электрическим полем называется такое поле, во всех точках которого вектор электрической напряженности одинаков.

3. $m\vec{a} = q\vec{E}$.

4. Электрическое поле тормозит заряженную частицу, если оно порождено зарядом одного знака с зарядом частицы, и разгоняет в противоположном случае.

5. Электрическое поле не может разогнать частицу до скорости света, поскольку ни одна конечная сила не может этого.

6. Силовые линии электрического поля — это линии, касательные к которым совпадают по направлению с вектором электрической напряженности.

§ 53. Движение заряженной частицы в магнитном поле

1. Состояние электромагнитного поля с электрической напряженностью, равной нулю, называется магнитным полем.

2. $F = |q|vB \sin \alpha$..

3. Направление силы Лоренца определяется правилом буравчика (совпадает с направлением движения буравчика при кратчайшем повороте от $\vec{v}$ к $\vec{B}$) или правилом левой руки (если четыре вытянутых пальца в левой ладони указывают направление движения положительной частицы, то отставленный большой палец укажет направление силы Лоренца).

4. Магнитное поле не может изменить модуля скорости частицы, поскольку магнитная сила перпендикулярна скорости.

5. Силовые линии магнитного поля — это линии, касательные к которым совпадают по направлению с вектором магнитной индукции.

6. Если частица движется параллельно магнитной индукции, то она сохраняет свою скорость, как если бы магнитного поля не было. Если частица влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям, то она движется по окружности. Если частица влетает в магнитное поле под углом, то она движется по винтовой линии.

7. При вхождении частицы в область неоднородного поля, где силовые линии сгущаются, на частицу действует не только нормальная сила, но и касательная, направленная против скорости. Значит, касательная скорость частицы уменьшается, а следовательно и шаг винтовой линии уменьшается.

8. При вхождении в область более сильного поля частица будет увеличивать нормальную составляющую скорости, центростремительное ускорение же постоянно, т.е. радиус кривизны будет уменьшаться.

9. При релятивистских скоростях период зависит от скорости обращения, чего не наблюдается при скоростях много меньших скорости света.

§ 54. Открытие электрона

1. Катодные лучи — это поток электронов, распространяющийся от отрицательного к положительному электроду в трубке с газом низкого давления.

2. Электрон открыл Дж. Дж. Томсон.

3 Удельным зарядом называется отношение заряда частицы к ее массе.

4. $evB = eE$; $vB = E$; $v = E/B$.

5. Впервые точно измерил заряд электрона Р. Э. Милликен.

6. Масса электрона равна $9 \cdot 10^{-31}$ кг.

7. Название «электрон» придумал Дж. Стоней.

§ 55. Применение силы Лоренца

1. Если скомпенсировать электрическое поле $\vec{E}$ магнитным $\vec{B}$, которые перпендикулярны скорости частиц, то скорость частиц можно измерять по формуле $v = E/B$.

2. Заряд частиц можно определить, если поместить частицу в магнитное поле. Поместим пальцы так, как и в правиле левой руки. Если при этом большой палец указывает на центр окружности, описываемой данной частицей, то заряд положителен, если нет, то отрицательный.

3. В области неоднородного магнитного поля частица может изменить направление своей скорости (испытать отражение). Если же таких областей неоднородного поля две, то частица будет двигаться от одной из них к другой и обратно. На этом основан принцип действия магнитной ловушки.

4. Масс-спектрограф представляет собой колбу, из которой откачан воздух. Сначала на пути d на частицу действует ускоряющая электрическая напряженность $\vec{E}$, а потом она попадает в область однородного магнитного поля $\vec{B}$, в котором частица движется по окружности радиуса R. В этом случае удельный заряд $|q|/m$ можно определить по формуле $\frac{|q|}{m} = \frac{2Ed}{B^2R^2}$.

5. В циклотроне частицы удерживаются магнитным полем и ускоряются переменным электрическим полем, период которого совпадает с периодом обращения частиц.

6. Электронный микроскоп — это прибор для наблюдения очень мелких объектов, где вместо световых лучей используется поток электронов. Электронный микроскоп позволяет получать увеличение до миллиона раз.

Глава 10. Постоянное электрическое поле в вакууме

§ 56. Электрическое поле точечного заряда. Закон Кулона

1. Основная задача электродинамики состоит в нахождении векторов электрической напряженности $\vec{E}$ и магнитной индукции $\vec{B}$ по заданному распределению и движению зарядов.

2. Электростатика — это раздел электродинамики, который изучает поля, создаваемые неподвижными электрическими зарядами.

3. Электростатическим полем называется электрическое поле, создаваемое неподвижными зарядами.

4. Сила взаимодействия между двумя неподвижными точечными зарядами в вакууме прямо пропорциональна произведению этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

5. Для проведения своих экспериментов Кулон использовал крутильные весы. На нить он подвешивал палочку с заряженной бусинкой, при этом палочка находилась в горизонтальном положении за счет противовеса. Вторая неподвижная заряженная бусинка взаимодействовала с первой. По углу поворота нити определялась сила этого взаимодействия.

6. $\vec{F} = k\dfrac{q_0 q}{r^3}\vec{r}$.

Если q_0 и q одного знака, то $q_0 q > 0$. Значит $\vec{F}$ совпадает по направлению с $\vec{r}$ (см. рис. 11), т.е. заряд q отталкивается от q_0. Повторив выкладки и поменяв q и q_0 местами, получим, что заряды q_0 и q отталкиваются.

Если q_0 и q разных знаков, то $q_0\, q < 0$. Значит, $\vec{F}$ противоположно по направлению $\vec{r}$ (см. рис. 12), т.е. заряд q отталкивается от q_0. Повторив выкладки и поменяв q и q_0 местами, получим, что заряды q_0 и q притягиваются.

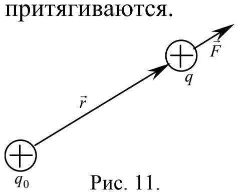


Рис. 11.

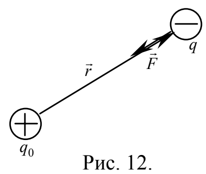


Рис. 12.

7. $\vec{E} = k\dfrac{q_0}{r^3}\vec{r}$, где $\vec{E}$ — электрическая напряженность поля неподвижного точечного заряда q_0 на расстоянии $\vec{r}$ от него, k — коэффициент пропорциональности, в СИ $k = 9\cdot 10^9$ (Н·м^2)/Кл^2.

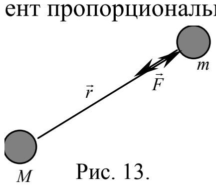


Рис. 13.

8. В скалярной форме закон всемирного тяготения записывается в виде $F = G\dfrac{Mm}{r^2}$. В законе всемирного тяготения имеет место только притяжение, т.е. $\vec{F}$ противоположна по направлению $\vec{r}$, или, что то же самое, совпадает по направлению с $-\vec{r}$ (см. рис. 13). Если учесть, что $Mm/r^2 > 0$, получаем $\vec{F} = -G\dfrac{Mm}{r^3}\vec{r}$.

§ 57. Принцип суперпозиции для электрического поля

1. а) Линии напряженности начинаются на положительных зарядах. Поле точечного заряда сферически симметрично. Линии напряженности поля положительного точечного заряда приведены на рис. 14.

б) Линии напряженности поля заканчиваются на отрицательных зарядах. Поле точечного заряда сферически симметрично. Линии напряженности поля отрицательного точечного заряда приведены на рис. 15.

в) Линии напряженности начинаются на положительных зарядах. Из соображений симметрии в точке посредине между двумя зарядами поле равно нулю, т.е. линий напряженности там нет.

На прямой, проходящей через середину отрезка, соединяющего заряды, перпендикулярно ему, линии напряженности расходятся в бесконечность вдоль этой прямой. На прямой, проходящей через заряды, линии напряженности расходятся на бесконечность. Линии напряженности двух положительных зарядов приведены на рис. 16.

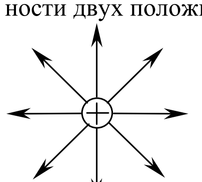


Рис. 14.

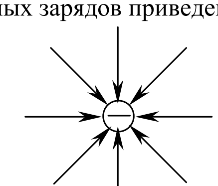


Рис. 15.

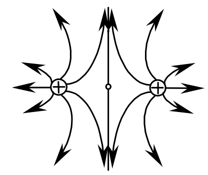


Рис. 16.

г) Линии напряженности заканчиваются на отрицательных зарядах. Из соображений симметрии в точке посредине между двумя зарядами поле равно нулю, т.е. линий напряженности там нет. На прямой, проходящей через середину отрезка, соединяющего заряды, перпендикулярно ему, линии напряженности сходятся из бесконечности. На прямой, проходящей через заряды, линии напряженности сходятся из бесконечности. Линии напряженности двух отрицательных зарядов приведены на рис. 17.

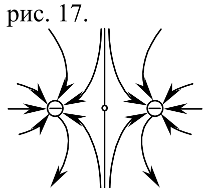


Рис. 17.

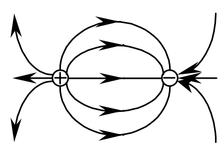


Рис. 18.

д) Линии напряженности начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных. На прямой, проходящей через середину отрезка, соединяющего заряды, перпендикулярно ему, касательная к линиям напряженности параллельна этому отрезку. На прямой, соединяющей положительный и отрицательный заряды, линии напряженности исходят из положительных и сходятся к отрицательным зарядам. Линии напряженности поля положительного и отрицательного зарядов приведены на рис. 18.

§ 58. Основная теорема электростатики

1. Поле называется потенциальным, если работа этого поля по любой замкнутой траектории равна нулю, и работа по перемещению между точками не зависит от формы траектории.

2. Основная теорема электростатики состоит в том, что электрическое поле потенциально.

3. Предположим, что существует замкнутая силовая линия электрического поля. Тогда при перемещении вдоль этой линии работа будет не равна нулю, а это противоречит условию потенциальности. Значит, силовые линии не замкнуты.

§ 59. Энергетические характеристики электрического поля

1. Потенциалом φ называется отношение потенциальной энергии поля W к величине пробного заряда q: $\varphi = W/q$.

2. Потенциал поля точечного заряда определяется формулой $\varphi = k\dfrac{q_0}{r} + C$.

3. Закон сохранения энергии для частицы, движущейся в электростатическом поле: $\dfrac{mv^2}{2} + q\varphi = const$.

4. Напряжением U называется отношение работы A, совершаемой электростатическим полем при перемещении пробного заряда q из одной точки в другую: $U = A/q$.

5. $A = W_1 - W_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2)$; $U = \dfrac{A}{q} = \dfrac{q(\varphi_1 - \varphi_2)}{q} = \varphi_1 - \varphi_2$.

6. Теорема о кинетической энергии для заряженной частицы, движущейся в электростатическом поле: $\dfrac{mv^2}{2} - \dfrac{mv_0^2}{2} = qU$.

7. $\varphi_1 = k\dfrac{q_1}{r} + C$.

Выберем константу C такой, чтобы потенциал обращался в нуль на бесконечности, т.е. $C = 0$.

$\varphi_1 = k\dfrac{q_1}{r}$. $W = \varphi_1 q_2 = k\dfrac{q_1 q_2}{R}$.

При $R = r$ $W = k\dfrac{q_1 q_2}{r}$.

§ 60.Связь между напряженностью и напряжением

1. $A = qU$; $A = \vec{F}\cdot\vec{d}$; $\vec{F} = q\vec{E}$. $qU = q\vec{E}\cdot\vec{d} = qEd\cos\alpha$.

$U = Ed\cos\alpha = E_z d$, где $E_z = E\cos\alpha$, если мы направим ось z по направлению вектора $\vec{d}$.

2. $E_z = E\cos\alpha$. Значит максимальное значение $E_z = E$, если $\cos\alpha = 1$. $E_z = U/d = (\varphi_1 - \varphi_2)/d$. Отсюда следует, что $E = (\varphi_1 - \varphi_2)/d$, где разность $\varphi_1 - \varphi_2$ максимальна. Т.к. $E > 0$, то $\varphi_1 - \varphi_2 > 0$. Таким образом, напряженность направлена в сторону наиболее сильного уменьшения потенциала.

3. Эквипотенциальной называется поверхность, значения потенциала на которой постоянны.

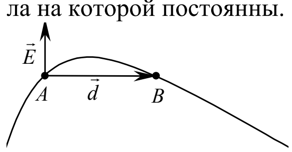


Рис. 19.

4. Рассмотрим две близкие точки A и B на эквипотенциальной поверхности (см. рис. 19). Потенциалы в этих точках $\varphi(A)$ и $\varphi(B)$ равны, т.е. $\varphi(A) - \varphi(B) = 0$. Пусть малое расстояние между точками A и B равно $\vec{d}$. Тогда $\varphi(A) - \varphi(B) = \vec{E} \cdot \vec{d}$ (Малость d требуется, чтобы было можно использовать эту формулу, справедливую для однородного поля. При этом мы считаем, что на расстоянии d поле меняется не сильно и может считаться однородным). Значит, $\vec{E} \cdot \vec{d} = 0$. Значение этого скалярного произведения равно нулю, если, либо $E = 0$, либо $d = 0$, либо $\vec{E}$ перпендикулярно $\vec{d}$. Два первых условия не выполнены, значит, выполнено третье условие, т.е. $\vec{E}$ перпендикулярно $\vec{d}$. Учитывая, что $\vec{d}$ мало, $\vec{d}$ — касательная к эквипотенциальной поверхности. Отсюда заключаем, что напряженность перпендикулярна эквипотенциальной поверхности, т.е. силовые линии электростатического поля перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям.

5. Рассмотрим две точки A и B на эквипотенциальной поверхности. Сохраним обозначения из вопроса 4. Пусть A — работа поля по перемещению заряда q по эквипотенциальной поверхности.

$A = q(\varphi(A) - \varphi(B)) = q \cdot 0 = 0$.

Глава 11. Постоянное магнитное поле в вакууме

§ 61. Магнитное поле равномерно движущегося заряда

1. Электромагнитное поле покоящегося заряда является только электрическим. В отличии от него электромагнитное поле движущегося заряда является не только электрическим, но и магнитным.

2. Вектор индукции магнитного поля направлен перпендикулярно радиус-вектору $\vec{r}$ и скорости заряда $\vec{v}$.

3. Для доказательства воспользуемся соотношениями: $\vec{B} \sim q\vec{v}_0 \times \vec{r}$, $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$, т.е. $\vec{F} \sim qq_0\left[\vec{v} \times \left[\vec{v}_0 \times \vec{r}\right]\right]$. По правилу левой руки и учитывая, что $qq_0 > 0$, получаем, что магнитная сила Лоренца, действующая на заряд q является притягивающей к заряду q_0. Проводя аналогичные рассуждения и поменяв заряды q и q_0, получаем, что они притягиваются.

4. Проводя аналогичные рассуждения, что и в вопросе 3, и учитывая, что $qq_0 < 0$, получаем, что разноименные заряды, движущиеся по параллельным траекториям, будут отталкиваться.

5. Для доказательства воспользуемся соотношениями: $\vec{B} \sim q\vec{v}_0 \times \vec{r}$, $\vec{F} = -q\vec{v} \times \vec{B}$ (скорость $-\vec{v}$ заряда q направлена противоположно скорости $\vec{v}_0$) т.е. $\vec{F} \sim -qq_0\left[\vec{v} \times \left[\vec{v}_0 \times \vec{r}\right]\right]$. По правилу левой руки и учитывая, что $-qq_0 < 0$, получаем, что магнитная сила Лоренца, действующая на заряд q является отталкивающей от заряда q_0. Проводя аналогичные рассуждения и поменяв заряды q и q_0, получаем, что они отталкиваются.

6. Проводя аналогичные рассуждения, что и в вопросе 5, и учитывая, что $-qq_0 > 0$, получаем, что разноименные заряды, движущиеся по параллельным траекториям, будут притягиваться.

§ 62. Характер магнитного поля

1. Эрстед поместил рядом с проволокой магнитную стрелку и пропустил по проволоке ток. Он обнаружил, что при протекании по проводнику тока находящаяся рядом с ним магнитная стрелка отклоняется. При этом наблюдалось следующее явление: северный (южный) конец стрелки отклонялись в разные стороны в зависимости от того, сверху или снизу от стрелки был расположен проводник. Так он сделал вывод, что магнитное поле является вихревым.

2. Магнитное поле является вихревым

3. Силовые линии магнитного поля не пересекаются; они либо выходят из бесконечности и уходят в бесконечность, либо замкнуты.

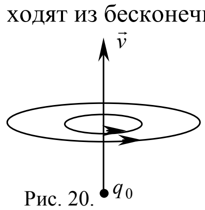


Рис. 20.

4. Формула 61.3 учебника (см. рис. 20): $\vec{B} = k\dfrac{q_0\vec{v} \times \vec{r}}{c^2 r^3}$.

5. Соленоидом называют катушку, на которую намотан проводник.

6. Это правило называется правилом правой руки: если обхватить проводник правой рукой, направив большой палец вдоль направления тока, то остальные пальцы указывают направление силовых линий магнитного поля, создаваемого данным током.

7. По аналогии с существующими отдельно друг от друга разноименными электрическими зарядами были попытки получить отдельный магнитный заряд (северный или южный). Эти попытки до сих пор не увенчались успехом. В теории эти заряды именуют монополями Дирака.

§ 63. Закон Ампера

1. Силой Ампера называю силу действия магнитного поля на помещенный в него участок проводника с током.

2. Закон Ампера выражается формулой: $F_A = BIl\sin\alpha$.

3. Сила Ампера направлена перпендикулярно проводнику с током и вектору магнитной индукции. Направление этой силы определяется по правилу левой руки: если четыре пальца направить по направлению силы

тока в участке проводника и вектор магнитной индукции входит в ладонь, то отогнутый на 90° большой палец укажет направление силы Ампера.

4. Причина возникновения силы Ампера заключается в том, что на каждый заряд в проводнике действует магнитная сила Лоренца.

5. Параллельные токи притягиваются, а антипараллельные — отталкиваются.

6. Доказательство для параллельных токов приведено на рис. 21а, для антипараллельных — на рис. 21б.

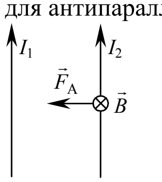


Рис. 21а.

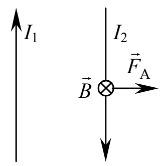


Рис. 21б.

7. Магнитное поле не действует на проводник с током в том случае , если вектор магнитной индукции параллелен току.

§ 64. Действие магнитного поля на рамку с током

1. Нормалью к рамке с током называют вектор $\vec{n}$, который перпендикулярен плоскости рамки и направлен в ту сторону, куда перемещался бы буравчик при вращении его по направлению тока в рамке.

2. Магнитное поле поворачивает рамку с током до тех пор, пока она не станет располагаться перпендикулярно силовым линиям поля.

3. При протекании тока по якорю на него начинает действовать сила Ампера. В результате этого возникает вращающий момент сил, и рамка начинает вращаться.

4. При прохождении тока по рамке с катушкой в результате действия силы Ампера возникает вращающий момент, который отклоняет стрелку. По величине этого отклонения можно определить силу тока в рамке.

Электромагнитное поле в веществе

Глава 12. Электростатика проводников и диэлектриков

§ 65. Диэлектрики в электрическом поле

1. Диэлектриками называются вещества, не содержащие свободных зарядов. К диэлектрикам относятся стекло, керосин и т.д.

2. Полярные диэлектрики отличаются от неполярных тем, что у них в молекулах не совпадают центры распределения положительных и отрицательных зарядов.

3. Поляризацией диэлектрика называют смещение отрицательных и положительных зарядов внутри диэлектрика в противоположные стороны.

4. Диэлектрической проницаемостью среды называется безразмерная физическая величина, равная отношению модуля напряженности электрического поля в вакууме к модулю напряженности электрического поля внутри однородного и изотропного диэлектрика.

5. Электрическое поле в диэлектрике ослабляется действием электрического поля индуцированных зарядов.

§ 66. Проводники в электрическом поле

1 Проводниками называют вещества, которые содержат свободные заряженные частицы.

2. Явление электростатической индукции заключается в появлении на противоположных сторонах проводника зарядов разных знаков при его помещении во внешнее электростатическое поле.

3. 1) Внутри заряженного проводника отсутствует электростатическое поле.

2) Статический заряд проводника может располагаться только на его поверхности.

3) Напряженность на поверхности проводника направлена перпендикулярно к этой поверхности.

4) Если внутри проводника имеется полость, то электрическое поле в ней отсутствует.

5) Во всех точках проводника потенциал постоянен.

6) Электрическое поле на выступах проводника сильнее, чем на впадинах.

4. Электростатическая защита основана на теореме Фарадея (см. предыдущий вопрос 4).

§ 67. Электрическая емкость. Конденсаторы

1. Конденсатором называют систему из двух проводников, разделенных слоем диэлектрика, способную накапливать электрический заряд.

2. Существуют различные виды конденсаторов плоские, цилиндрические, сферические и т.д.

3. Емкостью называют физическую величину, равную отношению заряда на обкладке конденсатора к напряжению между обкладками: $C = q/U$, где C — емкость, q — заряд обкладки, U — напряжение.

4. Емкость плоского конденсатора вычисляется по формуле : $C = \dfrac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$; где $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \dfrac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ — электрическая постоянная; S — площадь обкладок и d — расстояние между ними.

5. В системе СИ — 1 Ф (фарад).

§ 68. Энергия электирического поля

1. $E = U/d = q/Cd$; $C = \varepsilon_0\varepsilon S/d \Rightarrow E = q/\varepsilon_0\varepsilon S$.

2. Энергия электрического поля внутри конденсатора вычисляется по формуле: $W_{эл} = \dfrac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2} Sd$, где E — напряженность поля.

3. Объемной плотностью энергии электрического поля называют энергию в единице объема поля.

4. Энергия заряженного конденсатора вычисляется по формуле:
$W_{эл} = q^2/2C$, где q — заряд обкладки; C — емкость.

§ 69. Электрическое поле Земли

1. Земной шар обладает отрицательным электрическим зарядом.

2. Напряженность электрического поля вблизи поверхности Земли равна E = 130 В/м.

3.Тело человека является хорошим проводником и поэтому образует с поверхностью Земли одну эквипотенциальную поверхность.

4. $E = k\dfrac{|q|}{r^2} \Rightarrow |q| = \dfrac{Er^2}{k} = \dfrac{130\ \text{В}/\text{м} \cdot (6{,}4 \cdot 10^6\ \text{м})^2}{9 \cdot 10^9\ \text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2} \approx 6 \cdot 10^5$ Кл.

5. Напряженность электрического поля Земли направлена вниз, потому, что заряд Земли отрицателен.

6. Электрический потенциал Земли увеличивается с высотой из-за того , что вектор напряженности земного поля $\vec{E}$ направлен вертикально вниз.

Глава 13. Постоянный ток в металлах

§ 70. Основные представления электронной теории металлов

1. Электрическим током называют упорядоченное движение заряженных частиц.

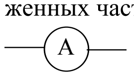


Рис. 22.

2. Из поставленных опытов Рикке сделал вывод, что при протекании тока через проводник переноса вещества проводника не происходит (см. рис. 22).

3. Суть опытов Л. И. Мандельштама и К. Д. Папалески заключалась в том, что при интенсивных крутильных колебаниях проволочной катушки в последней возникал электрический ток. Этот ток обнаруживался посредством телефонной трубки, присоединенной к катушке.

4. Из опытов Стюарта и Толмена следовало, что металлы обладают электронной проводимостью.

5. Основные представления классической электронной теории металлов звучат следующим образом:

1) строение металлов представляет собой кристаллическую решетку, в узлах которой находятся положительно заряженные ионы;

2) свободные электроны движутся хаотично;

3) металлы обладают электронной проводимостью;

4) при действии внешнего поля $\vec{E}$ на хаотическое движение электронов в проводнике накладывается упорядоченный дрейф электронов;

5) внешнее поле не влияет на концентрацию электронов в единице объема металла.

6. $m\vec{a} = \vec{F}_{эл} + \vec{F}_{с}$; $\vec{F}_{эл} = -e\vec{E}$; $\vec{F}_{с} = -\frac{m}{\tau}\vec{v} \Rightarrow m\vec{a} = -e\vec{E} - \frac{m}{\tau}\vec{v}$.

7. Концентрацией частиц называют отношение числа частиц, содержащихся в некотором объеме к этому объему.

§ 71. Постоянный ток в проводнике

1. Силой тока называют физическую величину, равную отношению протекшего через поперечное сечение проводника заряда Δq ко времени его протекания Δt: $I = \Delta q/\Delta t$.

2. Сила тока измеряется прибором ,называемым амперметром.

3. Пусть за время Δt через сечение проводника S прошло N электронов общим зарядом Ne. Если скорость направленного движения электронов обозначить за v, то за время Δt все они окажутся в пределах участка объемом $V = Sl = \Delta tvS$. Тогда: $v = \frac{l}{\Delta t} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \cdot \frac{l}{\Delta q} = \frac{Il}{\Delta q} = \frac{Il}{Ne}$.

Поскольку $N = nV = nSl$, то $v = \frac{I}{neS}$.

4. Постоянным называется электрический ток, который не меняется во времени.

5. Электрическое поле постоянного тока является постоянным.

6. $m\vec{a} = -e\vec{E} - \frac{m}{\tau}\vec{v}$. Постоянство скорости означает, что $\vec{a} = 0$, значит $\vec{E} = -\frac{m}{e\tau}\vec{v} = const$.

§ 72. Закон Джоуля-Ленца

1. При прохождении тока через проводник дрейфующие электроны испытывают столкновения с узлами решетки и встречными частицами. Кинетическая энергия электронов переходит во внутреннюю энергию проводника.

2. Электрическое сопротивление проводника зависит от геометрических размеров проводника, а также от среднего времени пробега и концентрации электронов.

3. Выделяемое проводником с током количество теплоты равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени прохождения по нему тока: $Q = I^2Rt$, где I — сила тока, R — сопротивление, t — время.

§ 73. Сопротивление в проводнике

1. Удельным сопротивлением проводника называют физическую величину, равную сопротивлению цилиндрического проводника единичной длины и единичной площади поперечного сечения.

2. $R = \rho \dfrac{l}{S}$, где ρ — удельное сопротивление, l — длина проводника, а S — его площадь поперечного сечения.

3. При повышении температуры сопротивление проводника увеличивается, поскольку время свободного пробега электронов в проводнике уменьшается.

4. $\rho_2 = \rho_1(1 + \alpha\Delta t)$; где — удельное сопротивление при некоторой начальной температуре t_1, Δt — приращение температуры, α — температурный коэффициент сопротивления.

5. Сопротивление металлических проводников, согласно квантовой теории, обусловлено рассеянием электронов, примесными атомами, рассеянием электронов другими электронами и рассеянием электронов колебаниями ионов решетки.

6. Сверхпроводимостью называется явление, заключающееся в резком падении удельного сопротивления вещества до нуля при температурах, близких к абсолютному нулю.

7. Сверхпроводники применяются при создании сверхсильных магнитных полей, в ускорителях.

§ 74. Стороннее поле. ЭДС

1. Полное сопротивление цепи складывается из сопротивления внешней цепи — потребителей тока и сопротивления внутреннего — источника тока.

2. Постоянный ток в цепи не может поддерживаться потенциальными полями, которыми являются, в частности электростатическое и стационарное электрическое поле.

3. Сторонним полем называют непотенциальное поле, компенсирующее тепловые потери энергии в проводнике.

4. Электродвижущей силой называют физическую величину, равную отношению работы стороннего поля к заряду, по перемещению которого совершается эта работа: $\mathcal{E} = \dfrac{A_{стор}}{q}$.

5. Сторонние поля создаются в источниках тока.

§ 75. Законы Ома

1. Закон Ома для активного участка цепи: сила тока на активном участке цепи прямо пропорциональна сумме ЭДС на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению: $I = \dfrac{U + \mathcal{E}}{R}$.

Доказательство: Работа на участке: $A = A_{пот} + A_{ст} \Rightarrow \dfrac{A}{q} = \dfrac{A_{ст}}{q} + \dfrac{A_{пот}}{q}$.

Так как $\dfrac{A_{ст}}{q} = \mathcal{E}$; $\dfrac{A_{пот}}{q} = U$; $\dfrac{A}{q} = I \cdot R \Rightarrow IR = U + \mathcal{E} \Rightarrow I = \dfrac{U + \mathcal{E}}{R}$.

Закон Ома для пассивного участка цепи: сила тока на пассивном участке цепи прямо пропорциональна напряжению на его концах и обратно пропорциональна его сопротивлению: $I = \dfrac{U}{R}$.

2. Для определения сопротивления проводника, располагая амперметром и вольтметром, надо найти отношение измеренного напряжения на его концах к измеренной силе тока, протекающего через проводник.

3. Закон Ома для полной цепи: сила тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна ЭДС и обратно пропорциональна ее полному сопротивлению.

Для доказательства воспользуемся обобщенным законом Ома: $I = \dfrac{U + \mathcal{E}}{R_п}$. Учитывая, что $U = 0$, $R_п = R + r$, находим: $I = \dfrac{\mathcal{E}}{R + r}$.

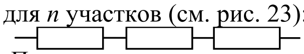
4. Связь напряжения между полюсами источника и его ЭДС выражается формулой: $\mathcal{E} = U + Ir$, где I — сила тока, r — внутреннее сопротивление источника. Они равны, если $r = 0$.

5. При коротком замыкании сила тока резко возрастает.

§ 76. Расчет электрических цепей

1. Общая сила тока в замкнутой цепи находится по следующему закону: $I_{об} = \mathcal{E}/(R_{об}+r)$, где $\mathcal{E}$ — ЭДС, r — внутреннее сопротивление, а $R_{об}$ — общее сопротивление цепи.

2. Законы последовательного сопротивления проводников выглядят следующим образом для n участков (см. рис. 23):



Последовательное соединение

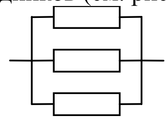
Рис. 23.

$I_{об} = I_1 = I_2 = \ldots = I_n$ по закону сохранения заряда;

$U_{об} = U_1 + U_2 + \ldots + U_n$, т.к. потенциал φ_n в конце n-ого проводника равен потенциалу в начале $(n + 1)$-ого проводника;

$R_{об} = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$ — это соотношение получается делением второго на первое.

3. Законы параллельного соединения проводников выглядят следующим образом для n проводников (см. рис. 24):



Параллельное соединение

Рис. 24.

$I_{об} = I_1 + I_2 + \ldots + I_n$ по закону сохранения заряда;

$U_{об} = U_1 = U_2 = \ldots = U_n$, т.к. потенциалы в начале и конце каждого проводника равны соответственно;

$\frac{1}{R_{об}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$ — это соотношение получается делением второго на первое.

4. Вывод формулы (76.10):

Поскольку $\frac{1}{R_{об}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$, $R_{об} = R_1 = R_2 = \ldots = R_n$, то $\frac{1}{R_{об}} = \frac{1}{R_1}(1+1+\ldots+1) = \frac{n}{R} \Rightarrow R_{об} = \frac{R}{n}$.

Вывод формулы (76.11):

Поскольку $\frac{1}{R_{об}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$, то $\frac{1}{R_{об}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \Rightarrow R_{об} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

§ 77. Мощность постоянного тока

1. Полная мощность тока в замкнутой цепи вычисляется по формуле: $P = I\mathcal{E}$, где I — сила тока, $\mathcal{E}$ — ЭДС.

2. Полезная мощность тока вычисляется по одной из нижеприведенных формул: $P = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}$, где I — сила тока, U — напряжение, R — сопротивление.

3. Потери мощности можно вычислить по формуле: $\Delta P = I^2r$, где I — сила тока, r — внутреннее сопротивление источника тока.

4. КПД источника тока можно определить по формуле: $\eta = \frac{P}{P_0} = \frac{R}{R+r}$.

5. Полезная мощность максимальна в том случае, когда внутреннее сопротивление цепи равно внешнему сопротивлению ($R = r$). КПД при этом равен: $\eta = R/2R = 0{,}5$.

Глава 14. Электрический ток в полупроводниках, электролитах, газах и вакууме

§ 78. Полупроводники

1. Полупроводниками называют вещество, электрическая проводимость которых занимает промежуточное место между проводимостью диэлектриков и металлов.

2. При низких температурах в полупроводниках все электроны участвуют в ковалентных связях. Из-за отсутствия свободных электронов сопротивление увеличивается.

3. При повышении температуры количество свободных электронов в полупроводниках увеличивается и, следовательно, сопротивление уменьшается. В металлах концентрация электронов от температуры практически не зависит, но сопротивление увеличивается за счет увеличения интенсивности колебаний ионов и атомов кристаллической решетки.

4. Дыркой называют незанятое электроном состояние в ковалентной связи между атомами полупроводника.

5. Собственную проводимость полупроводников обеспечивают электроны и дырки.

6. Донорной называют примесь, атомы которой имеют большую валентность, чем атомы основного полупроводника.

7. Акцептерной называют примесь, атомы которой имеют меньшую валентность, чем атомы основного полупроводника.

8. Полупроводник n-типа обладает электронной проводимостью.

9. Полупроводник p-типа обладает дырочной проводимостью.

§ 79. Электронно-дырочный переход

1.Электронно-дырочным переходом называют слой, возникающий на границе контакта полупроводников с p и n проводимостью.

2. Электронно-дырочный переход иначе называется p-n-переходом.

3. В p-n-переходе хаотически движущиеся электроны за счет разности концентраций диффундируют из n-области в p-область, а дырки, наоборот, из p-области в n-область. В результате n-область приобретает положительный заряд, а p-область — отрицательный. В итоге образуется двойной слой этих зарядов (запирающий слой), поле которого препятствует дальнейшей диффузии электронов и дырок.

4. При обратном включении p-n-перехода в цепь толщина запирающего слоя будет увеличиваться, и в результате ток через него не потечет. При прямом включении p-n-перехода в цепь толщина запирающего слоя будет уменьшаться, его поле ослабляться, и ток потечет.

§ 80. Полупроводниковые приборы

1. Терморезисторами называют полупроводниковые приборы, меняющие свое сопротивление в зависимости от температуры (см. рис. 25). Их используют для дистанционного измерения температуры. Фоторезисторами называют полупроводниковые приборы, меняющие свое сопротивление в зависимости от действующего на них света (см. рис. 26).

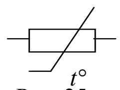


Рис. 25.

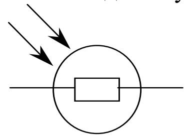


Рис. 26.

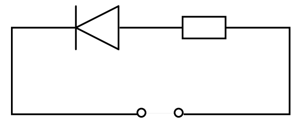
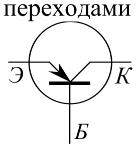


Рис. 27.

2. Полупроводниковый диод — это прибор с одним *p-n*-переходом. Он используется, например, для выпрямления электрического тока.

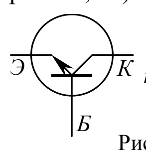
3. Действие простейших выпрямителей основано на включение в цепь переменного тока полупроводникового диода, пропускающего ток в цепи только в одну сторону (см. рис. 27).

4. Транзистором называют полупроводниковый прибор с двумя *p-n*-переходами и тремя выводами (см. рис. 28, 29).



p-n-p-переход.

Рис. 28.



n-p-n-переход.

Рис. 29.

5. Усилителями называют приборы, которые усиливают электрическое напряжение, почти не искажая его. Действие усилителя на транзисторах показано на рис.30.

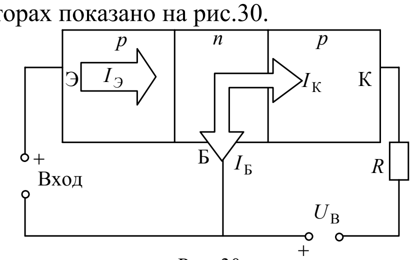


Рис. 30.

§ 81. Термоэлектронная эмиссия и электровакуумные приборы

1. Термоэлектронной эмиссией называют физическое явление, заключающееся в вылете электронов из нагретого тела.

2. Вылет электрона из вещества происходит в том случае, когда его энергия превышает или равна работе выхода электрона из вещества.

3. Работу, которую необходимо совершить для удаления электрона из вещества называют работой выхода.

4. Вакуумный диод представляет собой двухэлектродную лампу с откачанным воздухом.

5. Вакуумный обладает односторонней проводимостью из-за того, что электроны могут двигаться только от нагретого катода к аноду, но не в обратном направлении. Схема простейшего однополупериодного выпрямителя на вакуумном диоде приведена на рис. 31.

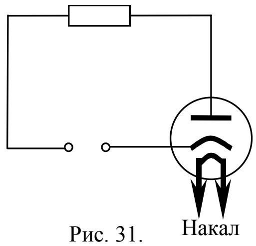


Рис. 31.

Рис. 32.

6. Устройство электронно-лучевой трубки схематически приведено на рис. 32.

Электронно-лучевые трубки используются в различных приборах: телевизорах, осциллографах.

§ 82. Электрический ток в газах. Плазма

1. Носителями тока в газах являются как и отрицательно, так и положительно заряженные ионы, а также электроны. Эти частицы получают, воздействуя на газ ионизирующим пучком (поток быстрых электронов, рентген и т.д.).

2. Самостоятельный разряд отличается от несамостоятельного тем, что для поддержания самостоятельного разряда не требуется постоянного воздействия на газ ионизирующего воздействия.

3. Самостоятельный разряд поддерживается за счет увлечения носителей тока эмиссией электронов из катода и ионизацией электронным ударом.

4. Различают следующие виды самостоятельных разрядов: искровой, коронный, тлеющий и дуговой.

5. Плазмой называют высокоионизированный газ. В плазменном состоянии, например, находится вещество ядра Солнца.

§ 83. Электрический ток в электролитах. Закон электролиза

1. Электролитами называют вещества с ионной проводимостью.

2. Носителями тока в электролитах являются положительные и отрицательные ионы.

3. Электролитической диссоциацией называют физическое явление, заключающееся в распаде молекул растворенного вещества на ионы под действием полярных молекул растворителя. Примером электролитической диссоциации является растворение медного купороса.

4. Электролизом называют выделение на электродах, входящих в состав электролита веществ.

5. Процесс рафинирования металлургической меди заключается в диссоциации солей меди в электролитической ванне и последующем оседании образовавшихся ионов меди на катоде.

6. Гальваностегией называют покрытие металлических тел слоем другого металла путем электролиза. Гальванопластикой называют получение металлических копий путем электролиза с матриц.

7. Закон Фарадея связывает массу выделившегося в результате электролиза вещества на электроде с силой тока на нем: $m = kI\Delta t$, где m — масса выделившегося вещества, I — сила тока, k — электрохимический эквивалент вещества, Δt — промежуток времени.

Глава 15. Магнитные свойства вещества

§ 84. Магнитное поле в веществе

1. Слово «магнит» произошло от названия древнегреческого города Магнезии, вблизи которого обнаруживались природные магниты.

2. Ампер выдвинул гипотезу о существовании в некоторых телах элементарных круговых токов, которые обуславливают магнитные свойства этого вещества.

3. Магнитной проницаемостью называют физическую величину, равную отношению индукции магнитного поля в среде к индукции магнитного поля в вакууме: $\mu = \dfrac{B}{B_0}$, здесь B — магнитная индукция в среде, B_0 — магнитная индукция в вакууме.

4. Парамагнетиками называют вещества с магнитной проницаемостью $\mu > 1$. Диамагнетиками называют вещества с магнитной проницаемостью $\mu < 1$. Парамагнетики: воздух, платина, алюминий; диамагнетики: золото, цинк, стекло.

5. Ферромагнетиками называют вещества с большими значениями магнитной проницаемости. К ферромагнетикам относятся следующие вещества: сталь, никель, кобальт и т.д.

6. К основным свойствам ферромагнетиков относятся: остаточная намагниченность, способность под действием небольшого внешнего поля создавать собственное, во много раз большее.

7. Железная деталь, нагретая до 800° С, не будет притягиваться к магниту поскольку эта температура выше температуры Кюри для железа (t_C = 768° С).

8. Ферритами называют вещества, представляющие собой соединения оксида железа Fe_2O_3 с оксидами других металлов. Ферриты применяются в радиотехнике, электронике.

§ 85. Магнитное поле Земли

1. Существование магнитного поля Земли подтверждает однозначная ориентация магнитной стрелки.

2. Северный магнитный полюс находится в южном полушарии вблизи южного географического полюса. Южный магнитный полюс находится в северном полушарии вблизи северного географического полюса.

3. Инверсиями называют происходящие раз в 150000 лет изменения расположения магнитных полюсов Земли на противоположные.

4. В магнитосфере происходят такие процессы, как полярные сияния и магнитные бури.

5. Магнитное поле Земли, по современным гипотезам, создается движением вещества в жидком металлическом ядре планеты.

Переменное электромагнитное поле

Глава 16. Электромагнитные колебания

§ 86. Индукция электрического тока

1. Майкл Фарадей родился в 1791 году.

2. Когда Джозеф Генри открыл индукцию электрических токов, ему было 33 года.

3. Индукцию тока можно наблюдать в цепи, состоящей из гальванометра и катушки. Вводя в катушку магнит, можно по отклонению стрелки обнаружить появление в цепи электрического тока.

4. Чтобы в неподвижном проводнике появился индукционный ток, магнитное поле должно быть переменным.

§ 87. Правило Ленца

1. Число силовых линий магнитного поля, пронизывающих данный контур, зависит от интенсивности поля и взаимного расположения контура и магнита.

2. Чтобы определить направление вектора нормали необходимо выбрать направление обхода контура. После выбора направления путем вращения по нему рукоятки буравчика определяют направление его перемещения, указывающее направление вектора $\vec{n}$.

3. Магнитным потоком называют физическую величину, пропорциональную числу силовых линий, пересекающих контур, $\Phi = BS\cos\alpha$ здесь $\vec{B}$ — вектор магнитной индукции, S — площадь контура, α — угол между нормалью к контуру и вектором $\vec{B}$.

4. В системе СИ — 1 Вб (вебер).

5. В общем случае правило Ленца звучит следующим образом: индукционный ток всегда имеет направление, при котором возникает противодействие причинам, его породившим.

6. Пусть мы двигаем магнит в сторону замкнутого контура. При этом кинетическая энергия магнита уменьшается за счет перехода ее части в энергию индукционного тока.

§ 88. Закон электромагнитной индукции

1. Электромагнитной индукцией называют порождение вихревого электрического поля переменным магнитным полем.

2. Электрическое поле, порождаемое переменным магнитным током, в отличие от электростатического, является вихревым.

3. Переменное магнитное поле порождает вихревое электрическое поле, которое действует на свободные электроны в проводнике. Возникает электрический ток.

4. Магнитная сила Лоренца, действующая на свободные электроны в неподвижной катушке, не может вызвать в ней ток, поскольку средняя скорость движения электронов равна нулю.

5. Силу индукционного тока можно определить с помощью закона электромагнитной индукции и закона Ома.

6. Закон электромагнитной индукции: ЭДС индукции в контуре равна отношению изменения магнитного потока за промежуток времени Δt к этому времени, взятому с противоположным знаком: $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, здесь Ф — магнитный поток, t — время. ЭДС индукции тока в катушке из N витков можно определить по формуле $\mathcal{E}_i = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

§ 89. Генераторы тока

1. Генератор переменного тока представляет собой устройство для преобразования механической энергии вращения в электрическую энергию переменного тока. Генератор переменного тока состоит из якоря — обмотки, в которой возникает ток, и индуктора — магнита, создающего магнитное поле. Якорь вращается в поле индуктора и в нем в результате электромагнитной индукции возникает электрический ток.

2. Генератор постоянного тока отличается от генератора переменного тока тем, что вместо сплошных колец в нем используются полукольца.

§ 90. Самоиндукция

1. Самоиндукцией называется явление возникновения вихревого электрического поля в проводящем контуре при изменении в нем силы тока.

2. При самоиндукции проявляется правило Ленца: при самоиндукции возникает вихревое электрическое поле, имеющее направление, при котором возникает противодействие тому изменению силы тока в цепи, которое его вызвало.

3. Индуктивностью L называют коэффициент пропорциональности между магнитным потоком Ф, пронизывающим контур и создающей его силой тока в контуре I: $L = \Phi/I$.

4. В системе СИ — 1 Гн (генри). Единица измерения названа так в честь ученого Джозефа Генри.

5. Индуктивность проводника зависит от его геометрических размеров и формы и магнитных свойств среды, в которую он помещен.

6. Индуктивность катушки можно увеличить путем увеличения площади соленоида, числа витков или уменьшения длины соленоида.

7. ЭДС самоиндукции вычисляется по формуле: $\mathcal{E}_S = -LI'$, где L — индуктивность, I' — производная силы тока по времени.

8. Явление самоиндукции аналогично явлению инертности в механике.

9. Магнитную энергию тока можно найти по формуле: $W_{\text{м}} = \dfrac{LI^2}{2}$, где L — индуктивность, I —сила тока.

10. Первой полным накалом загорится лампа 1, поскольку благодаря катушке L в ветви с лампочкой 2 будет возникать индукционный ток, препятствующий быстрому установлению тока в лампочке 2.

Глава 17. Электромагнитные колебания

§ 91. Переменный ток

1. Гармоническими называются колебания по закону синуса или косинуса.

2. Электромагнитными называются гармонические колебания напряжения, силы тока, напряженности электрического поля и т.д.

3. Гармонические колебания характеризуются периодом, амплитудой, частотой и циклической частотой колебаний.

4. Переменным называется ток, меняющийся во времени.

5. Гармоническим называется переменный ток, возникающий в генераторе переменного тока с синусоидальной ЭДС.

6. Фазой колебания называют аргумент функции, описывающей гармонические колебания.

7. Средняя мощность переменного тока вычисляется по формуле: $\overline{P} = I_{\text{д}} U_{\text{д}} \cos \Delta\varphi$, здесь $I_{\text{д}}$ — действующая сила тока, $U_{\text{д}}$ — действующее напряжение, $\Delta\varphi$ — разность фаз колебаний силы тока и напряжения

8. Действующей (или эффективной) силой тока называют физическую величину, равную: $I_{д} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$, где I_m — амплитуда силы тока. Действующим (или эффективным) напряжением называют физическую величину, равную: $U_{д} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$, где U_m — амплитуда напряжения

9. Амплитуда напряжения в сети с напряжением 220 В приблизительно равна: $U_m = \sqrt{2}U_{д} \approx 1{,}4 \cdot 220$ В = 308 В. Частота в такой сети равна 50 Гц.

§ 92. Сопротивление в цепи переменного тока

1. Элементы электрической цепи обладают активным сопротивлением в том случае, когда электрическая энергия в них необратимо преобразуется во внутреннюю. В противном случае элементы обладают реактивным сопротивлением.

2. Сила тока и напряжение в цепи с резистором связаны выражением: $I_{д} = \frac{U_{д}}{R}$, где $I_д$ — действующая сила тока, $U_д$ — действующее напряжение, R — сопротивление резистора.

3. Колебания силы тока и напряжения в цепи с активным сопротивлением происходят в одной фазе, следовательно, их разность фаз равна нулю.

4. Емкостным сопротивлением X_C называется следующая физическая величина: $X_C = 1/\omega C$, где C — емкость конденсатора, ω — циклическая частота переменного тока в цепи.

5. Сила тока I_m и напряжение U_m в цепи с конденсатором связаны формулой: $I_m = U_m/X_C$, где X_C — емкостное сопротивление.

6. Сила тока в цепи с конденсатором, напряжение на котором равно нулю, равна по модулю амплитуде силы тока.

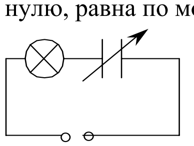


Рис. 33.

7. Если увеличить емкость конденсатора в данной цепи, то сила тока в этой цепи также увеличится. Лампа станет гореть ярче (см. рис. 33).

8. Индуктивным сопротивлением X_L называется следующая физическая величина: $X_L = \omega L$, где L — индуктивность, ω — циклическая частота переменного тока в цепи.

9. Индуктивное сопротивление катушки постоянному току равно нулю.

10. Сила тока I_m и напряжение U_m в цепи с катушкой индуктивности связаны формулой: $I_m = \frac{U_m}{X_L}$, где X_L — индуктивное сопротивление.

11. Напряжение на катушке, когда сила тока на ней равна нулю, по модулю равна амплитуде силы тока.

12. Если вынуть сердечник из катушки, то индуктивность и соответственно индуктивное сопротивление уменьшится. В силу закона Ома сила тока возрастет, а, значит, увеличится накал лампы.

13. Причиной появления индуктивного сопротивления является явление самоиндукции.

§ 93. Колебательный контур

1. Колебательным контуром называется цепь, состоящая из конденсатора и катушки индуктивности.

2. Полная энергия колебательного контура вычисляется по формуле: $W = \frac{LI^2}{2} + \frac{q^2}{2C}$, где $\frac{LI^2}{2}$ — энергия магнитного поля катушки с током, $\frac{q^2}{2C}$ — энергия электрического поля конденсатора.

3. При свободных электромагнитных колебаниях в колебательном контуре периодически изменяется сила тока в катушке и заряд на конденсаторе, а также электрическое и магнитное поля в контуре.

4. Причиной свободных колебаний в контуре является действие на свободные электроны в нем переменного электрического поля в конденсаторе и вихревого поля в катушке.

5. Собственная частота колебаний в контуре вычисляется по формуле: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, где L — индуктивность катушки, C — емкость конденсатора. Период свободных колебаний в контуре вычисляется по формуле (формула Томсона): $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

6. Резонанс в колебательном контуре возникает, как и во всех колебательных системах, при совпадении частоты вынуждающего напряжения с собственной частотой контура.

7. При $\omega \to 0$ и $\omega \to \infty$ амплитуда вынужденных колебаний тока I_m стремится к нулю, поскольку в данных случаях либо емкостное, либо индуктивное сопротивление стремится к бесконечности.

§ 94. Автоколебания

1. Автоколебаниями называют колебания системы под действием внешней силы, не являющейся периодической по времени. В качестве примера автоколебаний можно привести «подпрыгивающую» крышку на кипящем чайнике.

2. Принцип действия лампового генератора основан на периодическом возмещении потерянной энергии конденсатора колебательного

контура. Регулятором периодичности подзарядки конденсатора внешним зарядом является ламповый триод.

3. Генератор с перевернутой катушкой обратной связи работать не будет, поскольку катушки расположенные таким образом взаимодействовать не будут.

4. Схема генератора на транзисторе изображена на рис. 34.

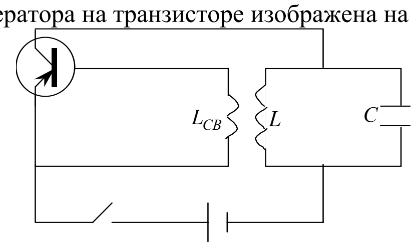


Рис. 34.

5. К основным элементам автоколебательной системы относятся: колебательный контур (в ламповом генераторе — LC-цепочка), источник энергии (в ламповом генераторе — внешняя ЭДС), клапан (в ламповом генераторе — электролампа), обратная связь (в ламповом генераторе — катушка связи $L_{св}$).

§ 95. Передача электороэнергии на растояние. Трансформатор

1. Чтобы уменьшить энергетические потери в линии электропередачи, нужно уменьшить сопротивление в линии и увеличить напряжение.

2. Трансформатором называют прибор, служащий для изменения величины переменного напряжения при неизменной частоте тока.

3. Принцип действия трансформатора основан на индукционном взаимодействии двух катушек с различным количеством витков.

4. Трансформатор повышает напряжение, если число витков первичной катушки меньше, чем на вторичной. Если на первичной катушке больше витков, чем на вторичной, то трансформатор понижает напряжение.

5. Трансформатор позволяет сделать сопротивление нагрузки равным сопротивлению источника в целях повышения мощности. Коэффициент трансформации при этом $K = \sqrt{\dfrac{r}{R_{\text{Н}}}}$ — см. рис. 35.

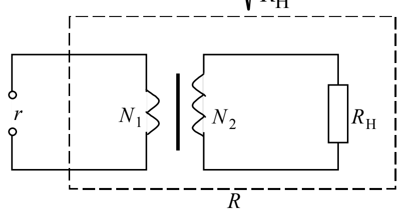


Рис. 35 .

Глава 18. Электромагнитные волны

§ 96. Гипотеза Максвелла

1. Введем в проводящую среду заряженный шар. В результате в проводящей среде возникнет ток, который должен возбудить магнитное поле. Из сферической симметрии системы следует, что возбужденное магнитное поле обладает радиальной симметрией, т.е. не замкнуто, чего быть не может. Таким образом, магнитное поле равно нулю при ненулевом токе. Отсюда возникает необходимость введения тока смещения, равного по модулю и противоположно направленного току проводимости.

2. Гипотеза Максвелла заключается в том, что переменное электрическое поле как и движущейся заряд является источником магнитного поля.

3. Магнитоэлектрической индукцией называется явление возникновения магнитного поля под действием переменного электрического поля.

§ 97. Электромагнитные волны

1. Процесс возникновения электромагнитной волны происходит следующим образом: переменное магнитное поле создает переменное электрическое, переменное электрическое опять переменное магнитное и т.д.

2. Электромагнитной волной называют возмущение электромагнитного поля, распространяющееся в пространстве.

3. Волновое число k вычисляется по формуле: $k = \omega\sqrt{\varepsilon\mu\varepsilon_0\mu_0}$, , где ω — циклическая частота колебаний поля, ε, μ — электрическая и магнитная проницаемость среды, в которой распространяются волны.

4. Плоская волна отличается от сферической своим фронтом.

5. Скорость распространения волны зависит от диэлектрической и магнитной проницаемости среды ее распространения.

6. Волновым вектором называют физическую величину, равную по модулю волновому числу и направленному в сторону распространения волны.

7. Фаза плоской волны определяется по формуле: $\varphi = \omega t - \vec{k}\cdot\vec{r}$, здесь ω — циклическая частота, $\vec{k}$ — волновой вектор, $\vec{r}$ — радиус вектор. Фаза сферической волны определяется по формуле: $\varphi = \omega t - kr$, здесь ω — циклическая частота, k — волновое число, r — расстояние от источника волны до данной точки.

§ 98. Открытие электромагнитных волн

1. Герц поместил на небольшом расстоянии друг от друга два металлических шара. Затем, с помощью катушки Румкорфа он заряжал

эти шары, пока между ними не происходил искровой пробой, порождающий электромагнитные волны.

2. Герц регистрировал электромагнитные волны с помощью резонатора.

§ 99. Свойства электромагнитных волн

1. Скорость электромагнитных волн в вакууме $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с. Эта скорость не зависит от системы отсчета.

2. Электромагнитные волны отличаются от упругих тем, что они могут распространяться в вакууме.

3. Векторы $\vec{E}$ и $\vec{B}$ в электромагнитной волне направлены под углом $\alpha = 90°$ друг к другу.

4. Доказательство: $\vec{c} \times \vec{E} = c^2 \vec{B} \Rightarrow E = cB$.

5. Доказательство: поскольку $w_{эл} = \dfrac{\varepsilon_0 \varepsilon \left|\vec{E}\right|^2}{2}$; $w_{м} = \dfrac{\mu_0 \mu \left|\vec{B}\right|^2}{2}$, $E = cB$, $c = \dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu\varepsilon_0\mu_0}}$, то $w_{эл} = w_{м}$.

6. Интенсивностью волны называют среднее значение энергии, переносимой волной за единицу времени через единицу площади поверхности, расположенной перпендикулярно направлению распространения волны ($I \sim \nu^4$; $I \sim E^2$).

7. При переходе волны из одной среды в другую меняется скорость и длина волны.

8. Радиолокация основана на свойстве отражения части электромагнитных волн от границы раздела двух сред.

§ 100. Принципы радио связи

1. Радиосвязью называют прием и передачу информации с помощью радиоволн.

2. Радиотелефонная связь отличается от радиотелеграфной типом модуляции сигнала.

3. Амплитудной называют модуляцию высокочастотных волн методом изменения их амплитуд. Амплитудная модуляция необходима для радиотелефонной связи.

4. Схема радиопередающего устройства приведена на рис. 36. Звуковой сигнал, снимаемый с микрофона превращается в электрический сигнал, который посредством трансформатора модулирует амплитуду высокочастотных колебаний в колебательном контуре. Получившийся сигнал излучается антенной в виде электромагнитных волн.

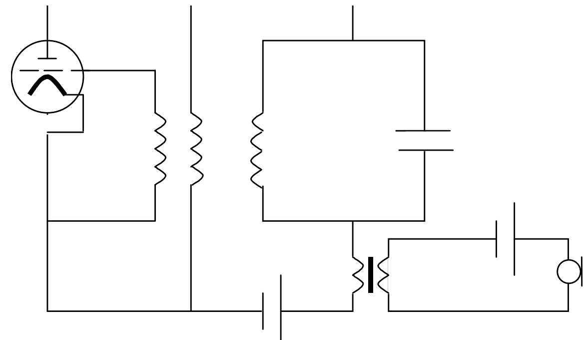


Рис. 36.

5. Детектированием (демодулированием) называется процесс преобразования модулированного сигнала в низкочастотные колебания.

6. Схема простейшего детекторного приемника приведена на рис. 37.

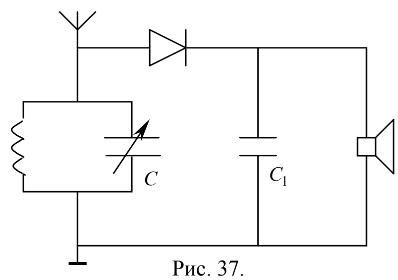


Рис. 37.

7. Переменная емкость C детекторного приемника позволяет добиться совпадения собственной частоты контура с необходимой нам частотой волны, диод D и конденсатор C_1 служат для демодуляции сигнала. Диод D выпрямляет высокочастотный сигнал колебательного контура. Конденсатор C_1 сглаживает сигнал с диода, являясь фильтром низких частот. В результате такой демодуляции сигнал на динамике почти в точности повторяет низкочастотный сигнал передающей станции.

8. Первый радиоприемник изобрел русский ученый А. С. Попов в 1895 году.

9. Первый текст, переданный с помощью радиограммы выглядел следующим образом: «Heinrich Hertz».

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

№ 1.

а) Ножницы можно принять за материальную точку при расчете ее падения с большой высоты; нельзя — при определении длины ножниц.

б) Автомобиль можно принять за материальную точку при измерении пути из Москвы до Дубны; нельзя — при измерении мощности двигателя.

в) Ракету можно принять за материальную точку при расчете параметров орбиты; нельзя — при определении силы тяги двигателя.

№ 2.

а) Самолет можно принять за материальную точку при расчете времени полета из одного города в другой; нельзя — при определении подъемной силы.

б) Будильник можно принять за материальную точку при переносе его из одного места в другое; нельзя — при определении скорости вращения шестеренок.

в) Солнце можно принять за материальную точку при исследовании его движения вокруг центра Галактики; нельзя — при наблюдении солнечного вращения вокруг оси.

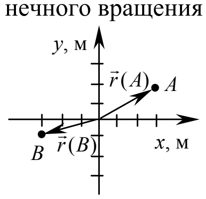


Рис. 38.

№ 3.

$A(3; 2)$; $B(-3; -1)$ (см. рис. 38).

По теореме Пифагора

$$|\vec{r}(A)| = \sqrt{(3\text{ м})^2 + (2\text{ м})^2} \approx 3{,}6 \text{ м};$$

$$|\vec{r}(B)| = \sqrt{(-3\text{ м})^2 + (-1\text{ м})^2} \approx 3{,}2 \text{ м}.$$

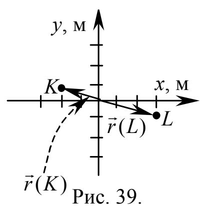


Рис. 39.

№ 4.

$K(-2; 1)$; $L(3; -1)$ (см. рис. 39).

По теореме Пифагора

$$|\vec{r}(K)| = \sqrt{(-2\text{ м})^2 + (1\text{ м})^2} \approx 2{,}2 \text{ м};$$

$$|\vec{r}(L)| = \sqrt{(3\text{ м})^2 + (-1\text{ м})^2} \approx 3{,}2 \text{ м}$$

№ 5.

Счетчик километров у автомобиля измеряет пройденный путь.

№ 6.

Дано: h=10м.

Найти: $|\vec{s}|$, l.

Решение: $|\vec{s}| = h + (-h) = 0$; $l = h + h = 10$ м $+ 10$ м $= 20$ м.

Ответ: $|\vec{s}| = 0$; $l = 20$ м.

№ 7.

Дано:
$R = 30$ м.

Найти: $|\vec{s}|$, l.

Решение:
Из геометрических соображений (см. рис. 40)

$|\vec{s}| = 2 \cdot R = 2 \cdot 30$ м $= 60$ м;

$l = \pi R \approx 3{,}14 \cdot 30$ м ≈ 94 м.

Ответ: $|\vec{s}| = 60$ м; $l \approx 94$ м.

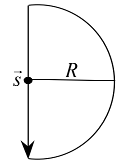


Рис. 40.

№ 8.

Дано:
$l_1 = 3$ км;
$l_2 = 4$ км.

Найти: $|\vec{s}|$, l.

Решение:
По теореме Пифагора (см. рис. 41):

$|\vec{s}| = \sqrt{l_1^2 + l_2^2} = \sqrt{(3\,\text{км})^2 + (4\,\text{км})^2} = 5$ км;

$l = l_1 + l_2 = 3$ км $+ 4$ км $= 7$ км.

Ответ: $|\vec{s}| = 5$ км; $l = 7$ км.

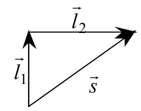


Рис. 41.

№ 9.

Задача решена в учебнике.

№ 10.

Дано:
$x_0 = 2$ м;
$y_0 = -3$ м;
$x = -3$ м;
$y = 2$ м.

Найти: s_x, s_y.

Решение:
Перемещение $|\vec{s}|$ изображено на рис. 42.

$s_x = x - x_0 = -3$ м $- 2$ м $= -5$ м;

$s_y = y - y_0 = 2$ м $- (-3$ м$) = 5$ м.

Ответ: $s_x = -5$ м; $s_y = 5$ м.

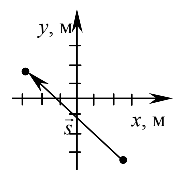


Рис. 42.

№ 11.

Задача решена в учебнике.

№ 12.

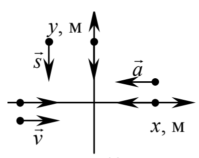


Рис. 43.

См. рис. 43.

$$\begin{cases} s_x = 0, \text{ т.к. } \vec{s} \perp \overrightarrow{OX}, \\ s_y = -s, \text{ т.к. } \vec{s} \uparrow\downarrow \overrightarrow{OY}; \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_x = v, \text{ т.к. } \vec{v} \uparrow\uparrow \overrightarrow{OX}, \\ v_y = 0, \text{ т.к. } \vec{v} \perp \overrightarrow{OY}; \end{cases} \quad \begin{cases} a_x = -a, \text{ т.к. } \vec{a} \uparrow\downarrow \overrightarrow{OX}, \\ a_y = 0, \text{ т.к. } \vec{a} \perp \overrightarrow{OY}. \end{cases}$$

№ 13.

Дано:
$v \approx 50$ м/с;
$s = 1{,}5 \cdot 10^{11}$ м.

Найти t.

Решение.

$t = \dfrac{s}{v} \approx \dfrac{1{,}5 \cdot 10^{11}\ \text{м}}{50\ \text{м/с}} \approx 3 \cdot 10^8$ с.

Ответ: $t \approx 3 \cdot 10^8$ с.

№ 14.

Дано:	Решение.
$v = 5 \cdot 10^{-9}$ м/с	$l = v \cdot t \approx 5 \cdot 10^{-9}$ м/с $\cdot\, 3{,}15 \cdot 10^{7}$ с =
$t = 1$ год $\approx 3{,}15 \cdot 10^{7}$ с	$= 1{,}575 \cdot 10^{-1}$ м = 15,75 см.
Найти l.	Ответ: l = 15,75 см.

№ 15.

Схематические рисунки приведены на рис. 44 а, рис. 44 б, рис. 44 в.

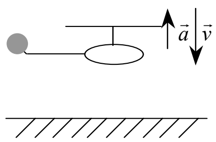


Рис. 44 а.

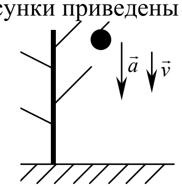


Рис. 44 б.

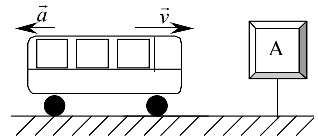


Рис. 44 в.

№ 16.

Схематические рисунки приведены на рис. 45 а, рис. 45 б, рис. 45 в.

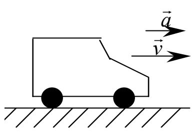


Рис. 45 а.

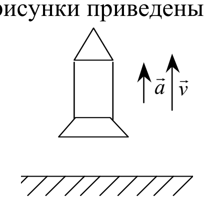


Рис. 45 б.

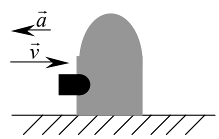


Рис. 45 в.

№ 17.

См. рис. 46 а, рис. 46 б, рис. 46 в.

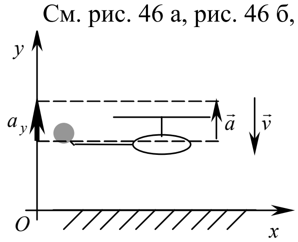


Рис. 46 а.

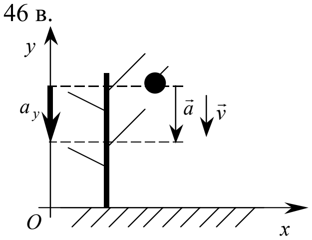


Рис. 46 б.

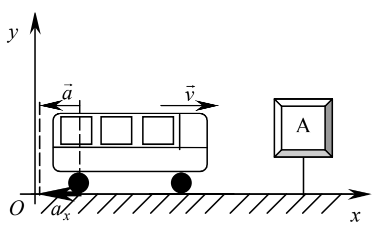


Рис. 46 в.

а) $\begin{cases} a_x = 0, \text{т.к. } \vec{a} \perp \overrightarrow{OX}, \\ a_y = a, \text{т.к. } \vec{a} \uparrow\uparrow \overrightarrow{OY}. \end{cases}$

б) $\begin{cases} a_x = 0, \text{т.к. } \vec{a} \perp \overrightarrow{OX}, \\ a_y = -a, \text{т.к. } \vec{a} \uparrow\downarrow \overrightarrow{OY}. \end{cases}$

в) $\begin{cases} a_x = -a, \text{т.к. } \vec{a} \uparrow\downarrow \overrightarrow{OX}, \\ a_y = 0, \text{т.к. } \vec{a} \perp \overrightarrow{OY}. \end{cases}$

№ 18.

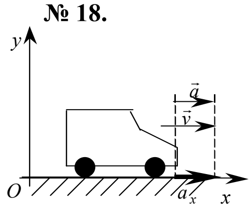


Рис. 47 а.

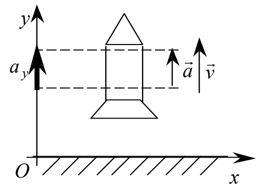


Рис. 47 б.

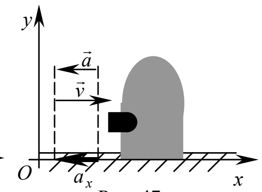


Рис. 47 в.

См. рис. 47 а, рис. 47 б, рис. 47 в.

а) $\begin{cases} a_x = a, \text{т. к. } \vec{a} \uparrow\uparrow \overrightarrow{OX}, \\ a_y = 0, \text{т. к. } \vec{a} \perp \overrightarrow{OY}. \end{cases}$ б) $\begin{cases} a_x = 0, \text{т. к. } \vec{a} \perp \overrightarrow{OX}, \\ a_y = a, \text{т. к. } \vec{a} \uparrow\uparrow \overrightarrow{OY}. \end{cases}$

в) $\begin{cases} a_x = -a, \text{т. к. } \vec{a} \uparrow\downarrow \overrightarrow{OX}, \\ a_y = 0, \text{т. к. } \vec{a} \perp \overrightarrow{OY}. \end{cases}$

№ 19.

Задача решена в учебнике.

№ 20.

В общем случае и равномерное прямолинейное движение, и равноускоренное прямолинейное движение, и состояние покоя описывается формулой $x = x_0 + v_{0x}t + \dfrac{a_x t^2}{2}$.

а) $x = 2t + 4t^2$, $x_0 = 0$, $v_{0x} = 2$ м/с, $a_x = 8$ м/с^2. Движение равноускоренное. См. рис. 48 а.
б) $x = 1 - 2t^2$, $x_0 = 1$ м, $v_{0x} = 0$, $a_x = -4$ м/с^2. Движение равноускоренное. См. рис. 48 б.
в) $x = t^2$, $x_0 = 0$, $v_{0x} = 0$, $a_x = 2$ м/с^2. Движение равноускоренное. См. рис. 48 в.
г) $x = 4 - t$, $x_0 = 4$ м, $v_{0x} = -1$ м/с^2, $a_x = 0$. Движение равномерное. См. рис. 48 г.
д) $x = 10$ м, $x_0 = 10$ м, $v_{0x} = 0$, $a_x = 0$. Состояние покоя. См. рис. 48 д.

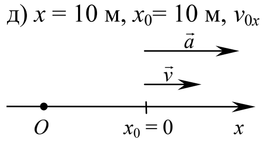


Рис. 48 а.

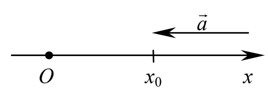


Рис. 48 б.

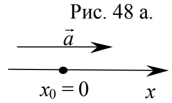


Рис. 48 в.

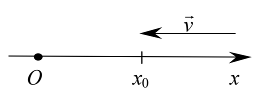


Рис. 48 г.

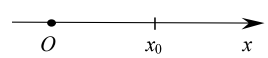


Рис. 48 д.

№ 21.

Задача решена в учебнике.

№ 22.

Дано: $x_0 = 100$ м;	Решение.
$a = 1$ м/с^2; $t = 6$ с.	$x = x_0 + at^2/2 = 100$ м + (1м/с^2·(6с)^2)/2 = 118м.
Найти x.	Ответ: $x = 118$ м.

№ 23.

Задача решена в учебнике.

№ 24.

Дано: $v_0 = 3$ м/с;	Решение.
$a = 0,8$ м/с^2; $t = 6$ с.	$l = v_0t + at^2/2$ = 3м/с·6с + (0,8м/с^2·(6с)^2)/2) = 32,4м.
Найти l.	Ответ: $x = 32,4$ м.

№ 25.

Дано:	Решение.
$a = 14$ м/с^2; $t = 7$ с.	$v = at = 14$ м/с^2 · 7 с = 98 м/с.
Найти v.	Ответ: $v = 98$ м/с.

№ 26.

Дано: $v_0 = 800$ м/с;	Решение.
$a = -7 \cdot 10^5$ м/с^2;	$v = v_0 + at = 800$ м/с + ($-7·10^5$ м/с^2)·$6·10^{-4}$ с =
$t = 0,6$ мс = $6·10^{-4}$ с.	= 380 м/с.
Найти l.	Ответ: $v = 380$ м/с.

№ 27.

Дано: $v_0 = 60$ м/с;	Решение.
$v = 5$ м/с;	$a = \dfrac{v - v_0}{\Delta t} = \dfrac{5\text{ м/с} - 60\text{ м/с}}{1{,}1\text{ с}} = -50$ м/с^2.
$\Delta t = 1,1$ с.	
Найти a.	Ответ: $a = -50$ м/с^2.

№ 28.

Дано: $v_0 = 18$ км/ч = 5 м/с;	Решение.
$v = 36$ км/ч = 10 м/с;	$a = \dfrac{v - v_0}{\Delta t} = \dfrac{10\text{ м/с} - 5\text{ м/с}}{10\text{ с}} = 0,5$ м/с^2.
$\Delta t = 10$ с.	
Найти a.	Ответ: $a = 0,5$ м/с^2.

№ 29.

Дано:	Решение.
$v_0 = 36$ км/ч = 10 м/с;	$2al = v_0^2$; $l = v_0^2 / 2a$ = (10м/с)^2/(2·1,2м/с^2) = 42 м.
$a = 1,2$ м/с^2.	
Найти l.	Ответ: $l = 42$ м.

№ 30.

Дано: $a = 45$ м/с^2;	Решение.
$l = 1000$ м.	$2al = v^2$; $v = \sqrt{2al} = \sqrt{2 \cdot 45\text{ м/с}^2 \cdot 1000\text{ м}} = 300$ м/с.
Найти v.	Ответ: $v = 300$ м/с.

№ 31.

Дано: l = 72 м;	Решение.
t = 12 с.	$l = at^2/2$; $a = 2l/t^2$; $v = at = 2l/t$ = (2·72м)/12с = 12 м/с.
Найти v.	Ответ: v = 12 м/с.

№ 32.

Дано:	Решение.
a = 0,075 м/с^2;	$l = \dfrac{at^2}{2}$; $t = \sqrt{\dfrac{2l}{a}} = \sqrt{\dfrac{2\cdot 1500\,\text{м}}{0{,}075\,\text{м/с}^2}}$ = 200 с;
l = 1,5 км = 1500 м.	
Найти t, v.	

$v = at = a\sqrt{2l/a} = \sqrt{2la} = \sqrt{2\cdot 1500\,\text{м}\cdot 0{,}075\,\text{м/с}^2}$ = 15 м/с.

Ответ: t = 200 с; v = 15 м/с.

№ 33.

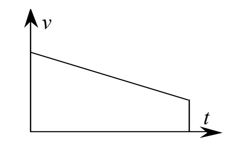


Рис. 49.

Ускорение a = (5м/с – 10м/с)/4с = –1,25 м/с^2. Перемещение s определяется площадью под графиком $v(t)$ — см. рис. 49. Для определения площади применим формулу площади трапеции:

$$s = \frac{10\,\text{м/с} + 5\,\text{м/с}}{2}\cdot 4\text{с} = 30\ \text{м}.$$

№ 34.

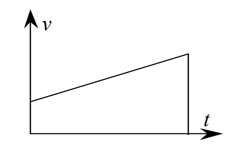


Рис. 50.

Ускорение a = (4м/с – 2м/с)/10с = 0,2 м/с^2. Перемещение s определяется площадью под графиком $v(t)$ — см. рис. 50. Для определения площади применим формулу площади трапеции:

$$s = \frac{4\,\text{м/с} + 2\,\text{м/с}}{2}\cdot 10\ \text{с} = 30\ \text{м}.$$

№ 35.

Дано:	Решение. $T = \dfrac{t}{N} = \dfrac{20\,\text{с}}{50}$ = 0,4 с; $\nu = \dfrac{N}{t} = \dfrac{50}{20\,\text{с}}$ = 2,5 Гц.
t = 20 с;	
N = 50.	
Найти T, ν.	Ответ: T = 0,4 с; ν = 2,5 Гц.

№ 36.

Период обращения минутной стрелки T_1 = 1 час = 3600 с, часовой — T_2=12 часов = 43200 с. Соответствующие частоты $\nu_1 = 1/T_1$ = 1/3600с ≈ ≈ 2,8 · 10^{-4} Гц, $\nu_2 = 1/T_2$ = 1/43200с ≈ 2,3 · 10^{-5} Гц.

№ 37.

Дано: T = 24 ч = 86400 с;	Решение.
R = 6,4·10^6 м.	$v = 2\pi R/T$ ≈ (2·3,13·6,4·10^{6}м)/86400с ≈
Найти v, a.	≈ 465 м/с;

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{1}{R}\left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2 = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \approx \frac{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 6{,}4 \cdot 10^6}{(86400\ \text{с})^2} \approx 0{,}034\ \text{м/с}^2 = 3{,}4\ \text{см/с}^2.$$

Ответ: $v \approx 465$ м/с; $a \approx 3{,}4$ см/с^2.

№ 38.

Дано:
$T = 1$ год $\approx 3{,}15 \cdot 10^7$ с;
$R = 1{,}5 \cdot 10^{11}$м.
Найти v, a.

Решение.

$$v = \frac{2\pi R}{T} \approx \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{11}\ \text{м}}{3{,}15 \cdot 10^7\ \text{с}} \approx 3 \cdot 10^4\ \text{м/с};$$

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{1}{R}\left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2 = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \approx \frac{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{11}}{(3{,}15 \cdot 10^7\ \text{с})^2} \approx 6 \cdot 10^{-3}\ \text{м/с}^2 = 6\ \text{мм/с}^2.$$

Ответ: $v \approx 3 \cdot 10^4$ м/с; $a \approx 6$ мм/с^2.

№ 39.

Дано:
$v = 7{,}8$км/с;
$h = 320$ км;
R=6400 км.
Найти T.

Решение. $v = (2\pi(R+h))/T$;

$$T = \frac{2\pi(R+h)}{v} \approx \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot (6400\ \text{км} + 320\ \text{км})}{7{,}8\ \text{км/с}} \approx 5410\ \text{с} \approx 1{,}5\ \text{ч}.$$

Ответ: $T \approx 1{,}5$ ч.

№ 40.

Дано: $R = 384000$ км = $3{,}84 \cdot 10^8$ м;
$T = 27{,}3$ сут. $\approx$
$\approx 2{,}36 \cdot 10^6$ с.
Найти a.

Решение. $a = \dfrac{4\pi^2 R}{T^2} \approx \dfrac{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 3{,}84 \cdot 10^8\ \text{м}}{(2{,}36 \cdot 10^6\ \text{с})^2} \approx$

$\approx 2{,}76 \cdot 10^{-3}$ м/с^2 = 2,76 мм/с^2.

Ответ: $a \approx 2{,}76$ мм/с^2.

№ 41.

Дано: $R = 30$ м;
$v = 36$ км/ч = 10 м/с.
Найти $\vec{a}$.

Решение.

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{(10\ \text{м/с})^2}{30\ \text{м}} \approx 3{,}3\ \text{м/с}^2.$$

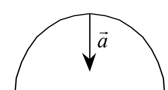


Рис. 51.

Вектор $\vec{a}$ направлен к центру кривизны (см. рис. 51).

Ответ: $a \approx 3{,}3$ м/с^2.

№ 42.

Дано: $R = 1000$ м;
$v = 54$ км/ч = 15 м/с
Найти a.

Решение.
$a = v^2/R = (15\text{м/с})^2/1000\text{м} = 0{,}225$ м/с^2.
Ответ: $a = 0{,}225$ м/с^2.

№ 43.

Дано:
$v' = 3$ м/с;
$V = -0{,}6$ м/с.
Найти v.

Решение.
$v = v' + V = 3$ м/с + (– 0,6 м/с) = 2,4 м/с.
Ответ: $v = 2{,}4$ м/с.

№ 44.

Дано: $v' = 4$ м/с; $V = 0{,}5$ м/с. Найти v.	Решение. $v = v' + V = 4$ м/с $+ 0{,}5$ м/с $= 4{,}5$ м/с. Ответ: $v = 4{,}5$ м/с.

№ 45.

Дано: $v = 15$ м/с; $V = 5$ м/с; $t = 10$ мин $= 600$ с. Найти v', s, s'.	Решение. $v = v'+V$; $v' = v-V = 15$ м/с $- 5$ м/с $= 10$ м/с. $s = vt = 15$ м/с $\cdot$ 600 с $= 9000$ м $= 9$ км. $s' = v't = 10$ м/с $\cdot$ 600 с $= 6000$ м $= 6$ км. Ответ: $v = 10$ м/с, $s = 9$ км, $s' = 6$ км.

№ 46.

Дано: $v = 15$ м/с; $V = -5$ м/с; $t = 20$ мин $= 1200$ с. Найти v', s, s'.	Решение. $v = v' + V$; $v' = v - V = 15$ м/с $- (-5$ м/с$) = 20$ м/с. $s = vt = 15$ м/с $\cdot$ 1200 с $= 18000$ м $= 18$ км. $s' = v't = 20$ м/с $\cdot$ 1200 с $= 24000$ м $= 24$ км. Ответ: $v = 20$ м/с, $s = 18$ км, $s' = 24$ км.

№ 47.

Дано: $v = 25$ км/ч; $V = 5$ км/ч; $l = 400$ м $= 0{,}4$ км. Найти t.	Решение. $v = v_1' + V$; $v_1' = v - V$; $v = v_2' - V$; $v_2' = v + V$; $t_1 = \dfrac{l}{v_1'} = \dfrac{l}{v-V}$; $t_2 = \dfrac{l}{v_2'} = \dfrac{l}{v+V}$; $t = t_1 + t_2 =$

$$= \frac{l}{v-V} + \frac{l}{v+V} = l\frac{v+V+v-V}{v^2-V^2} = \frac{2vl}{v^2-V^2} = \frac{2 \cdot 25\,\text{км/ч} \cdot 0{,}4\,\text{км}}{(25\,\text{км/ч})^2 - (5\,\text{км/ч})^2} = \frac{1}{30}\,\text{ч} =$$

$= 2$ мин.

Ответ: $t = 2$ мин.

№ 48.

Дано: $l = 300$ м; $v_к = 90$ км/ч $= 25$ м/с; $t = 37{,}5$ с. Найти $v_т$.	Решение. $\begin{cases} v_к = v_1' - v_т; \\ v_к = v_2' + v_т; \\ v_1' = l/t_1; \\ v_2' = l/t_2; \\ t_1 + t_2 = t; \end{cases}$ $\begin{cases} t_1 = l/(v_к + v_т); \\ t_2 = l/(v_к - v_т); \\ t_1 + t_2 = t. \end{cases}$ $\dfrac{l}{v_к + v_т} + \dfrac{l}{v_к - v_т} = t;$

$$\frac{2v_к l}{v_к^2 - v_т^2} = t;\ v_т^2 = v_к^2 - \frac{2v_к l}{t};\ v_т = \sqrt{v_к\left(v_к - \frac{2l}{t}\right)} = \sqrt{25\,\text{м/с} \cdot \left(25\,\text{м/с} - \frac{2 \cdot 300\,\text{м}}{37{,}5\,\text{с}}\right)} =$$

$= 15$ м/с $= 54$ км/ч.

Ответ: $v_т = 54$ км/ч.

№ 49.

Когда человек бежит по льду, то воздействие на лед достаточно кратковременное, и из-за явления инертности лед не успевает сломаться.

№ 50.

Пуля действует на дверь очень малое время, и из-за явления инерции последняя не успевает прийти в движение. Давление пальца длится много больше давления пули, поэтому дверь успевает прийти в движение и открыться.

№ 51.

Дано: $m = 2$ кг; $F = 20$ Н.	Решение.
Найти a.	$a = F/m = 20\text{Н}/2\text{кг} = 10$ м/с^2.
	Ответ: $a = 10$ м/с^2.

№ 52.

Дано: $m = 4$ кг; $a = 0{,}5$ м/с^2 Н.	Решение.
Найти F.	$F = ma = 4\text{ кг} \cdot 0{,}5\text{ м/с}^2 = 2$ Н.
	Ответ: $F = 2$ Н.

№ 53.

Дано:
$m = 4$ кг;
$F_1 = 5$ Н;
$F_2 = 12$ Н
Найти a.

Решение. См. рис. 52. Согласно теореме Пифагора $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$;

$$a = \frac{F}{m} = \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}}{m} = \frac{\sqrt{(5\text{ Н})^2 + (12\text{ Н})^2}}{4\text{ кг}} = 3{,}25\text{м/с}^2.$$

Ответ: $a = 3{,}25$ м/с^2.

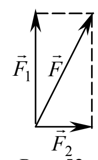


Рис. 52

№ 54.

Дано:
$m = 2$ кг;
$a = 2{,}5$ м/с^2;
$F_1 = 3$ Н.
Найти F_2.

Решение. См. рис. 52. Согласно теореме Пифагора:

$F^2 = F_1^2 + F_2^2$. $F^2 = (ma)^2 = F_1^2 + F_2^2$;

$$F_2 = \sqrt{(ma)^2 - F_1^2} = \sqrt{(2\text{ кг} \cdot 5\text{ м/с}^2)^2 - (3\text{ Н})^2} = 4\text{ Н}.$$

Ответ: $F_2 = 4$ Н.

№ 55.

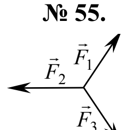


Рис. 53.

Пусть лебедь сообщает возу силу $\vec F_1$, рак — $\vec F_2$, щука — $\vec F_3$. Поскольку «воз и ныне там» получаем $\vec F_1 + \vec F_2 + \vec F_3 = 0$. См. рис. 53.

№ 56.

Пусть $\vec F_1 = \vec F$, тогда $\vec F_2 = -\vec F$. По второму закону Ньютона $m\vec a = F_1^2 + F_2^2 = \vec F + (-\vec F) = 0$. Поскольку $m \neq 0$, то $\vec a = 0$.

№ 57.

Пусть человек действует на мачту с силой $\vec F$. Тогда мачта действует на человека с силой $-\vec F$ по третьему закону Ньютона. Ноги действуют на палубу с силой $-\vec{F}$. Тогда $m\vec{a} = \vec{F} + (-\vec{F}\,) = 0$, т.е. $\vec{a} = 0$; значит, лодку таким способом нельзя привести в движение.

№ 58.

Лошадь с телегой движутся, поскольку, хотя все силы и скомпенсированы, они обладают некоторой скоростью.

№ 59.

См. рис. 54.

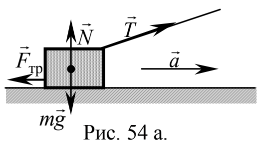


Рис. 54 а.

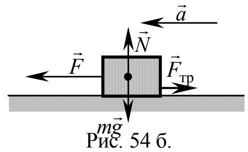


Рис. 54 б.

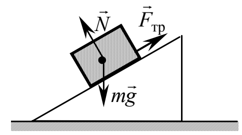


Рис. 54 в.

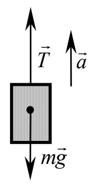


Рис. 54 г.

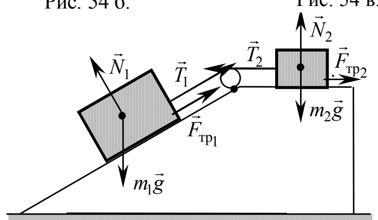


Рис. 54 д.

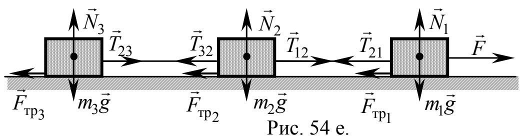


Рис. 54 е.

№ 60.

См. рис. 55.

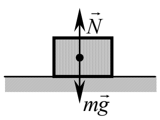


Рис. 55 а.

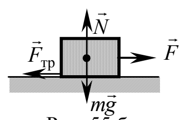


Рис. 55 б.

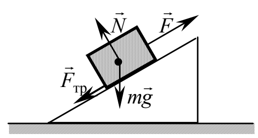


Рис. 55 в.

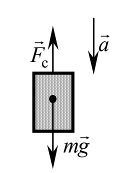


Рис. 55 г.

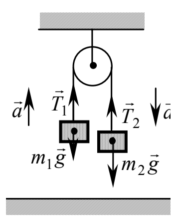


Рис. 55 д.

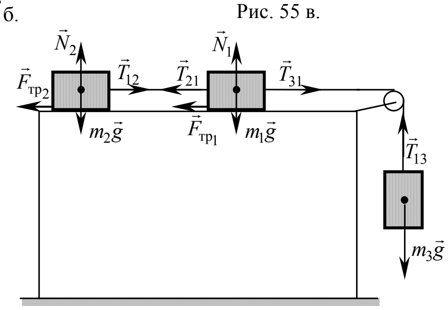


Рис. 55 е.

№ 61.

См. рис. 54.

а) $m\vec{a} = \vec{T} + \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}}$. б) $m\vec{a} = \vec{F} + \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}}$.

в) $0 = \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}}$. г) $m\vec{a} = \vec{T} + m\vec{g}$.

д) $\begin{cases} 0 = m_1\vec{g} + \vec{N}_1 + \vec{T}_1 + \vec{F}_{\text{тр}_1}; \\ 0 = m_2\vec{g} + \vec{N}_2 + \vec{T}_2 + \vec{F}_{\text{тр}_2}. \end{cases}$ Отметим, что $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2|$.

е) $\begin{cases} 0 = m_1\vec{g} + \vec{N}_1 + \vec{T}_{21} + \vec{F}_{\text{тр}_1} + F; \\ 0 = m_2\vec{g} + \vec{N}_2 + \vec{T}_{12} + \vec{T}_{32} + \vec{F}_{\text{тр}_2}; \\ 0 = m_3\vec{g} + \vec{N}_3 + \vec{T}_{23} + \vec{F}_{\text{тр}_3}. \end{cases}$

Отметим, что $|\vec{T}_{12}| = |\vec{T}_{21}|$, $|\vec{T}_{32}| = |\vec{T}_{23}|$.

№ 62.

См. рис. 55.

а) $0 = \vec{N} + m\vec{g}$. б) $0 = \vec{F} + \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}}$.

в) $m\vec{a} = \vec{F} + \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}}$. г) $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{\text{с}}$.

д) $\begin{cases} m_1\vec{a}_1 = m_1\vec{g} + \vec{T}_1; \\ m_2\vec{a}_2 = m_2\vec{g} + \vec{T}_2. \end{cases}$ Отметим, что $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2|$, $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2|$.

е) $\begin{cases} m_1\vec{a}_1 = m_1\vec{g} + \vec{N}_1 + \vec{T}_{31} + \vec{T}_{21} + \vec{F}_{\text{тр}_1}; \\ m_2\vec{a}_2 = m_2\vec{g} + \vec{N}_2 + \vec{T}_{12} + \vec{F}_{\text{тр}_2}; \\ m_3\vec{a}_3 = m_3\vec{g} + \vec{T}_{13}. \end{cases}$

Отметим, что $|\vec{T}_{31}| = |\vec{T}_{13}|$, $|\vec{T}_{12}| = |\vec{T}_{21}|$, $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = |\vec{a}_3|$.

№ 63.

Задача решена в учебнике.

№ 64.

Дано: m = 3 кг; a = 8 м/с^2.	Решение. $ma = mg - F_с$; $F_с = m(g - a) = 3$ кг · (10 м/с^2 – 8 м/с^2) = 6 Н.
Найти $F_с$.	Ответ: $F_с$ = 6 Н.

№ 65.

Дано: m = 1,5 т = 1500 кг; a = 0,5 м/с^2; $F_с$ = 500 Н.	Решение. $ma = F_т - F_с$; $F_т = ma + F_с$ = 1500 кг · 0,5 м/с^2 + 500 Н = = 1250 Н = 1,25 кН.
Найти $F_т$.	Ответ: $F_т$ = 1,25 кН.

№ 66.

Дано: $m = 2$ т $= 2000$ кг; $F = 1{,}5$ кН $= 1500$ Н; $F_c = 500$ Н. Найти a.	Решение. $ma = F - F_c$; $a = \dfrac{F - F_c}{m} = \dfrac{1500\ \text{Н} - 500\ \text{Н}}{2000\ \text{кг}} = 0{,}5$ м/с^2. Ответ: $a = 0{,}5$ м/с^2.

№ 67.

Дано: $m = 2$ кг; $F = 20$ Н; $\mu = 0{,}5$. Найти a.	Решение. $ma = F - \mu mg$; $a = \dfrac{F}{m} - \mu g = \dfrac{20\ \text{Н}}{2\ \text{кг}} - 0{,}5 \cdot 10$ м/с$^2 = 5$ м/с^2. Ответ: $a = 5$ м/с^2.

№ 68.

Дано: $m = 400$ г $= 0{,}4$ кг; $a = 1$ м/с^2; $\mu = 0{,}2$. Найти F.	Решение. $ma = F - \mu mg$; $F = m(a + \mu g) =$ $= 0{,}4$ кг $\cdot$ (1 м/с^2 + 0,2 $\cdot$ 10 м/с^2) = 1,2 Н. Ответ: $F = 1{,}2$ Н.

№ 69.

Дано: $m = 20$ кг; $t = 1$ с; $l = 1$ м; $F_{тр} = 100$ Н. Найти F.	Решение. $ma = F - F_{тр}$; $l = \dfrac{a}{2}t^2$; $a = \dfrac{2l}{t^2}$; $F = m\dfrac{2l}{t^2} + F_{тр} = 20\ \text{кг} \cdot \dfrac{2 \cdot 1\ \text{м}}{(1\ \text{с})^2} + 100\ \text{Н} = 140\ \text{Н}$. Ответ: $F = 140$ Н.

№ 70.

Дано: $m = 50$ кг; $t = 2$ с; $l = 10$ м. Найти T.	Решение. $ma = T - mg$; $T = m\,(g + a)$; $l = \dfrac{a}{2}t^2$; $a = \dfrac{2l}{t^2}$; $T = m\,(g + 2l/t^2) = 50$ кг $\cdot$ (10 м/с^2 + (2$\cdot$10 м)/(2 с)^2) = 750 Н. Ответ: $T = 750$ Н.

№ 71.

Дано: $v_0 = 72$ км/ч $= 20$ м/с; $\mu = 0{,}6$. Найти l.	Решение. $ma = \mu mg$; $a = \mu g$; $2la = v_0^2$; $l = \dfrac{v_0^2}{2a} = \dfrac{v_0^2}{2g\mu} = \dfrac{(20\ \text{м/с})^2}{2 \cdot 0{,}6 \cdot 10\ \text{м/с}^2} \approx 33$ м. Ответ: $l \approx 33$ м.

№ 72.

Дано: $t = 1$ мин $=60$ с; $\mu = 0{,}02$. Найти v_0.	Решение. $ma = \mu mg$; $a = \mu g$; $0 = v_0 - at = v_0 - \mu gt$; $v_0 = \mu gt = 0{,}02 \cdot 10$ м/с$^2 \cdot 60$ с $= 12$ м/с. Ответ: $v_0 = 12$ м/с.

№ 73.

Задача решена в учебнике.

№ 74.

Дано:	Решение. См. рис. 56.
F, m, α, μ.	1) Запишем второй закон Ньютона: $m\vec{a} = \vec{F} + \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{тр}$.
Найти a.	2) Спроектируем уравнение движения на оси координат:

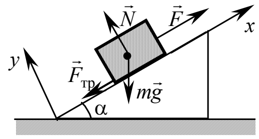


Рис. 56.

$$\begin{cases} x: ma = F - F_{тр} - mg\cos\alpha; \\ y: 0 = N - mg\sin\alpha. \end{cases}$$

3) Учитывая выражение для сил трения покоя $F_{тр} = \mu N$, получим $ma = F - \mu mg\cos\alpha - mg\sin\alpha$.

Окончательно: $a = F/m - g(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)$.

Ответ: $a = F/m - g(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)$.

№ 75.

Задача решена в учебнике.

№ 76.

Дано:	Решение. См. рис. 57.
m_1, m_2,	1) Запишем второй закон Ньютона
$m_1 > m_2$.	для обоих тел:
Найти a, T.	$m_1\vec{a} = m_1\vec{g} + \vec{T}$; $-m_2\vec{a} = m_2\vec{g} + \vec{T}$.
	2) Вычтем второе уравнение из первого $(m_1 + m_2)\vec{a} = (m_1 - m_2)\vec{g}$.

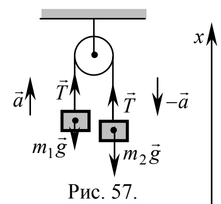


Рис. 57.

3) Спроектировав на ось x, мы получим: $-(m_1 + m_2)a = -(m_1 - m_2)g$, откуда следует, что $a = \dfrac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}g$. Т.к. $m_1 > m_2$, то $\dfrac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} < 1$ и $a < g$.

4) Спроектируем уравнение движения для первого тела: $-m_1a = -m_1g + T$; $T = m_1(g - a)$. Подставляя найденное значение a, находим:

$$T = m_1g\left(1 - \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right) = m_1g\,\frac{m_1 + m_2 - m_1 + m_2}{m_1 + m_2} = \frac{2m_1m_2g}{m_1 + m_2}.$$

Ответ: $a = \dfrac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}g$; $T = \dfrac{2m_1m_2g}{m_1 + m_2}$.

№ 77.

Дано:	Решение. См. рис. 58.
m = 15 кг;	1) Запишем уравнения движения для обоих саней:
F = 120 Н;	$m\vec{a} = -\vec{T} + \vec{N}_2 + \vec{F}_{2тр} + m\vec{g}$; $m\vec{a} = \vec{T} + \vec{F}_{1тр} + m\vec{g} + \vec{F} + \vec{N}_1$.
$\alpha = 45°$;	2) Спроектируем эти уравнения на оси координат и добавим к ним еще два, связывающие силы трения с силами нормальных реакций опоры.
μ = 0,02.	
Найти a, T.	

$$\begin{cases} x: ma = T - F_{2тр}; \\ y: 0 = N_2 - mg; \\ x: ma = -T - F_{1тр} + F\cos\alpha; \\ y: 0 = -mg + F\sin\alpha + N_1; \\ F_{1тр} = \mu N_1; \quad F_{2тр} = \mu N_2. \end{cases} \qquad \begin{cases} 2ma = F\cos\alpha - F_{1тр} - F_{2тр}; \\ 0 = 2T + F_{1тр} - F_{2тр} - F\cos\alpha; \\ F_{1тр} = \mu(mg - F\sin\alpha);\ F_{2тр} = \mu mg. \end{cases}$$

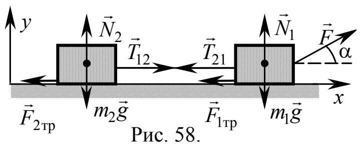


Рис. 58.

$a=(1/2m)(F\cos\alpha - \mu mg + \mu F\sin\alpha - \mu mg) =$
$= (F/2m)(\cos\alpha + \mu\sin\alpha) - \mu g =$
$= \dfrac{120\ \text{Н}}{2\cdot 15\ \text{кг}}\left(\dfrac{\sqrt{2}}{2} + 0{,}02\cdot\dfrac{\sqrt{2}}{2}\right) - 0{,}02\cdot 10\,\text{м/с}^2 =$
$= 2{,}6\ \text{м/с}^2.$

$T = (1/2)(F\cos\alpha + \mu mg - \mu mg + \mu F\sin\alpha) = (F/2)(\cos\alpha + \mu\sin\alpha) =$
$= \dfrac{120\ \text{Н}}{2}\left(\dfrac{\sqrt{2}}{2} + 0{,}02\cdot\dfrac{\sqrt{2}}{2}\right) \approx 42\ \text{Н}.$

Ответ: $a \approx 2{,}6$ м/с^2; $T \approx 42$ Н.

№ 78.

Дано:	Решение. См. рис. 59.
μ, m, α.	1) Запишем уравнения движения обоих грузов:
Найти a, T.	$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{T}$; $\quad m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{тр} + \vec{N} + T$.

2) Спроектируем уравнения движения на оси координат и запишем выражения для силы трения:

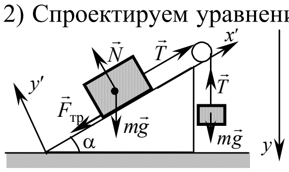


Рис. 59.

$$\begin{cases} y: ma = mg - T; \\ x': ma = T - mg\sin\alpha - F_{тр}; \\ y': 0 = N - mg\cos\alpha; \\ F_{тр} = \mu N. \end{cases}$$

3) Тогда получим: $\begin{cases} 2ma = mg - mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha; \\ 0 = mg - 2T + mg\sin\alpha + \mu mg\cos\alpha. \end{cases}$

$a = (g/2)(1 - \sin\alpha - \mu\cos\alpha)$; $T = (mg/2)(1 + \sin\alpha + \mu\cos\alpha)$.
Ответ: $a = (g/2)(1 - \sin\alpha - \mu\cos\alpha)$; $T = (mg/2)(1 + \sin\alpha + \mu\cos\alpha)$.

№ 79.

Дано:	Решение. См. рис. 60.
k, m, μ.	1) Запишем уравнение движения: $0 = \vec{F} + m\vec{g} - \vec{F}_{тр}$.
Найти Δl.	2) Спроектируем уравнения движения на оси координат:

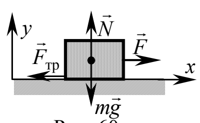


Рис. 60.

$$\begin{cases} x: 0 = F - F_{тр}; \\ y: 0 = -mg + N. \end{cases}$$

3) Т.к. $F = k\Delta l$ и $F_{тр} = \mu N$, то $k\Delta l = \mu mg$; $\Delta l = \mu mg/k$.

Ответ: $\Delta l = \mu mg/k$.

№ 80.

Дано:
$m = 2$ т $= 2000$ кг;
$t = 1$ мин $= 60$ с;
$s = 500$ м;
$k = 2 \cdot 10^6$ Н/м.

Найти Δl.

Решение. См. рис. 61.

1) Запишем уравнение движения: $m\vec{a} = \vec{F} + \vec{N} + m\vec{g}$.

2) Спроектируем уравнения движения на оси координат: $\begin{cases} x: ma = F; \\ y: 0 = N - mg. \end{cases}$

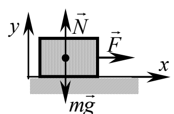


Рис. 61.

3) Учитывая $F = k\Delta l$, $s = at^2/2$, т.е. $a = 2s/t^2$, получаем $m\dfrac{2s}{t^2} = k\Delta l$; $\Delta l = \dfrac{2ms}{kt^2} = \dfrac{2 \cdot 2000\,\text{кг} \cdot 500\,\text{м}}{2 \cdot 10^6\ \text{Н/м} \cdot (60\,\text{с})^2} \approx 2{,}8 \cdot 10^{-4}$ м.

Ответ: $\Delta l \approx 2{,}8 \cdot 10^{-4}$ м.

№ 81.

Задача решена в учебнике.

№ 82.

Дано: $P = 3$ Н.

Найти m.

Решение. $mg = T$; $T = P$; $mg = P$; $m = p/g = 3\text{Н}/10\text{м/с}^2 = 0{,}3$кг.

Ответ: $m = 0{,}3$ кг.

№ 83.

Дано:
$m = 6$ кг;
$a = 2$ м/с^2.

Найти P.

Решение. См. рис. 62.

1) Запишем уравнение движения: $m\vec{a} = \vec{N} + m\vec{g}$.

2) Спроектируем уравнения движения на ось y: $ma = mg - N$; $N = m(g - a)$.

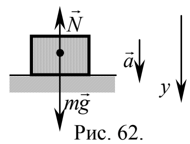


Рис. 62.

3) $P = N = m(g - a) = 6$ кг $\cdot$ (10 м/с^2 – 2 м/с^2) = 48 Н.

Ответ: $P = 48$ Н.

№ 84.

Дано:
$m = 6$ кг;
$a = 2$ м/с^2.

Найти P.

Решение. См. рис 63.

1) Запишем уравнение движения: $m\vec{a} = \vec{N} + m\vec{g}$.

2) Спроектируем уравнения движения на ось y: $ma = -mg + N$; $N = m(g + a)$.

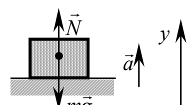


Рис. 63.

3) $P = N = m(g + a) = 6$ кг $\cdot$ (10 м/с^2 + 2 м/с^2) = 72 Н.

Ответ: $P = 72$ Н.

№ 85.

Дано:
$m = 80$ кг;
$v = 10$ м/с;
$R = 20$ м.

Найти P.

Решение. См. рис. 64.

1) Запишем уравнение движения: $m\vec{a} = \vec{N} + m\vec{g}$.

2) Спроектируем уравнения движения на ось y. $ma = N - mg$; $N = m(g + a)$.

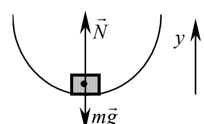


Рис. 64.

3) $a = \frac{v^2}{R}$; $P = N = m\left(g + \frac{v^2}{R}\right) = 80\text{кг}\cdot\left(10\,\text{м/с}^2 + \frac{(10\,\text{м/с})^2}{20\,\text{м}}\right) = 1200\text{Н}.$

Ответ: $P = 1200$ Н.

№ 86.

Дано:	Решение. См. рис. 65.
$m = 19{,}6$ т $= 19600$ кг;	1) Запишем уравнение движения: $m\vec{a} = \vec{N} + m\vec{g}$.
$v = 32{,}4$ км/ч $= 9$ м/с;	2) Спроектируем уравнения движения на ось y.
$R = 30$ м.	
Найти P.	

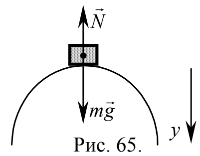


Рис. 65.

$ma = mg - N$; $N = m(g - a)$.

3) $a = v^2/R$;

$$P = N = m\left(g - \frac{v^2}{R}\right) = 19600\text{кг}\cdot\left(10\,\text{м/с}^2 - \frac{(9\,\text{м/с})^2}{30\,\text{м}}\right) \approx 1{,}43\cdot10^5\ \text{Н} = 143\ \text{кН}.$$

Ответ: $P = 143$ кН.

№ 87.

Т.к. плотность железа больше плотности дерева, то объем 1 тонны железа меньше 1 тонны дерева. Отсюда заключаем, что выталкивающая сила, действующая на 1 тонну дерева больше, т.е. тонна дерева весит меньше тонны железа. В вакууме на эти тела не действует выталкивающая сила, и их вес будет одинаковым.

№ 88.

Рассмотрим систему птица — ящик — весы — воздух в ящике. Т.к. внутренние силы не могут привести такую систему в движение, то равновесие не нарушается.

№ 89.

Дано:	Решение.
$m = 6\cdot10^{24}$ кг;	$F = G\frac{mM}{R^2} = 6{,}67\cdot10^{-11}\ \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{кг}^2}\times\frac{6\cdot10^{24}\ \text{кг}\cdot2\cdot10^{30}\ \text{кг}}{(1{,}5\cdot10^{11}\ \text{м})^2} \approx$
$M = 2\cdot10^{30}$ кг;	$\approx 3{,}6\cdot10^{23}$ Н.
$R = 150\cdot10^6$ км $=$ $= 1{,}5\cdot10^{11}$ м.	Ответ: $F \approx 3{,}6\cdot10^{23}$ Н.
Найти F.	

№ 90.

Дано:	Решение.
$m = 200$ г $= 0{,}2$ кг;	$F = G\frac{m^2}{R^2} = 6{,}67\cdot10^{-11}\ \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{кг}^2}\cdot\frac{(0{,}2\,\text{кг})^2}{(1\,\text{м})^2} \approx 2{,}7\cdot10^{-12}$ Н.
$R = 1$ м.	Ответ: $F \approx 2{,}7\cdot10^{-12}$ Н.
Найти F.	

№ 91.

Дано: $m = 81\,M$; $l = 384400$ км. Найти r.	Решение.

$$\begin{cases} F_1(r) = G\dfrac{m'M}{r^2}; \\ F_2(r) = G\dfrac{m'm}{(l-r)^2}; \\ F_1(r) = F_2(r). \end{cases} \quad G\frac{m'M}{r^2} = G\frac{m'm}{(l-r)^2}; \quad \frac{M}{m}(l-r)^2 = r^2;$$

$81(l-r)^2 = r^2$; $9(l-r)=r$; $r=0{,}9l = 0{,}9\cdot 384400$ км ≈ 346000 км.

Ответ: $r \approx 346000$ км.

№ 92.

Дано: $h = 3R$. Найти F_1/F_2.

Решение.

$$F_2 = G\frac{mM}{(R+3R)^2} = G\frac{mM}{16R}; \quad F_1 = G\frac{mM}{R^2}; \quad \frac{F_1}{F_2} = 16.$$

Ответ: $F_1/F_2 = 16$.

№ 93.

Камень, лежащий на Земле, нельзя поднять, приложив к нему силу в точности равную силе тяжести, поскольку он будет в состоянии равновесия, а, значит, по первому закону Ньютона, сохранит состояние покоя.

№ 94.

Свободно падающий мячик будет иметь большее ускорение свободного падения на первом этаже, поскольку ускорение свободного падения убывает с высотой как квадрат расстояния.

№ 95.

Дано: $m = \dfrac{1}{81}M$; $r = 0{,}27\,R$. Найти $g_л$.

Решение.

$$g_з = G\frac{M}{R^2}; \quad g_л = G\frac{m}{r^2} = G\frac{\frac{1}{81}M}{(0{,}27R)^2} = \frac{g_з}{81\cdot 0{,}27^2} = \frac{9{,}8\text{ м/с}^2}{81\cdot 0{,}27^2} \approx$$

$\approx 1{,}7$ м/с^2.

Ответ: $g_л \approx 1{,}7$ м/с^2.

№ 96.

Дано: $m = 318\,M$; $r = 11\,R$. Найти $g_ю$.

Решение.

$$g_з = G\frac{M}{R^2}; \quad g_ю = G\frac{m}{r^2} = G\frac{318M}{(11R)^2} = \frac{318}{11^2}g_з = \frac{318}{11^2}\cdot 9{,}8\text{ м/с}^2 \approx$$

$\approx 25{,}8$ м/с^2.

Ответ: $g_ю \approx 25{,}8$ м/с^2.

№ 97.

а) Тело движется по параболе с начальной скоростью, направленной под углом к горизонту (см. рис. 66 а).

б) Тело движется вертикально с начальной скоростью, направленной вверх (см. рис. 66 б).

в) Тело движется вертикально с начальной скоростью, направленной вниз (см. рис. 66 в).

г) Тело движется по параболе с начальной скоростью, направленной горизонтально (см. рис. 66 г).

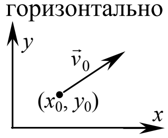


Рис. 66 а.

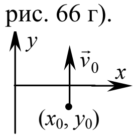


Рис. 66 б.

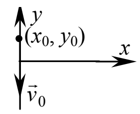


Рис. 66 в.

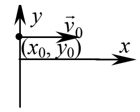


Рис. 66 г.

№ 98.

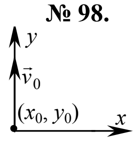


Рис. 67 а.

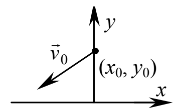


Рис. 67 б.

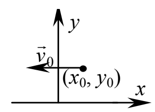


Рис. 67 в.

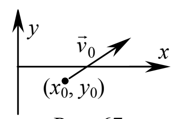


Рис. 67 г.

а) Тело движется вертикально с начальной скоростью, направленной вверх (см. рис. 67 а).

б) Тело движется по параболе с начальной скоростью, направленной под углом к горизонту (см. рис. 67 б).

в) Тело движется по параболе с начальной скоростью, направленной горизонтально (см. рис. 67 в).

б) Тело движется по параболе с начальной скоростью, направленной под углом к горизонту (см. рис. 67 г).

№ 99.

Дано:
$v_0 = 20$ м/с.

Найти t, h.

Решение. 1) $0 = v_0 - gt$; $t = \dfrac{v_0}{g} = \dfrac{20\ \text{м/с}}{10\ \text{м/с}^2} = 2$ с.

2) $h = \dfrac{gt^2}{2} = \dfrac{v_0^2}{2g} = \dfrac{(20\ \text{м/с})^2}{2 \cdot 10\ \text{м/с}^2} = 20$ м.

Т.к. g на Луне в 6 раз больше, то h и t увеличиваются в шесть раз.

Ответ: $t = 2$ с; $h = 20$ м.

№ 100.

Дано:
$h = 10$ м;
$v_0 = 15$ м/с.

Найти t, v.

Решение.

1) $2hg = v^2 - v_0^2$; $v = \sqrt{2gh + v_0^2} =$

$= \sqrt{2 \cdot 10\ \text{м/с}^2 \cdot 10\ \text{м} + (15\ \text{м/с})^2} \approx 20$ м/с.

2) $v = v_0 + gt$; $t = \dfrac{v - v_0}{g} = \dfrac{20\ \text{м/с} - 15\ \text{м/с}}{10\ \text{м/с}^2} = 0{,}5$ с.

Ответ: $t = 0{,}5$ с; $v \approx 20$ м/с.

№ 101.

Дано:	Решение.
$h = 2$ м; $v_0 = 5$ м/с.	$h = \frac{gt^2}{2}$; $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$; $l=v_0t = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}} = 5\text{ м/с}\sqrt{\frac{2\cdot 2\text{ м}}{10\text{ м/с}^2}} \approx 3{,}2$ м.
Найти l, v.	

$v_у = gt = \sqrt{2hg}$; $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + 2hg} = \sqrt{(5\text{ м/с})^2 + 2\cdot 2\text{ м}\cdot 10\text{ м/с}} \approx 8$ м/с.

Ответ: $l = 3{,}2$ м; $v \approx 8$ м/с.

№ 102.

Дано:	Решение.
h; v_0.	1) $h = gt^2/2$; $t = \sqrt{2h/g}$; $l = v_0t = v_0\sqrt{2h/g}$;
Найти l, R.	

2) Переходя в систему отсчета, связанную с самолетом, получаем, что самолет в момент падения бомбы на поверхность Земли будет находиться над местом падения над высотой $R = h$.

Ответ: $l = v_0\sqrt{2h/g}$; $R = h$.

№ 103.

Дано: α; v_0.

Найти t_{max}, h, L.

Решение.

1) $\begin{cases} x = v_0 \cos\alpha t; \\ y = v_0 \sin\alpha t - \frac{gt^2}{2}. \end{cases}$

2) $v_у = v_0\sin\alpha - gt$; $0 = v_0\sin\alpha - g\frac{t_{max}}{2}$; $t_{max} = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g}$.

3) $L = x(t_{max}) = v_0\cos\alpha t_{max} = \frac{v_0^2}{g}\cdot 2\sin\alpha\cos\alpha = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$.

4) $h = y\left(\frac{t_{max}}{2}\right) = v_0\sin\alpha\cdot\frac{v_0\sin\alpha}{g} - \frac{g}{2}\cdot\frac{v_0^2\sin^2\alpha}{2g} = \frac{v_0^2\sin^2\alpha}{2g}$.

Ответ: $t_{max} = \frac{2v_0\sin\alpha}{g}$; $L = \frac{v_0^2\sin 2\alpha}{g}$; $h = \frac{v_0^2\sin^2\alpha}{2g}$.

№ 104.

Дано: h, L.

Найти α.

Решение.

Воспользуемся выведенными в № 103 формулами для L и h. По условию задачи: $L = h$; $\frac{v_0^2\sin 2\alpha}{g} = \frac{v_0^2\sin^2\alpha}{2g}$;

$2\sin\alpha\cos\alpha = \sin^2\alpha/2$; $\text{tg}\alpha = 4$; $\alpha = \text{arctg}4 \approx 76°$.

Ответ: $\alpha \approx 76°$.

№ 105.

Сбросим с крыши дома пустую банку без начальной скорости. Тогда высота дома h связана с временем полета t, засеченному по секундомеру, соотношением $h = gt^2/2$, где $g = 9{,}8$ м/с^2 — ускорение свободного падения.

№ 106.

Мы не «потеряли» Луну, поскольку, хотя Солнце и притягивает ее вдвое сильнее, чем Земля, оно сообщает и Земле, и Луне примерно одинаковые ускорения.

№ 107.

Дано:	Решение.
$g = 1{,}7$ м/с^2;	$v^2/r = g;\ v = \sqrt{gr} = \sqrt{1{,}7\ \text{м/с}^2 \cdot 0{,}27 \cdot 6{,}4 \cdot 10^6\ \text{м}} \approx$
$R = 6{,}4 \cdot 10^6$ м;	≈ 1700 м/с $= 1{,}7$ км/с.
$r = 0{,}27\,R$.	Ответ: $v = 1{,}7$ км/с.
Найти v.	

№ 108.

Дано:	Решение.
$m = 2{,}6 \cdot 10^{30}$ кг;	$\frac{v^2}{R} = G\frac{m}{R^2}$;
$R = 10$ км $= 10^4$ м.	
Найти v.	

$$v = \sqrt{G\frac{m}{R}} = \sqrt{6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2} \cdot \frac{2{,}6 \cdot 10^{30}\ \text{кг}}{10^4\ \text{м}}} \approx 1{,}3 \cdot 10^8\ \text{м/с}.$$

Ответ: $v \approx 1{,}3 \cdot 10^8$ м/с.

№ 109.

Дано:	Решение.
$R = 6400$км;	$\frac{v_0}{R} = G\frac{m}{R^2};\quad \frac{v^2}{R+h} = G\frac{m}{(R+h)^2};\quad \frac{v_0^2}{v^2} = \frac{R+h}{R} = 1 + \frac{h}{R};$
$v_0 = 8$ км/с;	$h = R\left(\frac{v_0^2}{v^2} - 1\right) = 6400\ \text{км}\left(\frac{(8\ \text{км/с})^2}{(4\ \text{км/с})^2} - 1\right) = 19200$ км.
$v = 4$ км/с.	Ответ: $h = 19200$ км.
Найти h.	

№ 110.

Дано: $h = 3600$ км $= 3{,}6 \cdot 10^6$ м;	Решение.
$R = 6400$ км $= 6{,}4 \cdot 10^6$ м;	$\frac{v^2}{R+h} = G\frac{M}{(R+h)^2}$;
$M = 6 \cdot 10^{24}$ кг.	
Найти v.	

$$v = \sqrt{G\frac{M}{R+h}} = \sqrt{6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2} \cdot \frac{6 \cdot 10^{24}\ \text{кг}}{3{,}6 \cdot 10^6\ \text{м} + 6{,}4 \cdot 10^6\ \text{м}}} \approx 6{,}3 \cdot 10^3\ \text{м/с} \approx 6{,}3\ \text{км/с}.$$

Ответ: $v \approx 6{,}3$ км/с.

№ 111.

Дано:
$T = 24$ ч $=$ $= 86400$ с;
$R = 6{,}4\cdot10^6$ м;
$M = 6\cdot10^{24}$ кг.

Найти h.

Решение.

$\omega_1 = \dfrac{2\pi}{T}$; $\omega_2 = \dfrac{v}{R+h}$; $\omega_1 = \omega_2$; $\dfrac{2\pi}{T} = \dfrac{v}{R+h}$;

$G\dfrac{mM}{(R+h)^2} = m\dfrac{v^2}{R+h} \Rightarrow v = \sqrt{G\dfrac{M}{R+h}}$; $\dfrac{2\pi}{T} = \dfrac{\sqrt{GM}}{(R+h)^{\frac{3}{2}}} \Rightarrow$

$$h=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}-R=\sqrt[3]{\frac{6{,}67\cdot10^{-11}\ \text{Н}\cdot\text{м}^2/\text{кг}^2\cdot6\cdot10^{24}\ \text{кг}\cdot(86400\ \text{с})^2}{4\cdot(3{,}14)^2}}-6{,}4\cdot10^6\ \text{м}\approx$$

$\approx 3{,}6\cdot10^7$ м.

Ответ: $h \approx 3{,}6\cdot10^7$ м.

№ 112.

Дано:
$R = 6{,}4\cdot10^6$ м.

Найти T.

Решение. $\dfrac{4\pi^2(R+R)}{T^2} = G\dfrac{M}{(R+R)^2}$; $g = G\dfrac{M}{R^2}$;

$$\frac{8\pi^2 R}{T^2}=\frac{g}{4};\ T=\sqrt{\frac{32\pi^2 R}{g}}=4\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}\approx4\cdot3{,}14\sqrt{\frac{2\cdot6{,}4\cdot10^6\ \text{м}}{10\ \text{м/с}^2}}\approx1{,}4\cdot10^4\text{с}\approx3{,}9\ \text{ч}.$$

Ответ: $T = 3{,}9$ ч.

№ 113.

Дано: M, c.

Найти R.

Решение. $(1/R)\cdot(c/\sqrt{2})^2 = GM/R^2$; $R = 2GM/c^2$

Ответ: $R = 2GM/c^2$.

№ 114.

Дано:
$M = 2\cdot10^{30}$ кг;
$c = 3\cdot10^8$ м.

Найти R.

Решение.

$$R=2G\frac{M}{c^2}=2\cdot6{,}67\cdot10^{-11}\ \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{кг}^2}\cdot\frac{2\cdot10^{30}\ \text{кг}}{(3\cdot10^8\ \text{м})^2}\approx3\cdot10^3\text{м}=3\ \text{км}.$$

Ответ: $R \approx 3$ км.

№ 115.

Дано:
$m = 80$ кг;
$a = 3g$.

Найти P.

Решение.

$ma = N - mg$; $N = m(a+g)$; $P = N = m(a+g) =$

$= m(3g+g) = 4mg = 4\cdot80$ кг $\cdot\ 10$ м/с^2 $= 3200$ Н.

Ответ: $P = 3200$ Н.

№ 116.

Дано:
$m = 75$ кг;
$P = 3$ кН $= 3000$ Н.

Найти n.

Решение. $ma = N - mg$; $N = P$;

$$a=\frac{N}{m}-g;\ n=\frac{a}{g}=\frac{N}{mg}-1=\frac{3000\ \text{Н}}{75\ \text{кг}\cdot10\ \text{м/с}^2}-1=3.$$

Ответ: $n = 3$.

№ 117.

Чтобы весить меньше, человек должен полететь на Марс, т.к. там ускорение свободного падения меньше.

№ 118.

Поскольку, пренебрегая выталкивающей силой в воздухе, и человек, и гиря движутся с одинаковым ускорением, гиря не давит на руку человека.

№ 119.

Дано: $F = 200$ Н; $\alpha = 60°$; $s = 100$ м.	Решение. $A = Fs\cos\alpha = 200\ \text{Н} \cdot 100\ \text{м} \cdot \cos 60° = 10000\ \text{Дж} =$ $= 10$ кДж.
Найти A.	Ответ: $A = 10$ кДж.

№ 120.

Дано: $F = 700$ Н; $\alpha = 30°$; $s = 2$ км $= 2000$ м.	Решение. $A = Fs\cos\alpha = 700\ \text{Н} \cdot 2000\ \text{м} \cdot \cos 30° =$ $= 1,2 \cdot 10^6$ Дж $= 1,2$ МДж.
Найти A.	Ответ: $A = 1,2$ МДж.

№ 121.

Дано: $m = 0,15$ кг; $E_k = 6,75$ кДж $=$ $= 6750$ Дж.	Решение. $E_k = \frac{mv^2}{2}$; $v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6750\ \text{Дж}}{0,15\ \text{кг}}} = 300$ м/с.
Найти v.	Ответ: $v = 300$ м/с.

№ 122.

Дано: $m = 3$ кг; $v = 3$ м/с.	Решение. $E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{3\ \text{кг} \cdot (3\ \text{м/с})^2}{2} = 13,5$ Дж.
Найти E_k.	Ответ: $E_k = 13,5$ Дж.

№ 123.

Дано: $m = 1000$ т $= 10^6$ кг; $v_0 = 108$ км/ч $=$ $= 30$ м/с.	Решение. $A = \Delta E_k = -\frac{mv^2}{2} = -\frac{10^6\ \text{кг} \cdot (30\ \text{м/с})^2}{2} =$
Найти A.	$= -4,5 \cdot 10^8$ Дж. Ответ: $A = -4,5 \cdot 10^8$ Дж.

№ 124.

Дано: $m = 60$ кг; $v = 7$ км/ч $\approx 1,9$ м/с; $v_0 = 5$ км/ч $\approx 1,4$ м/с.	Решение. $A = \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1} = \frac{m}{2}\left(v^2 - v_0^2\right) =$ $= (60\text{кг}/2) \cdot ((1,9\ \text{м/с})^2 - (1,4\ \text{м/с})^2) \approx 50$ Дж.
Найти A.	Ответ: $A \approx 50$ Дж.

№ 125.

Дано:
$v_0 = 54$ км/ч = = 15 м/с;
$\mu = 0,5$.

Найти l.

Решение.

$$\frac{mv_0^2}{2} = A_{\text{тр}} = \mu mgl;\ l = \frac{v_0^2}{2\mu g} = \frac{(15\,\text{м/с})^2}{2\cdot 0,5\cdot 10\,\text{м/с}^2} = 22,5\ \text{м}.$$

Ответ: $l = 22,5$ м.

№ 126.

Дано: $m = 0,4$ кг;
$F = 50$ Н;
$v_0 = 3$ м/с.

Найти l.

Решение.

$$\frac{mv_0^2}{2} = A = Fl;\ l = \frac{mv_0^2}{2F} = \frac{0,4\,\text{кг}\cdot(3\,\text{м/с})^2}{2\cdot 50\,\text{Н}} = 0,036\ \text{м} = 3,6\ \text{см}.$$

Ответ: $l = 3,6$ см.

№ 127.

Дано:
$m = 10$ г = 0,01 кг;
$v = 400$ м/с;
$l = 8$ см = 0,08 м;
$v_0 = 800$ м/с.

Найти F.

Решение.

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = A = -Fl;\ F = \frac{m}{2l}(v_0^2 - v^2) =$$

$$= \frac{0,01\,\text{кг}}{2\cdot 0,08\,\text{м}}((800\,\text{м/с})^2 - (400\,\text{м/с})^2) = 30000\ \text{Н}.$$

Ответ: $F = 30000$ Н.

№ 128.

Дано:
$m = 100$ г = 0,1 кг;
$v_0 = 15$ м/с.

Найти A.

Решение.

$$A = -mv_0^2/2 = -(0,1\,\text{кг}\cdot(15\,\text{м/с})^2)/2 = -11,25\ \text{Дж}.$$

Ответ: $A = -11,25$ Дж.

№ 129.

Дано: $m = 0,5$ кг;
$E_p = 25$ Дж.

Найти h.

Решение. $E_p = mgh$;
$h = E_p/mg = 25\text{Дж}/(0,5\text{кг}\cdot 10\text{м/с}^2) = 5$ м.
Ответ: $h = 5$ м.

№ 130.

Дано: $k = 100$ Н/м;
$x = 2$ см = 0,02 м.

Найти E_p.

Решение.
$E_p = kx^2/2 = (100\text{Н/м}\cdot(0,02\text{м})^2) = 0,02$ Дж.
Ответ: $E_p = 0,02$ Дж.

№ 131.

Потенциальная энергия в точке прыжка и в точке приземления одинаковы, а, значит, по теореме о потенциальной энергии работа силы тяжести равна нулю.

№ 132.

Потенциальная энергия в точке начала полета и точки приземления одинаковы, а, значит, по теореме о потенциальной энергии работа силы тяжести равна нулю.

№ 133.

Дано:
$k = 40$ Н/м;
$x_1 = 2$ см $= 0{,}02$ м;
$x_2 = 1$ см $= 0{,}01$ м.
Найти A.

Решение. $A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2} = \frac{k}{2}(x_1^2 - x_2^2) =$
$= (40\text{Н/м}/2)((0{,}02\ \text{м})^2 - (0{,}01\ \text{м})^2) = 0{,}006$ Дж.
Ответ: $A = 0{,}006$ Дж.

№ 134.

Дано:
$l = 10$ см $= 0{,}1$ м;
$P = 10$ Н.
Найти A.

Решение.
$P = kl;\ A = -\frac{kl^2}{2} = -\frac{Pl}{2} = -\frac{10\ \text{Н} \cdot 0{,}1\ \text{м}}{2} = -0{,}5$ Дж.
Ответ: $A = -0{,}5$ Дж.

№ 135.

Дано:
$k = 250$ Н/м;
$E_p = 500$ Дж.
Найти m.

Решение.
$E_p = \frac{kx^2}{2};\ x = \sqrt{\frac{2E_p}{k}}.\ mg = kx;\ m = \frac{kx}{g} = \sqrt{\frac{2E_{\text{п}}k}{g^2}} =$
$= \sqrt{\frac{2 \cdot 500\ \text{Дж} \cdot 250\ \text{Н/м}}{10\ \text{м/с}^2}} = 50$ кг.
Ответ: $m = 50$ кг.

№ 136.

Начальное положение совпадает с конечным, а, значит, по теореме о потенциальной энергии работа силы упругости равна нулю.

№ 137.

Задача решена в учебнике.

№ 138.

Дано:
$h_0 = 20$ м;
$h = 10$ м.
Найти v.

Решение.
Согласно закону сохранения энергии: $mgh_0 = mgh + \frac{mv^2}{2}$.
Отсюда находим:
$v = \sqrt{2g(h_0 - h)} = \sqrt{2 \cdot 10\ \text{м/с}^2 (20\ \text{м} - 10\ \text{м})} \approx 14$ м/с.
Ответ: $v \approx 14$ м/с.

№ 139.

Дано:
$h_0 = 1$ м;
$v_0 = 10$ м/с.
Найти h.

Решение. Согласно закону сохранения энергии:
$mgh = mgh_0 + \frac{mv_0^2}{2}$. Отсюда: $h = h_0 + \frac{v_0^2}{2g} = 1\text{м} + \frac{(10\ \text{м/с})^2}{2 \cdot 10\ \text{м/с}^2} = 6\text{м}$.
Ответ: $h = 6$ м.

№ 140.

Дано:	Решение. Согласно закону сохранения энергии
$v_0 = 20$ м/с.	$mgh = mv_0^2/2$. Отсюда: $h = \dfrac{v_0^2}{2g} = \dfrac{(20\text{ м/с})^2}{2\cdot 10\text{ м/с}^2} = 20$ м.
Найти h.	Ответ: $h = 20$ м.

№ 141.

Пусть v_0 — скорость, с которой бросают вверх тело, v — скорость в момент падения. Пренебрегая сопротивлением воздуха, запишем закон сохранения энергии: $\dfrac{mv_0^2}{2} = \dfrac{mv^2}{2}$. Отсюда следует, что $v = v_0$.

№ 142.

Пусть h_0 — высота, с которой бросают тело, h — высота подъема. Пренебрегая сопротивлением воздуха, запишем закон сохранения энергии: $mgh = mgh_0$. Отсюда следует $h = h_0$.

№ 143.

Дано:	Решение. Согласно закону сохранения энергии:
$m = 5$ г = 0,005 кг; $v = 8$ м/с; $x = 5$ см = 0,05 м.	$\dfrac{kx^2}{2} = \dfrac{mv^2}{2} + mgx$. Отсюда: $k = m\dfrac{v^2}{x^2} + 2m\dfrac{g}{x} =$ $= 0{,}005\text{ кг}\cdot\dfrac{(8\text{ м/с})^2}{(0{,}05\text{ м})^2} + 2\cdot 0{,}005\text{ кг}\cdot\dfrac{10\text{ м/с}^2}{0{,}05\text{ м}} = 130$ Н/м.
Найти k.	Ответ: $k = 130$ Н/м.

№ 144.

Дано:	Решение.
$m = 5$ г = 0,005 кг; $v = 8$ м/с; $x = 5$ см = 0,05 м.	Согласно закону сохранения энергии: $\dfrac{kx^2}{2} = \dfrac{mv^2}{2}$. Отсюда: $k = m\dfrac{v^2}{x^2} = 0{,}005\text{ кг}\cdot\dfrac{(8\text{ м/с})^2}{(0{,}05\text{ м})^2} = 128$ Н/м.
Найти k.	Ответ: $k = 128$ Н/м.

№ 145.

Дано:	Решение.
m, k, x.	Согласно закону сохранения энергии:
Найти h.	$\dfrac{kx^2}{2} = mgh + mgx$. Отсюда: $h = \dfrac{kx^2}{2mg} - x = x\left(\dfrac{kx}{2mg} - 1\right)$. Ответ: $h = x\left(\dfrac{kx}{2mg} - 1\right)$.

№ 146.

Дано: $h = 1{,}5$ м; $m = 2$ г $= 0{,}002$ кг; $k = 100$ Н/м; $x = 3$ см $= 0{,}03$ м.	Решение. 1) Согласно закону сохранения энергии: $\frac{kx^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$; $v_0 = x\sqrt{\frac{k}{m}}$.
Найти L.	2) $h = gt^2/2$; $t = \sqrt{2h/g}$.

3) $L = v_0 t = x\sqrt{\frac{2kh}{mg}} = 0{,}03\,\text{м}\sqrt{\frac{2\cdot 100\,\text{Н/м}\cdot 1{,}5\,\text{м}}{0{,}002\,\text{кг}\cdot 10\,\text{м/с}^2}} \approx 3{,}7$ м.

Ответ: $L \approx 3{,}7$ м.

№ 147.

Дано: $m = 10$ кг; $b = 4$ м; $\mu = 0{,}4$; $a = 2$ м.	Решение. 1) $A_{тяж} = 0$, поскольку потенциальная энергия силы тяжести не меняется. 2) $A_{тр} = -\mu mga - \mu mgb - \mu mga - \mu mgb =$ $= -2\mu mg\,(a + b) = -2 \cdot 0{,}4 \cdot 10$ кг $\cdot 10$ м/с^2(2 м + 4 м) = $= -480$ Дж.
Найти $A_{тр}$, $A_{тяж}$.	Ответ: $A_{тр} = -480$ Дж; $A_{тяж} = 0$.

№ 148.

Выделяемое количество теплоты не зависит от высоты сгорания дров, поскольку потенциальная энергия дров перейдет в потенциальную энергию продуктов сгорания (пепел, дым, и т. д).

№ 149.

Дано: H, h, F_c, m.	Решение. Согласно теореме об изменении полной механической энергии: $\frac{mv^2}{2} + mgH + mgh = F_c h.$ Отсюда:
Найти v.	$v = \sqrt{2\left(\frac{F_c h}{m} - gH - gh\right)}$. Ответ: $v = \sqrt{2\left(\frac{F_c h}{m} - gH - gh\right)}$.

№ 150.

Дано: h_0, v, m.	Решение. Согласно теореме об изменении полной механической энергии: $A = mv^2/2 - mgh_0$.
Найти A.	Ответ: $A = mv^2/2 - mgh_0$.

№ 151.

Дано: $v = 8$ км/с $= 8000$ м/с; $m = 6{,}6$ т $= 6600$ кг.	Решение. $p = mv = 6600$кг$\cdot$8000м/с $= 52{,}8\cdot 10^6$ кг$\cdot$м/с.
Найти p.	Ответ: $p = 52{,}8 \cdot 10^6$ кг $\cdot$ м/с.

№ 152.

Дано:
$p = 63{,}7 \cdot 10^{-24}$ кг·м/с;
$m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг.
Найти v.

Решение.

$$v = \frac{p}{m} = \frac{63{,}7 \cdot 10^{-24}\ \text{кг} \cdot \text{м/с}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}\ \text{кг}} = 7 \cdot 10^{7}\ \text{м/с}.$$

Ответ: $v = 7 \cdot 10^7$ м/с.

№ 153.

Дано:
$p = 800$ кг · м/с;
$p_0 = 4800$ кг · м/с;
$\Delta t = 0{,}5$ с.
Найти F.

Решение.
Согласно второму закону Ньютона: $F\Delta t = p - p_0$.

$$F = \frac{p - p_0}{\Delta t} = \frac{800\ \text{кг} \cdot \text{м/с} - 4800\ \text{кг} \cdot \text{м/с}}{0{,}5\ \text{с}} = -8000\ \text{Н}.$$

Ответ: $F = -8000$ Н.

№ 154.

Дано:
$p = 20$ кг · м/с;
$F = 2000$ Н.
Найти Δt.

Решение.
Согласно второму закону Ньютона: $F\Delta t = p$.

$$\Delta t = \frac{p}{F} = \frac{20\ \text{кг} \cdot \text{м/с}}{2000\ \text{Н}} = 0{,}01\ \text{с}.$$

Ответ: $\Delta t = 0{,}01$ с.

№ 155.

Задача решена в учебнике.

№ 156.

Дано:
$v = 2$ м/с;
$M = 1170$ т;
$m = 130$ т.
Найти V.

Решение. Согласно закону сохранения импульса:
$mv + M \cdot 0 = (m + M)V$. Отсюда:

$$V = v\frac{m}{m + M} = 2\ \text{м/с} \cdot \frac{130\ \text{т}}{130\ \text{т} + 1170\ \text{т}} = 0{,}2\ \text{м/с}.$$

Ответ: $V = 0{,}2$ м/с.

№ 157.

Дано:
$v_1 = 0{,}5$ м/с;
$v_2 = 2$ м/с;
$m_1 = 20$ т;
$m_2 = 10$ т.
Найти v.

Решение. Согласно закону сохранения импульса:
$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v$. Отсюда:

$$v = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} = \frac{20\ \text{т} \cdot 0{,}5\ \text{м/с} + 10\ \text{т} \cdot 2\ \text{м/с}}{20\ \text{т} + 10\ \text{т}} = 1\ \text{м/с}.$$

Ответ: $v = 1$ м/с.

№ 158.

Дано:
$v_1 = 0{,}5$ м/с;
$v_2 = 2$ м/с;
$m_1 = 100$ кг;
$v = 1$ м/с.
Найти m_2.

Решение. Согласно закону сохранения импульса:
$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v$; $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v + m_2v$;

$$m_2 = m_1\frac{v - v_1}{v_2 - v} = 100\ \text{кг}\,\frac{1\ \text{м/с} - 0{,}5\ \text{м/с}}{2\ \text{м/с} - 1\ \text{м/с}} = 50\ \text{кг}.$$

Ответ: $m_2 = 50$ кг.

№ 159.

Дано:
v = 9 км/ч = 2,5м/с;
v_2 = 700 м/с;
m_1 = 10 т = = 10000 кг;
m_2 = 10 кг.
Найти v_1.

Решение. Согласно закону сохранения импульса:

$$m_1v = m_1v_1 + m_2v_2;\ v_1 = \frac{m_1v - m_2v_2}{m_1} = v - \frac{m_2}{m_1}v_2 =$$

$$= 2{,}5\ \text{м/с} - \frac{10\ \text{кг}}{10000\ \text{кг}} \cdot 700\ \text{м/с} = 1{,}8\ \text{м/с}.$$

Ответ: v_1 = 1,8 м/с.

№ 160.

Дано:
v_2 = 300 м/с;
m_1 = 5 кг;
m_2 = 15 г = = 0,015 кг;
m_3 = 80 кг.
Найти v_1, v_3.

Решение.
1) Согласно закону сохранения импульса: $0 = m_1v_1 + m_2v_2$;
$v_1 = -v_2m_2/m_1 = -300$м/с(0,015кг/5кг) = – 0,9 м/с.
2) Согласно закону сохранения импульса:
$0 = (m_1 + m_3)\ v_3 + m_2v_2$;

$$v_3 = -v_2\frac{m_2}{m_1 + m_3} = -300\ \text{м/с} \cdot \frac{0{,}015\ \text{кг}}{5\ \text{кг} + 80\ \text{кг}} = -0{,}05\text{м/с}.$$

Ответ: v_1 = – 0,9 м/с; v_3 = – 0,05м/с.

№ 161.

Дано:
v_0 = 3 м/с;
v_1 = 30 м/с.
Найти v_2.

Решение. Согласно закону сохранения импульса:
$mv_0 = mv_1/2 + mv_2/2$. $2v_0 = v_1 + v_2$;
$v_2 = 2v_0 - v_1 = 2 \cdot 3$ м/с – 30 м/с = – 24 м/с.
$v_2<0$, значит, скорость v_2 направлена противоположно v_0.
Ответ: v_2 = – 24 м/с.

№ 162.

Дано:
M = 180 кг;
V = 1 м/с;
m = 50 кг;
v = – 4 м/с.
Найти V'.

Решение. Согласно закону сохранения импульса:
$(m + M)\ V = mv + MV'$; $V' = V + (m/M)(V - v) =$

$$= 1\ \text{м/с} + \frac{50\ \text{кг}}{180\ \text{кг}}(1\ \text{м/с} - (-4\ \text{м/с})) \approx 2{,}4\ \text{м/с}.$$

Ответ: $V' \approx 2{,}4$ м/с.

№ 163.

Дано:
v_1 = 3 м/с;
v_2 = 0,5 м/с;
m_1 = 100 г = 0,1 кг;
m_2 = 1,5 кг.
Найти v.

Решение.
См. рис. 68.
$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$; $p_1 = m_1v_1$; $p_2 = m_2v_2$;
$p = (m_1 + m_2)v$;
$(m_1 + m_2)v = \sqrt{(m_1v_1)^2 + (m_2v_2)^2}$;

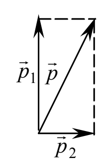


Рис. 68.

$$v = \frac{\sqrt{(m_1v_1)^2 + (m_2v_2)^2}}{m_1 + m_2} = \frac{\sqrt{(0{,}1\ \text{кг} \cdot 3\ \text{м/с})^2 + (1{,}5\ \text{кг} \cdot 0{,}5\ \text{м/с})^2}}{0{,}1\ \text{кг} + 1{,}5\ \text{кг}} \approx 0{,}5\ \text{м/с}.$$

Ответ: $v \approx 0{,}5$ м/с.

№ 164.

Дано: $v_1 = 1$ м/с; $v_2 = 2$ м/с; $m_1 = 100$ кг; $m_2 = 50$ кг.	Решение. См. рис. 68. $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$; $p_1 = m_1 v_1$; $p_2 = m_2 v_2$; $p = (m_1 + m_2)v$;
Найти v.	$(m_1 + m_2)v = \sqrt{(m_1 v_1)^2 + (m_2 v_2)^2}$;

$$v = \frac{\sqrt{(m_1 v_1)^2 + (m_2 v_2)^2}}{m_1 + m_2} = \frac{\sqrt{(100\,\text{кг} \cdot 1\,\text{м/с})^2 + (50\,\text{кг} \cdot 2\,\text{м/с})^2}}{100\,\text{кг} + 50\,\text{кг}} \approx 0{,}94 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v \approx 0{,}94$ м/с.

№ 165.

Для того чтобы передвигаться по очень скользкому льду, следует, стоя, махать руками в противоположном направлении необходимому. При этом человек получит некоторую скорость по закону сохранения импульса и, если он достаточно ловкий, сможет докатиться до берега.

№ 166.

Чтобы остановиться на скользком столе, белке, знающей законы физики, следует начать выбрасывать орехи в направлении движения. По закону сохранения импульса белка может остановиться, но, если она будет кидать орехи слишком сильно, то поедет обратно и может упасть с другой стороны стола.

№ 167.

Дано: $M = 0{,}5$ кг; $m = 20$ г $= 0{,}02$ кг; $v = 800$ м/с.	Решение. Согласно закону сохранения импульса: $MV = mv$; $V = \frac{m}{M}v = \frac{0{,}02\,\text{кг}}{0{,}5\,\text{кг}} \cdot 800\,\text{м/с} = 32$ м/с.
Найти V.	Ответ: $V = 32$ м/с.

№ 168.

Дано: $M = 10$ кг; $m = 0{,}1$ кг; $v = 500$ м/с.	Решение. Согласно закону сохранения импульса: $MV = mv$; $V = \frac{m}{M}v = \frac{0{,}1\,\text{кг}}{10\,\text{кг}} \cdot 500\,\text{м/с} = 5$ м/с.
Найти V.	Ответ: $V = 5$ м/с.

№ 169.

Дано: $\nu = 440$ Гц; $t = 5$ с.	Решение. $T = 1/\nu = 1/440$Гц $\approx 0{,}023$ с; $N = t/T = \nu t = 440$ Гц $\cdot$ 5 с $= 2200$.
Найти T, N.	Ответ: $T \approx 0{,}023$ с; $N = 2200$.

№ 170.

Дано: $N = 180$; $t = 72$ с.	Решение. $T = \frac{t}{N} = \frac{72\,\text{с}}{180} = 0{,}4$ с; $\nu = \frac{N}{t} = \frac{180}{72\,\text{с}} = 2{,}5$ Гц.
Найти T, ν.	Ответ: $T = 0{,}4$ с; $\nu = 2{,}5$ Гц.

№ 171.

Дано:
$\omega = 628\ c^{-1}$;
$t = 10$ с.
Найти N, ν.

Решение.
$\nu = \dfrac{\omega}{2\pi} \approx \dfrac{628\ c^{-1}}{2\cdot 3{,}14} \approx 100$ Гц; $N = \nu t = \dfrac{\omega t}{2\pi} \approx \dfrac{628\ c^{-1}\cdot 10\ c}{2\cdot 3{,}14} \approx 1000$.

Ответ: $\nu \approx 100$ Гц; $N \approx 1000$.

№ 172.

Дано:
$\omega = 314\ c^{-1}$;
$N = 20$.
Найти T, t.

Решение.
$T = \dfrac{2\pi}{\omega} \approx \dfrac{2\cdot 3{,}14}{314\ c^{-1}} \approx 0{,}02$ с; $t = NT = \dfrac{2\pi N}{\omega} = \dfrac{2\cdot 3{,}14\cdot 20}{314\ c^{-1}} \approx 0{,}4$ с.

Ответ: $T \approx 0{,}02$ с; $t \approx 0{,}4$ с.

№ 173.

Дано:
$a_x = -16x$;
$m = 500$ г = = 0,5 кг.
Найти ω, ν, T, k.

Решение. Уравнение колебаний пружинного маятника $a_x = -\omega^2 x$, значит, $\omega = \sqrt{16\ c^{-2}} = 4\ c^{-1}$.

$\nu = \dfrac{\omega}{2\pi} = \dfrac{4\ c^{-1}}{2\cdot 3{,}14} \approx 0{,}63$ Гц; $T = \dfrac{1}{\nu} = \dfrac{1}{0{,}63\ Гц} \approx 1{,}59$ с;

$\omega = \sqrt{k/m}$; $k = \omega^2 m = (4\ c^{-1})^2 \cdot 0{,}5$ кг = 8 Н/м.

Ответ: $\omega = 4\ c^{-1}$; $\nu \approx 0{,}63$ Гц; $T \approx 1{,}59$ с; $k = 8$ Н/м

№ 174.

Дано:
$a_x = -4x$.
Найти ω, ν, T, l.

Решение. Уравнение колебаний математического маятника $a_x = -\omega^2 x$, значит, $\omega = \sqrt{4\ c^{-2}} = 2\ c^{-1}$.

$\nu = \dfrac{\omega}{2\pi} = \dfrac{2\ c^{-1}}{2\cdot 3{,}14} \approx 0{,}31$ Гц; $T = \dfrac{1}{\nu} = \dfrac{1}{0{,}31\ Гц} \approx 3{,}2$ с;

$\omega = \sqrt{g/l}$; $l = g/\omega^2 = (10 м/c^2)/(2c^{-1})^2 = 2{,}5$ м.

Ответ: $\omega = 2\ c^{-1}$; $\nu \approx 0{,}31$ Гц; $T \approx 3{,}2$ с; $l = 2{,}5$ м.

№ 175.

Дано:
$N = 10$;
$l = 1$ м.
Найти ν, T, t.

Решение. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}} = 2\cdot 3{,}14\sqrt{\dfrac{1\ м}{10\ м/c^2}} \approx 2$ с;

$\nu = 1/T = 1/2c = 0{,}5$ Гц; $t = NT = 10 \cdot 2$ с = 20 с.

Ответ: $T \approx 2$ с; $\nu = 0{,}5$ Гц; $t = 20$ с.

№ 176.

Дано:
$m = 100$ г = 0,1 кг;
$k = 40$ Н/м;
$t = 20$ с.
Найти ν, T, N.

Решение. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}} = 2\cdot 3{,}14\sqrt{\dfrac{0{,}1\ кг}{40\ Н/м}} \approx 0{,}3$ с;

$\nu = 1/T = 1/0{,}3c = 3{,}3$ Гц; $N = t/T = 20c/0{,}3c = 67$.

Ответ: $T \approx 0{,}3$ с; $\nu = 3{,}3$ Гц; $N = 67$.

№ 177.

Дано:	Решение.
$m = 100$ г $= 0{,}1$ кг; $k = 60$ Н/м; $v_0 = 2$ м/с.	Решение. $\omega = \sqrt{k/m}$; $v_0 = \omega A$; $A = \dfrac{v_0}{\omega} = v_0\sqrt{\dfrac{m}{k}} = 2\,\text{м/с}\sqrt{\dfrac{0{,}1\,\text{кг}}{60\,\text{Н/м}}} \approx 0{,}08$ м = 8 см.
Найти A.	Ответ: $A = 8$ см.

№ 178.

Дано:	Решение.
$m = 200$ г $= 0{,}2$ кг; $k = 100$ Н/м; $A = 5$ см $= 0{,}05$ м.	$\omega = \sqrt{\dfrac{k}{m}}$; $v_0 = \omega A = A\sqrt{\dfrac{k}{m}} = 0{,}05\,\text{м}\sqrt{\dfrac{100\,\text{Н/м}}{0{,}2\,\text{кг}}} \approx 1$ м/с.
Найти v_0.	Ответ: $v_0 \approx 1$ м/с.

№ 179.

Дано:	Решение. По закону сохранения энергии:
$h = 5$ см $= 0{,}05$ м.	$mgh = mv_0^2/2$. Отсюда: $v_0 = \sqrt{2 \cdot 0{,}05\,\text{м} \cdot 10\,\text{м/с}^2} = 1$ м/с.
Найти v_0.	Ответ: $v_0 = 1$ м/с.

№ 180.

Дано:	Решение. По закону сохранения энергии: $mgh = mv_0^2/2$;
$v_0 = 0{,}12$ м/с.	$h = v_0^2/2g = (0{,}12\,\text{м/с})^2/(2 \cdot 10\,\text{м/с}^2) = 0{,}0007$ м = 0,7 мм.
Найти h.	Ответ: $h = 0{,}7$ мм.

№ 181.

Дано:	Решение.
$\nu = 0{,}7$ Гц; $l = 8$ м.	Решение. Колебания будут максимальными, если автомобиль войдет в резонанс. При этом $\nu T = l$, т.е. $v = l\nu = 8\,\text{м} \cdot 0{,}7\,\text{Гц} = 5{,}6$ м/с.
Найти v.	Ответ: $v = 5{,}6$ м/с.

№ 182.

Дано:	Решение.
$T = 1{,}7$ с; $l = 0{,}7$ м.	Решение. Колебания будут максимальными, если коромысло войдет в резонанс. При этом $vT = l$, т.е. $v = l/T = 0{,}7\text{м}/1{,}7\text{с} \approx 0{,}4$ м/с.
Найти v.	Ответ: $v \approx 0{,}4$ м/с.

№ 183.

Дано:	Решение.
$T = 2$ с; $v = 4$ м/с.	$\lambda = vT = 4\,\text{м/с} \cdot 2\,\text{с} = 8$ м.
Найти λ.	Ответ: $\lambda = 8$ м.

№ 184.

Дано:	Решение.
$\nu = 0{,}5$ Гц; $\lambda = 6$ м.	$v = \lambda\nu = 6\,\text{м} \cdot 0{,}5\,\text{Гц} = 3$ м/с.
Найти v.	Ответ: $v = 3$ м/с.

№ 185.

Дано:	Решение.
t = 10 с;	$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{N\lambda}{\Delta t}$; $l = vt = N\lambda\frac{t}{\Delta t} = 4 \cdot 0{,}1\text{ м}\frac{10\text{ с}}{2\text{ с}} = 2$ м.
λ = 10 см = 0,1 м;	Ответ: l = 2 м.
Δt = 2 с;	
N = 4.	
Найти l.	

№ 186.

Дано:	Решение.
v = 5 м/с;	$\lambda = vT$; $T = \frac{t}{N}$; $\lambda = v\frac{t}{N} = 5\text{ м/с}\frac{10\text{ с}}{4} = 12{,}5$ м.
t = 10 с;	Ответ: λ = 12,5 м.
N = 4.	
Найти λ.	

№ 187.

Дано:	Решение.
v = 340 м/с;	$l = vt$ = 340 м/с · 10 с =3400 м = 3,4 км.
t = 10 с.	Ответ: l = 3,4 км.
Найти l.	

№ 188.

Дано:	Решение.
v = 1400 м/с;	$l = vt/2$ = (1/2)·1400м/с·0,7с = 490 м.
t = 0,7 с.	Ответ: l = 490 м.
Найти l.	

№ 189.

Стакан приходит в резонанс со звуковой волной. Частота этой волны (т.е. спетая нота) должна быть строго определена для того, чтобы она совпала с собственной частотой бокала.

№ 190.

Выражение а) верно, поскольку звук есть упругие волны, возбуждаемые колеблющимся телом; выражение б) неверно, поскольку колеблющееся тело может возбуждать в воздухе ультра- или инфразвук, т.е. излучать неслышимые ухом колебания.

№ 191.

Звук получается более громким, если стучать в дверь, а не в стену, из-за того, что затухание меньше в двери, чем в стене.

№ 192.

Если у астронавтов на Луне испортилась связь, то они могут попробовать общаться, приложив скафандр к каким-либо предметам. При этом в этих предметах возникнут упругие волны, которые, если они перейдут в звуковые колебания, можно услышать.

№ 193.

Дано: $v^2 = (1-10^{-20})c^2$; Δt = 100000 лет.	Решение. $\Delta\tau = \Delta t\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}} = 100000\text{ лет}\sqrt{1-\dfrac{(1-10^{-20})c^2}{c^2}} = 10^{-5}$лет.
Найти Δr.	Ответ: $\Delta\tau = 10^{-5}$ лет.

№ 194.

Дано: $\Delta t = 2\Delta\tau$.	Решение. $\Delta\tau = \Delta t\sqrt{1-(v^2/c^2)}$; $\Delta\tau = 2\Delta\tau\sqrt{1-(v^2/c^2)}$; $\dfrac{1}{2} = \sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}$; $\dfrac{1}{4} = 1-\dfrac{v^2}{c^2}$; $v = \dfrac{\sqrt{3}}{2}c$.
Найти v.	Ответ: $v = \dfrac{\sqrt{3}}{2}c$.

№ 195.

Дано: $\dfrac{l_0 - l}{l_0} = 0{,}25$	Решение. $l = l_0\sqrt{1-(v^2/c^2)}$; $\dfrac{l_0 - l_0\sqrt{1-(v^2/c^2)}}{l_0} = 0{,}25$; $1-\sqrt{1-(v^2/c^2)} = 0{,}25$; $\sqrt{1-(v^2/c^2)} = 0{,}75$; $v \approx 0{,}66c$.
Найти v.	Ответ: $v \approx 0{,}66c$.

№ 196.

Дано: l_0= 1 м; v = 0,6 с.	Решение. $l = l_0\sqrt{1-(v/c)^2} = 1\text{ м}\cdot\sqrt{1-0{,}6^2} = 0{,}8$ м.
Найти l.	Ответ: l = 0,8 м.

№ 197.

Дано: t = 1 год ≈ ≈ $3{,}2\cdot10^7$ с; $\dfrac{F}{m} = 10\text{ м/с}^2$.	Решение. $v = \dfrac{c}{\sqrt{1+\left(\dfrac{mc}{Ft}\right)^2}} = \dfrac{c}{\sqrt{1+\left(\dfrac{3\cdot10^8\text{ м/с}}{10\text{ м/с}^2\cdot3{,}2\cdot10^7\text{ с}}\right)^2}} \approx \dfrac{c}{\sqrt{2}}$.
Найти v.	Ответ: $v \approx c/\sqrt{2}$.

№ 198.

Дано: $v = 0{,}6c$; $F/m = 10\text{ м/с}^2$.	Решение.
Найти t.	$v = c\left(1+\left(\dfrac{mc}{Ft}\right)^2\right)^{-\frac{1}{2}}$; $1+\left(\dfrac{mc}{Ft}\right)^2 = \left(\dfrac{c}{v}\right)^2$;

$$t = \frac{mc}{F}\left((c/v)^2 - 1\right)^{-\frac{1}{2}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2} \cdot \left((1/0,6)^2 - 1\right)^{-\frac{1}{2}} \approx 2,25 \cdot 10^7 \text{ с.}$$

Ответ: $t \approx 2,25 \cdot 10^7$ с.

№ 199.

Дано:	Решение.
$S = 12$ св. лет $\approx$ $\approx 1,12 \cdot 10^{17}$ м; $F/m = 10$ м/с^2.	$\frac{S}{2} = \frac{mc^2}{F}\left(\sqrt{1 + \left(\frac{Ft_1}{mc}\right)^2} - 1\right)$; $\left(\frac{SF}{2mc^2} + 1\right)^2 = 1 + \left(\frac{Ft_1}{mc}\right)^2$;
Найти t.	

$$t_1 = \frac{mc}{F}\sqrt{\left(\frac{SF}{2mc^2} + 1\right)^2 - 1}\text{; } t = 2t_1 = \frac{2mc}{F}\sqrt{\left(\frac{SF}{2mc^2} + 1\right)^2 - 1} =$$

$$= \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{9,6 \cdot 10^{15} \text{ м} \cdot 10 \text{ м/с}^2}{2 \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2} + 1\right) - 1} \approx 4,3 \cdot 10^8 \text{ с.}$$

Ответ: $t \approx 3,7 \cdot 10^7$ с.

№ 200.

Дано:	Решение.
$t = 1$ год $\approx 3,2 \cdot 10^7$ с; $S = 40,6 \cdot 10^{12}$ км $=$ $= 4,06 \cdot 10^{16}$ м; $F/m = 10$ м/с^2.	$l = = k\frac{\lvert q_0 \rvert}{R} = \frac{\varphi_1(l + R)}{R} = \frac{20 \text{ В} \cdot (10 \text{ м} + 0,1 \text{ м})}{0,1 \text{ м}} =$ $= \frac{(3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2}{10 \text{ м/с}^2} \cdot \left(\sqrt{1 + \left(\frac{10 \text{ м/с}^2 \cdot 3,2 \cdot 10^7 \text{ с}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}\right)^2} - 1\right) \approx$
Найти l.	

$\approx 4,12 \cdot 10^{15}$ м $\approx 0,44$ св. года.

Т.к. $l < S$, то космический корабль при этом не достигнет звезды Проксима Центавра.

Ответ: $l \approx 0,44$ св. года.

№ 201.

Дано:	Решение.
$m = 0,2$ кг; $E_0 = 10^{10}$ кВт · ч $=$ $= 3,6 \cdot 10^{16}$ Дж.	$E = mc^2 = 0,2$ кг $\cdot (3 \cdot 10^8$ м/с$)^2 \approx 2 \cdot 10^{15}$ Дж. Ответ: $E \approx 2 \cdot 10^{15} < E_0$.
Найти E.	

№ 202.

Дано:	Решение.
$E = 8,1 \cdot 10^{-16}$ Дж.	$m = E/c^2 = (8,1 \cdot 10^{-16}\text{Дж})/(3 \cdot 10^8\text{м/с}^2)^2 = 9 \cdot 10^{-31}$ кг.
Найти m.	Ответ: $m = 9 \cdot 10^{-31}$ кг.

№ 203.

Дано:
$\Delta t = 100°$ C;
$c' = 4{,}6\cdot10^2$ Дж/кг·°С.

Найти $\Delta m/m$.

Решение.
$\Delta m = \dfrac{E}{c^2}$; $\Delta E = mc'\Delta t$; $\Delta m = \dfrac{m}{c^2}c'\Delta t$;

$\Delta m/m = c'\Delta t/c^2 = (4{,}6\cdot10^2$Дж/кг·°С·100°С$)/(3\cdot10^8$м/с$)^2$=$5{,}1\cdot10^{-13}$=$5{,}1\cdot10^{-11}$%.

Ответ: $\Delta m/m = 5{,}1\cdot10^{-11}$ %.

№ 204.

Дано:
$\Delta E/\Delta t = 3{,}75\cdot10^{26}$ Дж/с.

Найти $\Delta m/\Delta t$.

Решение.
$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t c^2} = \frac{3{,}75\cdot10^{26}\ \text{Дж/с}}{(3\cdot10^8\ \text{м/с})^2} \approx 4{,}2\cdot10^9\ \text{кг/с}.$$

Ответ: $\Delta m/\Delta t \approx 4{,}2\cdot10^9$ кг/с.

№ 205.

Дано:
$m = 1{,}7\cdot10^{-27}$ кг;
v =24/25 с.

Найти E_k, E'_k.

Решение. По релятивистской формуле:
$$E_k = \frac{mc^2}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} - mc^2 = mc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-(v^2\ /\ c^2)}}-1\right) =$$
$$= 1{,}7\cdot10^{-27}\ \text{кг}\cdot(3\cdot10^8\ \text{м/с})^2\cdot\left(\frac{1}{\sqrt{1-(24c/25)^2/c^2}}-1\right) \approx\ 3{,}9\cdot10^{-10}\ \text{Дж}.$$

По классической формуле: $E'_k = \dfrac{mv^2}{2} = \dfrac{1{,}7\cdot10^{-27}\ \text{кг}}{2}\left(\dfrac{24}{25}\cdot3\cdot10^8\ \text{м/с}\right)^2 \approx$

$\approx 7\cdot10^{-11}$ Дж. Таким образом, $E_k > E'_k$.

Ответ: $E_k \approx 3{,}9\cdot10^{-27}$ Дж; $E'_k \approx 7\cdot10^{-11}$ Дж.

№ 206.

Дано:
m=$1{,}7\cdot10^{-27}$ кг;
v = 24/25 с.

Найти E, ΔE.

Решение.
$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} = \frac{1{,}7\cdot10^{-27}\ \text{кг}\cdot(3\cdot10^8\ \text{м/с})^2}{\sqrt{1-(1/c^2)(24c/25)^2}} \approx 5{,}5\cdot10^{-10}\text{Дж}.$$

$\Delta E = E - E_k = 5{,}5\cdot10^{-10}$ Дж – $3{,}9\cdot10^{-10}$ Дж = $1{,}9\cdot10^{-10}$ Дж (значение E_k взято из № 205).

Ответ: $E \approx 5{,}5\cdot10^{-10}$ Дж, $\Delta E = 1{,}9\cdot10^{-10}$ Дж.

№ 207.

Дано:
E, $v = c$.

Найти p.

Решение.
$E = pc^2/v = pc^2/c = pc$; $p = E/c$.

Ответ: $p = E/c$.

№ 208.

Дано: $v = c$.

Найти m.

Решение. Воспользуемся выведенной в задаче № 207 формулой: $p = E/c$ или $E = pc$.

$E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2$; $(pc)^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2$.

Отсюда заключаем, что $(mc^2)^2 = 0$ т.е. $m = 0$.

Ответ: $m = 0$.

№ 209.

Дано: E, p.

Найти m.

Решение. $E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2$; $m = \sqrt{E^2 - p^2c^2}/c^2$.

Ответ: $m = \sqrt{E^2 - p^2c^2}/c^2$

№ 210.

Дано: $E_k = E_0$

Найти v.

Решение.

$$E_k = mc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} - 1\right);\ E_0 = mc^2;\ \frac{E_k}{E_0} = \frac{1}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} - 1.$$

Поскольку $\frac{E_k}{E_0} = 1$, то $\frac{1}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} - 1 = 1$, $v = \frac{\sqrt{3}}{2}c$.

Ответ: $v = \sqrt{3}c/2$.

№ 211.

Дано: m, v.

Найти M.

Решение. $M = m + m + \frac{E_k}{c^2} + \frac{E_k}{c^2} = 2\left(m + \frac{E_k}{c^2}\right)$;

$$E_k = mc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} - 1\right);\ M = 2\left(m + \frac{m}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} - m\right) = \frac{2m}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}.$$

Ответ: $M = 2m/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$.

№ 212.

Дано: m_1, m_2, $W < 0$.

Найти M.

Решение.

$M = m_1 + m_2 + W/c^2$. Т.к. $W < 0$, то $M < m_1 + m_2$.

Ответ: $M = m_1 + m_2 + W/c^2$.

№ 213.

Дано: $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл; $Z = 3$.

Найти q.

Решение.

$q = Ze = 3 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл $= 4{,}8 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Ответ: $q = 4{,}8 \cdot 10^{-19}$ Кл.

№ 214.

Заряд образовавшегося иона равен элементарному и является положительным: $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

№ 215.

Дано:	Решение. После соприкосновения на каждом шарике будет одинаковый заряд q. По закону сохранения заряда: $2q = q_1 + q_2$; $q = \dfrac{q_1 + q_2}{2} = \dfrac{4\ \text{нКл} + (-10\ \text{нКл})}{2} = -3$ нКл.
$q_1 = 4$ нКл; $q_2 = -10$ нКл.	
Найти q.	Ответ: $q = -3$ нКл.

№ 216.

Дано:	Решение. После соприкосновения на каждом шарике будет одинаковый заряд q. По закону сохранения заряда: $3q = q_1 + q_2 + q_3$;
$q_1 = 6$ нКл; $q_2 = -4$ нКл; $q_3 = 7$ нКл.	$q = \dfrac{q_1 + q_2 + q_3}{3} = \dfrac{6\ \text{нКл} + (-4\ \text{нКл}) + 7\ \text{нКл}}{3} = 3$ нКл.
Найти q.	Ответ: $q = 3$ нКл.

№ 217.

Дано:	Решение.
$\vec{E} = 0$; $\vec{B} \neq 0$; $\vec{v}$.	$\vec{E}' = \vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} = \vec{v} \times \vec{B}$; $\vec{B}' = \vec{B} - (\vec{v}/c^2) \times \vec{E} = \vec{B}$.
Найти $\vec{E}'$, $\vec{B}'$.	Ответ: $\vec{E}' = \vec{v} \times \vec{B}$; $\vec{B}' = \vec{B}$.

№ 218.

Дано:	Решение.
$\vec{E} \neq 0$; $\vec{B} = 0$; $\vec{v}$.	$\vec{E}' = \vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} = \vec{E}$; $\vec{B}' = \vec{B} - \dfrac{1}{c^2}\vec{v} \times \vec{E} = -\dfrac{1}{c^2}\vec{v} \times \vec{E}$.
Найти $\vec{E}'$, $\vec{B}'$.	Ответ: $\vec{E}' = \vec{E}$; $\vec{B}' = -\dfrac{1}{c^2}\vec{v} \times \vec{E}$.

№ 219.

Электрическая сила $\vec{F}$, действующая на электрон, противоположна вектору $\vec{E}$, (см. рис. 69). Электрическая сила $\vec{F}$, действующая на протон, сонаправлена с вектором $\vec{E}$ (см. рис. 70).

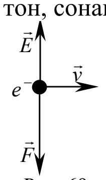


Рис. 69.

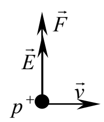


Рис. 70.

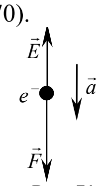


Рис. 71.

№ 220.

Электрическая сила $\vec{F}$, действующая на электрон, противоположна электрической напряженности $\vec{E}$, ускорение электрона $\vec{a}$ сонаправлено $\vec{F}$ (см. рис. 71). О направлении скорости ничего сказать нельзя.

№ 221.

Дано:
$q/m = 9{,}6 \cdot 10^7$ Кл/кг.
Найти E.

Решение. $qE = mg$; $E = mg/q = (q/m)^{-1}g =$
$= (9{,}6 \cdot 10^7\ \text{Кл/кг})^{-1} \cdot 10\ \text{м/с}^2 \approx 10^{-7}$ Н/Кл.
Ответ: $E \approx 10^{-7}$ Н/Кл.

№ 222.

Дано:
$E = 2$ кН/Кл $= 2 \cdot 10^3$ Н/Кл.
$e/m = 1{,}76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.
Найти E.

Решение. $ma = eE$;
$a = (e/m)E = 1{,}76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг $\cdot\ 2 \cdot 10^3$ Н/Кл $=$
$= 3{,}52 \cdot 10^{14}$ м/с $>> g \approx 10$ м/с^2.
Ответ: $a = 3{,}52 \cdot 10^{14}$ м/с.

№ 223.

Дано:
$v_0 = 10^6$ м/с;
$v = 8v_0$;
$E = 2 \cdot 10^3$ Н/Кл.
Найти t.

Решение.
$ma = eE$; $a = (e/m)E$; $v = v_0 + at$; $t = (1/a)(v - v_0) =$
$= (m/eE)(v - v_0) = (m/eE)(8v_0 - v_0) = 7mv_0/eE =$
$= (7 \cdot 10^6\text{м/с})/(1{,}76 \cdot 10^{11}\text{Кл/кг} \cdot 2 \cdot 10^3\text{Н/Кл}) = 2 \cdot 10^{-8}$ с.
Ответ: $t = 2 \cdot 10^{-8}$ с.

№ 224.

Дано:
$t = 10$нс $= 10^{-8}$ с.
$E = 2 \cdot 10^3$ Н/Кл.
Найти S.

Решение. $ma = eE$; $a = (e/m)E$; $S = at^2/2 = (eE/2m)t^2 =$
$= (1{,}76 \cdot 10^{11}\text{Кл/кг} \cdot 2 \cdot 10^3\text{Н/Кл} \cdot (10^{-8}\text{с})^2)/2 = 1{,}76 \cdot 10^{-2}$ м $=$
$= 1{,}76$ см.
Ответ: $S = 1{,}76$ см.

№ 225.

Дано:
v_0, E.
Найти S.

Решение. $ma = eE$; $a = (e/m)E$;
$2aS = v_0^2$; $S = v_0^2/2a = mv_0^2/2eE$.
Ответ: $S = mv_0^2/2eE$.

№ 226.

Дано:
E, q/m, d.
Найти v.

Решение. $ma = qE$; $a = qE/m$; $2ad = v^2$; $v = \sqrt{2ad} = \sqrt{2qEd/m}$.
Ответ: $v = \sqrt{2qEd/m}$.

№ 227.

Дано: $E = 200$ Н/Кл;
$v_0 = 10^7$ м/с;
$e/m = 1{,}76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.
Найти Δt.

Решение. На электрон в поле действует сила, тормозящая его до полной остановки ($v = 0$).

$$v = v_0 - \frac{e}{m}Et_1 \Rightarrow t_1 = \frac{v_0 m}{eE}.$$

После остановки электрон меняет направление движения, и поскольку действующая на него со стороны поля сила остается прежней, вылетает из поля в течение времени $t_2 = t_1$.

$$\Delta t = 2t_1 = \frac{2v_0 m}{eE} = \frac{2 \cdot 10^7\ \text{м/с}}{200\ \text{Н/Кл} \cdot 1{,}76 \cdot 10^{11}\ \text{Кл/кг}} \approx 5{,}7 \cdot 10^{-7}\ \text{с} = 0{,}57\ \text{мкс}.$$

Ответ: $\Delta t = 0{,}57$ мкс.

№ 228.

Дано:	Решение.
$q > 0$; l; t; $\vec{v}_0 \uparrow\uparrow \vec{E}$.	Согласно второму закону Ньютона $ma = qE \Rightarrow a = qE/m$.
Найти E.	Т.к. $q > 0$ и $\vec{v}_0 \uparrow\uparrow \vec{E}$, то находим: $x = x_0 + v_0 t + \dfrac{qEt^2}{2m}$

Т.к. ось x сонаправлена с $\vec{v}_0$, $x_0 = 0$, $x = l$, то $E = \dfrac{2m}{qt}\cdot\left(\dfrac{l}{t} - v_0\right)$.

Ответ: $E = \dfrac{2m}{qt}\cdot\left(\dfrac{l}{t} - v_0\right)$.

№ 229.

Задача решена в учебнике.

№ 230.

Дано:	Решение. Электрон не вылетит из конденсатора (см. рис.
v_0, l; d; e; m.	72) в том случае, если $d/2 \le y$ (электрон упадет на одну из
Найти E_{min}.	

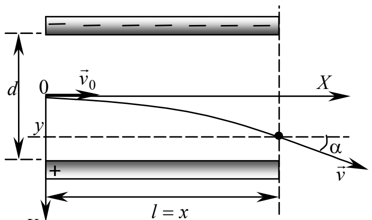


Рис. 72.

пластин), где $y = \dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{e}{m}E\left(\dfrac{l}{v_0}\right)^2$ (см. задачу № 229). Следовательно, $\dfrac{d}{2} \le \dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{e}{m}E\left(\dfrac{l}{v_0}\right)^2 \Rightarrow E_{min} = \dfrac{dm}{e}\left(\dfrac{v_0}{l}\right)^2$.

Ответ: $E_{min} = \dfrac{dm}{e}\left(\dfrac{v_0}{l}\right)^2$.

№ 231.

Дано:	Решение.
$E = 2 \cdot 10^5$ Н/Кл; $r = 1{,}38 \cdot 10^{-3}$ см $= 1{,}38 \cdot 10^{-5}$ м; $\rho = 0{,}9$ г/см^3 $= 900$ кг/м^3; $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.	На капельку действуют две уравновешивающие друг друга силы: сила тяжести $F_т = mg$ и сила, действующая со стороны поля $F_{эл} = qE$ (см. рис. 73), где q — заряд капельки.
Найти N_e.	

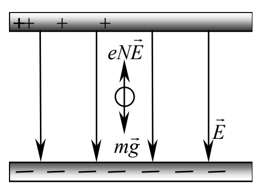


Рис. 73.

$mg = qE$; $m = \rho V = \dfrac{4}{3}\pi\rho r^3 \Rightarrow q = \dfrac{4\pi\rho r^3 g}{3E} \Rightarrow$

$$N_e = \frac{q}{e} = \frac{4\pi\rho r^3 g}{3eE} = \frac{4\pi\cdot 900\ \text{кг/м}^3 \cdot \left(1{,}38\cdot 10^{-5}\ \text{м}\right)^3 \cdot 10\ \text{м/с}^2}{3\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\ \text{Кл}\cdot 2\cdot 10^5\ \text{Н/Кл}} \approx 3100.$$

Ответ: $N_e \approx 3100$.

№ 232.

Дано:
$N_e = 2000$;
$m = 16$ нг $= 1{,}6\cdot10^{-11}$ кг;
$e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл.

Найти E.

Решение.
На капельку действуют две уравновешивающие друг друга силы: сила тяжести $F_т = mg$ и сила, действующая со стороны поля $F_{эл} = qE$, где q — заряд капельки.

$$mg = qE = EN_e e \Rightarrow E = \frac{mg}{N_e e} = \frac{1{,}6\cdot10^{-11}\,\text{кг}\cdot10\,\text{м/с}^2}{2000\cdot1{,}6\cdot10^{-19}\,\text{Кл}} = 500000\,\text{Н/Кл} = 500\,\text{кН/Кл}.$$

Ответ: $E = 500$ кН/Кл.

№ 233.

Дано:
$E = 1$ мН/Кл $=$
$= 10^{-3}$ Н/Кл;
$\varphi = 30°$;
$q = 10$нКл$=10^{-8}$Кл;
$m = 2\cdot10^{-3}$ кг.

Найти T.

Решение. По теореме косинусов (см. рис. 74): $T^2 = (mg)^2 + (qE)^2 - 2mgqE\cos\varphi$, здесь mg — сила тяжести, qE — сила, действующая на шарик со стороны поля.

$$T = \sqrt{(mg)^2 + (qE)^2 - 2mgqE\cos\varphi} \approx 0{,}02\,\text{Н}.$$

Ответ: $T \approx 0{,}02$ Н.

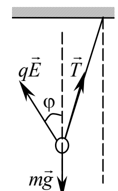


Рис. 74.

№ 234.

Дано:
$q = 7$ мкКл $=$
$= 7\cdot10^{-6}$ Кл;
$m = 25$ мг $=$
$= 25\cdot10^{-6}$ кг;
$E = 35$ Н/Кл.

Найти α.

Решение.
Из геометрических соображений (см. рис. 75):

$$\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{qE}{mg} = \frac{7\cdot10^{-6}\,\text{Кл}\cdot35\,\text{Н/Кл}}{25\cdot10^{-6}\,\text{кг}\cdot10\,\text{м/с}^2} \approx 1 \Rightarrow \alpha \approx 45°.$$

Ответ: $\alpha \approx 45°$.

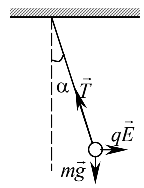


Рис. 75.

№ 235.

Дано: $v = 10^7$ м/с;
$B = 0{,}2$ Тл;
$|q| = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл;
$\sin\alpha = 1$.

Найти $F_Л$.

Решение.
Для силы Лоренца:
$F_Л = |q|vB\sin\alpha = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл $\cdot\ 10^7$ м/с $\cdot\ 0{,}2$ Тл $=$
$= 3{,}2\cdot10^{-13}$ Н.

Ответ: $F_Л = 3{,}2\cdot10^{-13}$ Н.

№ 236.

Дано:
$v = 3\cdot10^6$ м/с;
$F_Л = 4{,}8\cdot10^{-14}$ Н;
$\alpha = 90°$;
$|q| = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл.

Найти B.

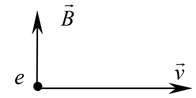
Решение.
Для силы Лоренца: $F_Л = |q|vB\sin\alpha \Rightarrow$

$$B = \frac{F_Л}{|q|\,v\sin\alpha} = \frac{4{,}8\cdot10^{-14}\,\text{Н}}{1{,}6\cdot10^{-19}\,\text{Кл}\cdot3\cdot10^6\,\text{м/с}\cdot\sin90°} = 0{,}1\,\text{Тл}.$$

Ответ: $B = 0{,}1$ Тл.

№ 237.

См. рис. 76.



Сила направлена от нас.
Рис. 76.

№ 238.

См. рис. 77.

Скорость направлена к нам.
Рис. 77.

№ 239.

См. рис. 78.

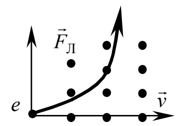


Рис. 78 а.

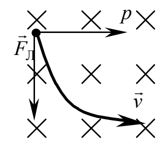


Рис. 78 б.

№ 240.

См. рис. 79.

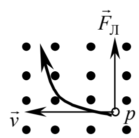


Рис. 79 а.

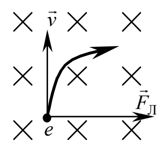


Рис. 79 б.

№ 241.

Дано: q/m; B; R.	Решение. $R = mv/qB \Rightarrow v = (q/m)BR$.
Найти v.	Ответ: $v = (q/m)BR$.

№ 242.

Дано: $v_e = v_p$; $\vec{B}$; $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг; $m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг.	Решение. $R = \dfrac{mv}{\lvert q\rvert B}$. Поскольку $v_e = v_p$, $\lvert q_e\rvert = \lvert q_p\rvert$, то $\dfrac{R_p}{R_e} = \dfrac{m_p}{m_e} = \dfrac{1{,}67 \cdot 10^{-27}\text{ кг}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}\text{ кг}} \approx 1{,}8 \cdot 10^3$.
Найти R_p/R_l.	Ответ: $R_p/R_l \approx 1{,}8 \cdot 10^3$.

№ 243.

Дано: $W = 5$ МэВ = $= 8 \cdot 10^{-13}$ Дж; $B = 1$ Тл.	Решение. $R = \dfrac{mv}{\lvert q\rvert B}$; $W = \dfrac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\dfrac{2W}{m}}$. Таким образом: $R = \dfrac{\sqrt{2mW}}{\lvert q\rvert B} = \dfrac{\sqrt{2 \cdot 1{,}7 \cdot 10^{-27}\text{ кг} \cdot 8 \cdot 10^{-13}\text{ Дж}}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{ кг} \cdot 1\text{ Тл}} \approx 41$ м.
Найти R.	Ответ: $R \approx 41$ м.

№ 244.

Дано:
R = 1см = 10^{-2}м;
B = 20 мТл =
= 2 · 10^{-2} Тл;
q = 1,6· 10^{-19} Кл;
m = 9,1·10^{-31} кг.

Найти W.

Решение. $R = \dfrac{\sqrt{2mW}}{|q|B}$ (см. задачу № 243). Отсюда

$$W = \frac{R^2q^2B^2}{2m} = \frac{\left(10^{-2}\,\text{м}\right)^2 \cdot \left(1{,}6\cdot 10^{-19}\,\text{Кл}\right)^2 \cdot \left(2\cdot 10^{-2}\,\text{Тл}\right)^2}{2\cdot 9{,}1\cdot 10^{-31}\,\text{кг}} \approx$$

≈ 5,6 · 10^{-16} Дж.

Ответ: W ≈ 5,6 · 10^{-16} Дж.

№ 245.

Дано:
B; t; m_p; q_p.

Найти N.

Решение.
$T = 2\pi m_p/q_pB$; $N = t/T = (q_pB/2\pi m_p)t$.

Ответ: $N = (q_pB/2\pi m_p)t$.

№ 246.

Дано:
B = 4 мТл =
= 4 · 10^{-3} Тл;
q_e = 1,6 · 10^{-19} Кл;
m_e = 9,1 · 10^{-31} кг.

Найти N.

Решение.

$$T = \frac{2\pi m_e}{q_eB} = \frac{2\pi\cdot 9{,}1\cdot 10^{-31}\,\text{кг}}{1{,}6\cdot 10^{-19}\,\text{Кл}\cdot 4\cdot 10^{-3}\,\text{Тл}} \approx 8{,}9\cdot 10^{-9}\ \text{с} =$$

= 8,9 нс.

Ответ: T ≈ 8,9 нс.

№ 247.

Дано:
B; l; v.

Найти α.

Решение.
1) $R = mv/eB$.
2) Из геометрических соображений (см. рис. 80): α = π/2–β.

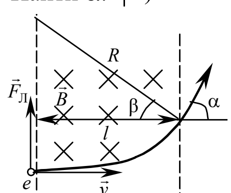


Рис. 80.

3) $$\cos\beta = \frac{l}{R} = \frac{eBl}{mv} \Rightarrow \alpha = \beta = \begin{cases} \arcsin\dfrac{eBl}{mv}, \text{если } \dfrac{eBl}{mv} < 1; \\ \dfrac{\pi}{2}, \text{если } \dfrac{eBl}{mv} > 1. \end{cases}$$

Ответ: $$\alpha = \begin{cases} \arcsin\dfrac{eBl}{mv}, \text{если } \dfrac{eBl}{mv} < 1; \\ \dfrac{\pi}{2}, \text{если } \dfrac{eBl}{mv} > 1. \end{cases}.$$

№ 248.

Дано:
B = 0,1 Тл;
R = 0,5 см =
= 5 · 10^{-3} м;
e = 1,6 · 10^{-19} Кл;
m = 9,1 · 10^{-31} кг.

Найти $F_Л$.

Решение.

Сила Лоренца: $F_Л = evB$; $v = \dfrac{eBR}{m} \Rightarrow F_Л = \dfrac{e^2B^2R}{m} =$

$$= \frac{\left(1{,}6\cdot 10^{-19}\,\text{Кл}\right)^2 \cdot \left(0{,}1\,\text{Тл}\right)^2 \cdot 5\cdot 10^{-3}\,\text{м}}{9{,}1\cdot 10^{-31}\,\text{кг}} \approx 1{,}4\cdot 10^{-12}\ \text{Н}.$$

Ответ: $F_Л$ ≈ 1,4 · 10^{-12} Н.

№ 249.

Дано: B; $0 < \alpha < 90°$.

Найти T.

Решение. По второму закону Ньютона

$$\frac{mv^2}{R} = evB\sin\alpha \Rightarrow v = \frac{eRB}{m}\sin\alpha. \quad T = \frac{2\pi R\sin\alpha}{v} = \frac{2\pi m}{eB}.$$

Ответ: $T = \frac{2\pi m}{eB}$.

№ 250.

Дано: v; α; B.

Найти R, h.

Решение. $h = v_{\parallel}T$; $v_{\parallel} = v\cos\alpha$; $T = \frac{2\pi m}{eB} \Rightarrow h = \frac{2\pi mv}{eB}\cos\alpha$;

$R = \frac{mv_{\perp}}{eB}$; $v_{\perp} = v\sin\alpha \Rightarrow R = \frac{mv}{eB}\sin\alpha$.

Ответ: $h = \frac{2\pi mv}{eB}\cos\alpha$; $R = \frac{mv}{eB}\sin\alpha$.

№ 251.

Дано: v; α; E, B.

Найти N.

Решение.

Уравнение движения в проекции на ось x имет вид

$$eE = ma\cos\alpha;\ a = \frac{v}{t};\ eE = m\frac{v}{t}\cos\alpha \Rightarrow t = \frac{mv\cos\alpha}{eE}.\ T = \frac{2\pi m}{eB};$$

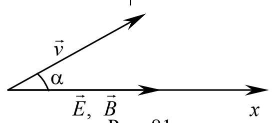


Рис. 81.

$$n = \frac{t}{T} = \frac{mv\cos\alpha}{eE}\cdot\frac{eB}{2\pi m} = \frac{Bv\cos\alpha}{2\pi E}.$$

Ответ: $n = \frac{Bv\cos\alpha}{2\pi E}$.

№ 252.

Дано: v; E

Найти B.

Решение. $eE = evB \Rightarrow B = E/v$.

Ответ: $B = E/v$.

№ 253.

Дано: $m_e = 9{,}1\cdot10^{-31}$ кг;

$m_p = 1{,}7\cdot10^{-27}$ кг;

$|q_e| = |q_p| = q = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл.

$G = 6{,}67\cdot10^{-11}$ Н·м^2/кг^2;

$k = 9\cdot10^9$. Н·м^2/Кл^2

Найти $F_{кл}/F_{гр}$.

Решение.

Закон Кулона: $F_{кл} = k\frac{q^2}{r^2}$; закон гравитации: $F_{гр} = G\frac{m_e m_p}{r^2}$. Отсюда:

$$\frac{F_{кл}}{F_{гр}} = \frac{kq^2}{Gm_e m_p} = \frac{9\cdot10^9\,\frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}\cdot\left(1{,}6\cdot10^{-19}\,\text{Кл}\right)^2}{6{,}67\cdot10^{-11}\,\frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{кг}^2}\cdot9{,}1\cdot10^{-31}\,\text{кг}\cdot1{,}7\cdot10^{-27}\,\text{кг}} \approx 2\cdot10^{39}.$$

Ответ: $F_{кл}/F_{гр} \approx 2\cdot10^{39}$.

№ 254.

Дано: $r = 10$ см $= 0{,}1$ м;
$F = 0{,}23$ мН $= 2{,}3 \cdot 10^{-4}$ Н;
$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл;
$k = 9 \cdot 10^{9}\ \text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$.
Найти N_e.

Решение.

Закон Кулона: $F_{\text{кл}} = k\dfrac{q^2}{r^2} \Rightarrow q = r\sqrt{\dfrac{F_{\text{кл}}}{k}}$, где q — заряд шарика.

Отсюда: $$N_e = \frac{q}{e} = \frac{r}{e}\sqrt{\frac{F_{\text{кл}}}{k}} = \frac{0{,}1\,\text{м}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{Кл}}\sqrt{\frac{2{,}3 \cdot 10^{-4}\,\text{Н}}{9 \cdot 10^{9}\,\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}}} \approx 10^{11}$$

Ответ: $N_e \approx 10^{11}$.

№ 255.

Дано:
$q_1 = q$; $q_2 = 5q$;
$q_1' = q_2' = 3q$.
Найти F/F'.

Решение.

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2} = k\frac{5q^2}{r^2};\ F' = k\frac{q_1' q_2'}{r^2} = k\frac{9q^2}{r^2} \Rightarrow \frac{F}{F'} = \frac{5}{9}.$$

Ответ: $F/F' = 5/9$.

№ 256.

Дано:
$r = 40$ см $= 0{,}4$ м;
$q_1 = 9$ нКл $=$
$= 9 \cdot 10^{-9}$ Кл;
$q_2 = -1$ нКл $=$
$= -10^{-9}$ Кл.
Найти F_{12}, F_3.

Решение.

$$F_{12} = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} = 9 \cdot 10^{9}\,\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{9 \cdot 10^{-9}\,\text{Кл} \cdot 10^{-9}\,\text{Кл}}{(0{,}4\,\text{м})^2} \approx$$

$\approx 0{,}5 \cdot 10^{-6}$ Н $= 0{,}5$ мкН.

$$q_3 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{9 \cdot 10^{-9}\,\text{Кл} - 10^{-9}\,\text{Кл}}{2} = 4 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл}.$$

$$F_3 = k\frac{|q_3|^2}{r^2} = 9 \cdot 10^{9}\,\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{(4 \cdot 10^{-9}\,\text{Кл})^2}{(0{,}4\,\text{м})^2} \approx 0{,}9 \cdot 10^{-6}\ \text{Н} = 0{,}9\ \text{мкН}.$$

Ответ: $F_{12} \approx 0{,}5$ мкН, $F_3 \approx 0{,}9$ мкН.

№ 257.

Дано:
$q_1 = -9$ нКл;
$q_2 = -36$ нКл;
$l = 3$ м.
Найти q_3, l_1.

Решение. $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{13}; \vec{F}_{21} = -\vec{F}_{23}$ (см. рис. 82).

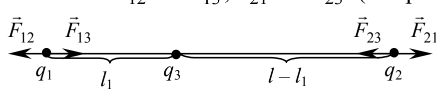


Рис. 82.

Отсюда $F_{12} = F_{13}$, $F_{21} = F_{23}$. Используя закон Кулона, составим систему:

$$\begin{cases} \dfrac{|q_2|}{l^2} = \dfrac{|q_3|}{l_1^2}; \\ \dfrac{|q_1|}{l^2} = \dfrac{|q_3|}{(l - l_1)^2}, \end{cases}$$ откуда имеем: $$(|q_1| - |q_2|)l_1^2 - 2|q_1|ll_1 + |q_1|l^2 = 0.$$

Решая это уравнение, получим: $l_1 = \frac{\left(|q_1| \pm \sqrt{|q_1 q_2|}\right)}{\left(|q_1| - |q_2|\right)} l$. Отсюда l_1 = 1 м или $l_1 \approx -0{,}33$ м. Второе значение не подходит, т.к. в этом случае система зарядов не уравновешена. Значит, l_1 = 1 м.

$$q_3 = |q_3| = |q_2| \frac{l_1^2}{l^2} = 36\,\text{нКл} \cdot \frac{(1\,\text{м})^2}{(3\,\text{м})^2} = 4\,\text{нКл}.$$

Ответ: l_1 = 1 м, q_3 = 4 нКл.

№ 258.

Дано:
$q_1 = 10$ нКл $= 10^{-8}$ Кл;
$q_2 = 20$ нКл $= 2 \cdot 10^{-8}$ Кл;
$r = 1$ м;
$q_3 = -3$ нКл $= -3 \cdot 10^{-9}$ Кл;
$k = 9 \cdot 10^9\ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

Найти $F_{\text{кл}}$.

Решение. $F_{\text{кл}} = F_{23} - F_{12}$. По закону Кулона:

$$F_{23} = k\frac{q_2 q_3}{(r/2)^2};\ F_{12} = k\frac{q_1 q_3}{(r/2)^2} \Rightarrow F_{\text{кл}} =$$

$$= \frac{4kq_3}{r^2}(q_2 - q_1) = \frac{4 \cdot 9 \cdot 10^9\,\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot 3 \cdot 10^{-9}\,\text{Кл}}{(1\,\text{м})^2} \times$$

$\times(2 \cdot 10^{-8}$ Кл $- 10^{-8}$ Кл$) \approx 1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Н=1,1 мкН.

Ответ: $F_{\text{кл}} \approx 1{,}1$ мкН.

№ 259.

Дано:
$T = 10$мН $= 10^{-2}$ Н;
$m = 0{,}6$г $= 6 \cdot 10^{-4}$кг;
$q_1 = 11$ нКл $= 1{,}1 \cdot 10^{-8}$ Кл;
$q_2 = -13$ нКл $= -1{,}3 \cdot 10^{-8}$ Кл;
$k = 9 \cdot 10^9\ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

Найти r.

Решение. На шарик действует три силы: сила Кулона, сила тяжести и сила натяжения нити. Нить порвется при условии:

$$T \le F_{\text{кл}} + F_{\text{т}} = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} + mg \Rightarrow r_{\min} = \sqrt{\frac{k|q_1||q_2|}{T - mg}} =$$

$$= \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9\,\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot 1{,}1 \cdot 10^{-8}\,\text{Кл} \cdot 1{,}3 \cdot 10^{-8}\,\text{Кл}}{10^{-2}\,\text{Н} - 6 \cdot 10^{-4}\,\text{кг} \cdot 10\,\text{м/с}^2}} \approx$$

$\approx 1{,}8 \cdot 10^{-2}$ м = 1,8 см.

Ответ: $r \approx 1{,}8$ см.

№ 260.

Дано: $m = 0{,}2$ г $= 2 \cdot 10^{-4}$ кг;
$|q_1| = |q_2| = 10$ нКл $= 10^{-8}$ Кл;
$k = 9 \cdot 10^9\ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$;
$r = 3$ см $= 3 \cdot 10^{-2}$ м;
а) $q_1 > 0$, $q_2 > 0$;
б) $q_1 > 0$, $q_2 < 0$;

Найти T_{01}, T_{12}.

Решение.

а) $$\begin{cases} T_{12} = mg + \frac{kq_1^2}{r^2}; \\ T_{01} = mg + T_{12} - \frac{kq_1^2}{r^2}. \end{cases}$$

$T_{01} = 2mg = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-4}$ кг $\cdot$ 10 м/с^2 =
$= 4 \cdot 10^{-3}$ Н = 4 мН; $T_{01} = mg + F_{\text{кл}} =$

$=mg+k\dfrac{q_1^2}{r^2}=2\cdot 2\cdot 10^{-4}$кг$\cdot 10$м/с$^2+9\cdot 10^9\ \dfrac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}\cdot\dfrac{(10^{-8}\ \text{Кл})^2}{(3\cdot 10^{-2}\ \text{м})^2}=3\cdot 10^{-3}$Н = 3мН.

б) $\begin{cases} T_{12}=mg-\dfrac{kq_1^2}{r^2}; \\ T_{01}=mg+T_{12}+\dfrac{kq_1^2}{r^2}. \end{cases}$

$T_{01}=2mg=4$ мН; $T_{12}=mg-F_{\text{кл}}=mg-k\dfrac{q_1^2}{r^2}=1$ мН.

Ответ:а) $T_{01}=4$ мН, $T_{12}=3$ мН; б) $T_{01}=4$ мН, $T_{12}=1$ мН.

№ 261.

Дано: l; m;
$\varphi/2=45°$;
$q_1=q_2=q$.

Найти q.

Решение. Поскольку $\varphi/2=45°$: $F_{\text{кл}}=mg\Rightarrow$

$mg=k\dfrac{q_1q_2}{r^2}=k\dfrac{q^2}{r^2}\Rightarrow q=r\sqrt{\dfrac{mg}{k}}$; $r=\sqrt{2}l\Rightarrow q=l\sqrt{\dfrac{2mg}{k}}$.

Ответ: $q=l\sqrt{\dfrac{2mg}{k}}$.

№ 262.

Дано:
$l=2$ м;
$q_1=q_2=q=20$ нКл $=$
$=2\cdot 10^{-8}$ Кл;
$r=16$ см $=0{,}16$ м;
$k=9\cdot 10^9\ \dfrac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$;

Найти T.

Решение.
$F_{\text{кл}}=T\sin\varphi\Rightarrow$

$\dfrac{kq^2}{r^2}=T\sin\varphi$;

$\sin\varphi=\dfrac{r}{2l}\Rightarrow$

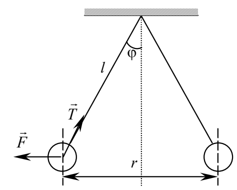


Рис. 83.

$\Rightarrow T=\dfrac{2kq^2l}{r^3}=\dfrac{2\cdot 9\cdot 10^9\ \dfrac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}\cdot(2\cdot 10^{-8}\ \text{Кл})^2\cdot 2\ \text{м}}{(0{,}16\ \text{м})^3}\approx 3{,}6\cdot 10^{-3}$ Н $=3{,}6$ мН.

Ответ: $T\approx 3{,}6$ мН.

№ 263.

Дано:
q_1; q_2; q_3; l, k.

Найти T_{12}, T_{23}.

Решение.

$T_{12}=F_{12}+F_{13}=k\dfrac{q_1q_2}{l^2}+k\dfrac{q_1q_3}{(2l)^2}=k\dfrac{(4q_2+q_3)q_1}{4l^2}$;

$T_{23}=F_{23}+F_{13}=k\dfrac{q_2q_3}{l^2}+k\dfrac{q_1q_3}{(2l)^2}=k\dfrac{(4q_2+q_1)q_3}{4l^2}$.

Ответ: $T_{12}=k\dfrac{(4q_2+q_3)q_1}{4l^2}$, $T_{23}=k\dfrac{(4q_2+q_1)q_3}{4l^2}$.

№ 264.

Дано:	Решение.
m, l, α. $q_1 = q_2 = q_3 = q$.	Поскольку шарики находятся в равновесии (см. рис. 84), получаем:
Найти q.	

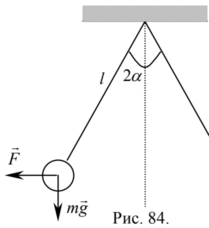


Рис. 84.

$$\begin{cases} T\cos\alpha = mg + k\dfrac{q^2}{l^2}\cos\alpha; \\ T\sin\alpha = k\dfrac{q^2}{l^2}\sin\alpha + k\dfrac{q^2}{(2l\sin\alpha)^2}. \end{cases}$$

$$mg\mathrm{tg}\alpha + k\frac{q^2}{l^2}\sin\alpha = k\frac{q^2}{l^2}\sin\alpha + k\frac{q^2}{(2l\sin\alpha)^2};$$

$$mg\mathrm{tg}\alpha = k\frac{q^2}{(2l\sin\alpha)^2} \Rightarrow q = 2l\sin\alpha\sqrt{\frac{mg\,\mathrm{tg}\,\alpha}{k}}.$$

Ответ: $q = 2l\sin\alpha\sqrt{\dfrac{mg\,\mathrm{tg}\,\alpha}{k}}$.

№ 265.

Дано:	Решение.
$q_1 = q_2 = q_3 =$ $= 9\cdot 10^{-9}$ Кл; $\alpha = 60°$;	См. рис. 85. x: $F - F_{13}\cos\dfrac{\alpha}{2} - F_{23}\cos\dfrac{\alpha}{2} = 0$.
Найти q.	

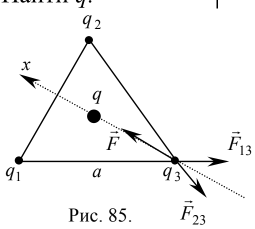


Рис. 85.

$$k\frac{qq_3}{r^2} - \frac{2kq_3^2}{a^2}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} = 0. \text{ Здесь } r = \frac{a}{\sqrt{3}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow q = \frac{\sqrt{3}}{3}q_1 = \frac{\sqrt{3}}{3}\cdot 9\cdot 10^{-9}\text{ Кл} \approx$$

$\approx 5{,}1\cdot 10^{-9}$ Кл $=5{,}1$ нКл.

Ответ: $q = 5{,}1$ нКл.

№ 266.

Дано:	Решение.
a, q.	$\lvert F\rvert = \lvert F_2\rvert + \lvert F_1\rvert\cos 45° + \lvert F_2\rvert\cos 45°$.
Найти Q.	

$$k\frac{Qq}{r^2} = \frac{kq^2}{p^2} + \sqrt{2}\frac{kq^2}{a^2}; \text{ здесь } r = \frac{\sqrt{2}}{2}a;\ p = \sqrt{2}a \Rightarrow Q = \frac{4+\sqrt{2}}{4\sqrt{2}}q.$$

Ответ: $Q = \dfrac{4+\sqrt{2}}{4\sqrt{2}}q$.

№ 267.

Дано:
$q_1 = 5$ нКл $=$
$= 5 \cdot 10^{-9}$ Кл;
$q_2 = -2$ нКл $=$
$= -2 \cdot 10^{-9}$ Кл;
$l = 40$см $= 0{,}4$ м;
$x = 10$ см $= 0{,}1$.

Найти E_{X1}, E_{X2}.

Решение.

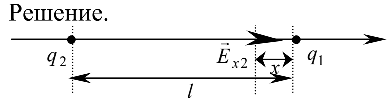


Рис. 86 а.

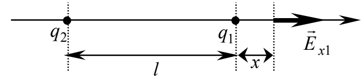


Рис. 86 б.

1) См. рис. 86 а.

$$E_{x1} = \frac{kq_1}{x^2} + \frac{kq_2}{(l+x)^2} = k\left(\frac{q_1}{x^2} + \frac{q_2}{(l+x)^2}\right) =$$

$$= 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}\left(\frac{5 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл}}{(0{,}1\ \text{м})^2} + \frac{-2 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл}}{(0{,}4\ \text{м} + 0{,}1\ \text{м})^2}\right) = 4{,}4\,\frac{\text{кН}}{\text{Кл}}.$$

2) См. рис. 86 б.

$$E_{x2} = E_1 - E_2 = \frac{k|q_1|}{x^2} - \frac{k|q_2|}{(l+x)^2} = k\left(\frac{|q_1|}{x^2} + \frac{|q_2|}{(l-x)^2}\right) =$$

$$= 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}\left(\frac{5 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл}}{(0{,}1\ \text{м})^2} + \frac{2 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл}}{(0{,}4\ \text{м} + 0{,}1\ \text{м})^2}\right) = 4{,}7\,\frac{\text{кН}}{\text{Кл}}.$$

Ответ: $E_{x1} = 4{,}4\,\frac{\text{кН}}{\text{Кл}}$; $E_{x2} = 4{,}7\,\frac{\text{кН}}{\text{Кл}}$.

№ 268.

Дано:
$q_1 = 9$ нКл $=$
$= 9 \cdot 10^{-9}$ Кл;
$q_2 = -4$ нКл $=$
$= -4 \cdot 10^{-9}$ Кл;
$l = 20$ см $=$
$= 0{,}2$ м;
$E_X = 0$.

Найти x.

Решение.

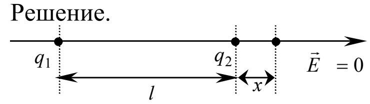


Рис. 87.

$E = k\dfrac{|q|}{r^2}$, по принципу суперпозиции (см. рис. 87)

$E_X = E_1 - E_2 = 0 \Rightarrow \dfrac{k|q_2|}{(l+x)^2} = \dfrac{kq_1}{x^2} \Rightarrow x^2(q_1 - |q_2|) -$
$- 2|q_2|lx - |q_2|l^2 = 0$. Решая получившееся квадратное уравнение, относительно x получим:

$$x_{1,2} = l \cdot \frac{q_2 \pm \sqrt{|q_2|q_1}}{q_1 - |q_2|},\ x_1 = 0{,}2\ \text{м} \cdot \frac{-4 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл} + \sqrt{4 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл} \cdot 9 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл}}}{9 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл} - 4 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл}} = 0{,}08\ \text{м};$$

$$x_1 = 0{,}2\text{ м}\cdot\frac{-4\cdot10^{-9}\text{ Кл}+\sqrt{4\cdot10^{-9}\text{ Кл}\cdot9\cdot10^{-9}\text{ Кл}}}{9\cdot10^{-9}\text{ Кл}-4\cdot10^{-9}\text{ Кл}} = 0{,}08\text{ м};$$

$$x_2 = 0{,}2\text{ м}\cdot\frac{-4\cdot10^{-9}\text{ Кл}-\sqrt{4\cdot10^{-9}\text{ Кл}\cdot9\cdot10^{-9}\text{ Кл}}}{9\cdot10^{-9}\text{ Кл}-4\cdot10^{-9}\text{ Кл}} = -0{,}4\text{ м};$$

Ответ: $x_1 = 0{,}08$ м; $x_2 = -0{,}4$ м;.

№ 269.

Дано:	Решение.
$a = 2$ м; $q_1 = 20$ нКл = $= 20\cdot10^{-9}$ Кл; $q_2 = 40$ нКл = $= 40\cdot10^{-9}$ Кл; $\alpha = 60°$.	См. рис. 88. $\vec{E}_3 = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$; $E_3^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2\vec{E}_1\vec{E}_2 =$
Найти E_3.	

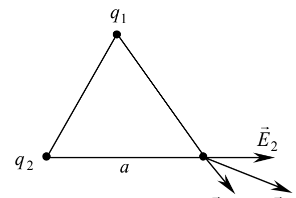


Рис. 88

$$= E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha = E_1^2 + E_2^2 + E_1E_2 \Rightarrow E_3 = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_1E_2}.$$

Поскольку $E = k\dfrac{q}{q^2}$, то имеем:

$$E_3 = \frac{k}{a^2}\sqrt{q_1^2 + q_1\cdot q_2 + q_2^2} = \frac{9\cdot10^9\,\frac{\text{Нм}^2}{\text{Кл}}}{(2\text{ м})^2}\cdot$$

$$\cdot\sqrt{(20\cdot10^{-9}\text{ Кл})^2 + 800\cdot10^{-18}\text{ Кл}^2 + (40\cdot10^{-9}\text{ Кл})^2} = 120\text{ В/м}.$$

Ответ: $E_3 = 120$ В/м.

№ 270.

Дано:	Решение.
$q_1 = 10$ нКл = $= 10\cdot10^{-9}$ Кл; $q_2 = -20$ нКл = $= -20\cdot10^{-9}$ Кл; $l = 5$ м; $a = 4$ м; $b = 3$ м.	
Найти E_3.	

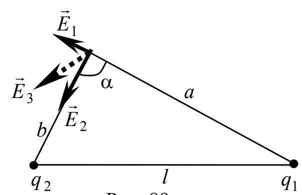


Рис. 89

$\vec{E}_3 = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. $E_3^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha$.

Из геометрических соображений $\alpha = 90°$ (см. рис. 89).

$$E_3 = k\sqrt{\frac{q_1^2}{a^4} + \frac{q_2^2}{b^4}} = 9\cdot10^9\,\frac{\text{Нм}^2}{\text{Кл}}\sqrt{\frac{(10\cdot10^{-9}\text{ Кл})^2}{(4\text{ м})^4} + \frac{(-20\cdot10^{-9}\text{ Кл})^2}{(3\text{ м})^4}} = 64\,\frac{\text{Н}}{\text{Кл}}.$$

Ответ: $E_3 = 64$ Н/Кл.

№ 271.

Дано:
$q_1 = q_2 = 1$ нКл $= 1\cdot10^{-9}$ Кл;
$q_2 = q_3 = -1$ нКл $= -1\cdot10^{-9}$ Кл;
$l = 5$ м;
$a = 30$ см $= 0{,}3$ м;
$\alpha = 45°$.

Найти E.

Решение. По принципу суперпозиции (см. рис. 90):

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4;$$

$$\vec{E} = 2\vec{E}_1 + 2\vec{E}_3;$$

$$E^2 = 4E_1^2 + 4E_3^2 + 2E_1E_3\cos\alpha \Rightarrow$$

$\Rightarrow E = 4\sqrt{2}k\dfrac{q_1}{a^2}$, т.к. $\vec{E}_1 \perp \vec{E}_3$. Здесь мы учли, что, поскольку:

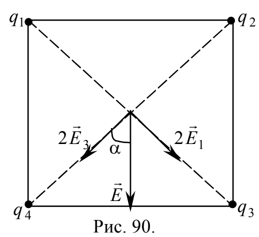


Рис. 90.

$|q_1| = |q_2| = |q_3| = |q_4|$, то $|\vec{E}_1| = |\vec{E}_2| = |\vec{E}_3| = |\vec{E}_4|$ и

$$E_1 = k\frac{q_1}{a^2}\cdot 2.$$

$$E = \frac{4\cdot\sqrt{2}\cdot 9\cdot 10^9\,\frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}\cdot 1\cdot 10^{-9}\,\text{Кл}}{(0{,}3\,\text{м})^2} \approx 560\,\frac{\text{Н}}{\text{Кл}}.$$

Ответ: $E \approx 560\,\dfrac{\text{Н}}{\text{Кл}}$.

№ 272.

Дано:
$q_1 = q_2 = 10$ нКл $= 10\cdot10^{-9}$ Кл;
$q_3 = -10$ нКл $= -10\cdot10^{-9}$ Кл;
$a = 30$ см $= 0{,}3$ м;
$\alpha = 60°$.

Найти E.

Решение. По принципу суперпозиции (см. рис. 91):

$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$; $E = E_3 + E_{12}$, где:

$$E_{12}^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos 2\alpha \Rightarrow$$

$$E_{12} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 - E_1E_2}.$$

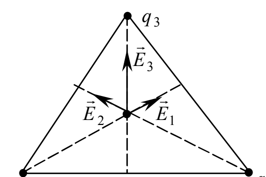


Рис. 91.

Поскольку $E = k\dfrac{|q|}{r^2}$, где $v = \dfrac{a}{\sqrt{3}}$, то

$$E = \frac{3k|q_3|}{a^2} + \frac{3k}{a^2}\sqrt{q_1^2 + q_2^2 - q_1q_2},$$

$|q_3| = q_1 = q_2 \Rightarrow$

$$E = \frac{3k}{a^2}\left(|q_3| + q_1\right) = \frac{6kq_1}{a^2} = \frac{6\cdot 9\cdot 10^9\,\frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}\cdot 10\cdot 10^{-9}\,\text{Кл}}{(0{,}3\,\text{м})^2} = 6000\,\frac{\text{Н}}{\text{Кл}} = 6\,\frac{\text{кН}}{\text{Кл}}.$$

Ответ: $E = 6\,\dfrac{\text{кН}}{\text{Кл}}$.

№ 273.

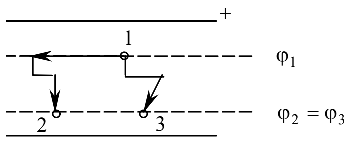


Рис. 92.

Работа поля на участках 1-2 и 1-3 одинакова (см. рис. 92), поскольку заряд прошел одну и ту же разность потенциалов ($\varphi_{12} = \varphi_{13}$).

№ 274.

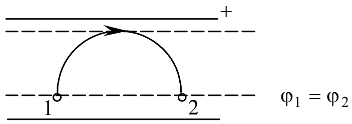


Рис. 93.

Работа поля на участках 1 – 2 равна нулю (см. рис. 93), поскольку разность потенциалов между точками 1 и 2 равна нулю ($\varphi_{12} = 0$).

№ 275.

Дано:	Решение.
$\vec{E} = 2\vec{i}$; $q = 2$ Кл; $x_1 = 1$ м; $x_2 = 3$ м; $y_1 = 1$ м; $y_2 = 2$ м.	См. рис. 94.
Найти A.	$A = qEd = qE(x_2 - x_1) =$ $=2\text{ Кл} \cdot 2\,\dfrac{\text{Н}}{\text{Кл}}\,(3\text{ м} - 1\text{ м}) = 8$ Дж.
	Ответ: $A = 8$ Дж.

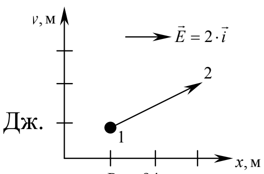


Рис. 94.

№ 276.

Дано:	Решение.
$\vec{E} = 5\vec{i}$; $q = 2$ Кл; $x_1 = 6$ м; $x_2 = 2$ м; $y_1 = 5$ м; $y_2 = 2$ м;	См. рис. 95.
Найти A.	$A = qEd = qE(x_2 - x_1) =$ $=2\text{ Кл} \cdot 5\,\dfrac{\text{Н}}{\text{Кл}}\,(2\text{ м} - 6\text{ м}) =$ $= -40$ Дж.
	Ответ: $A = -40$ Дж.

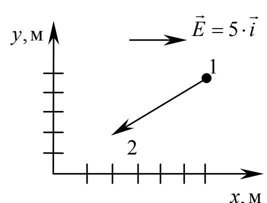


Рис. 95.

№ 277.

Дано:	Решение.
$q_1 = q_2 = q_3 = q > 0$; a.	Согласно закону изменения энергии: $A = W_2 - W_1$.
Найти A.	$W_1 = k\dfrac{q_1q_2}{a} + k\dfrac{q_1q_3}{2a} + k\dfrac{q_2q_3}{a} = \dfrac{5}{2}k\dfrac{q^2}{a}$;

$$W_2 = k\frac{q_1q_2}{a} + k\frac{q_1q_3}{a} + k\frac{q_2q_3}{a} = 3k\frac{q^2}{a};\quad A = 3k\frac{q^2}{a} - \frac{5}{2}k\frac{q^2}{a} = k\frac{q^2}{2a}.$$

Работа электрического поля $A' = -A = -k\dfrac{q^2}{2a}$.

Ответ: $A = k\dfrac{q^2}{2a}$, $A' = -k\dfrac{q^2}{2a}$.

№ 278.

Дано:
$q_1 = q_2 = q$;
$r_1 = r$;
$r_2 = 0{,}5r$.

Найти A.

Решение.

Согласно закону изменения энергии: $A = W_2 - W_1$.

$$W_1 = k\frac{q_1 q_2}{r_1} = k\frac{q^2}{r};\ W_2 = k\frac{q_1 q_2}{r_2} = 2k\frac{q^2}{r};$$

$$A = 2k\frac{q^2}{r} - k\frac{q^2}{r} = k\frac{q^2}{r}.$$

Ответ: $A = k\frac{q^2}{r}$.

№ 279.

Дано:
$q_1 = 3$ нКл $=$
$= 3 \cdot 10^{-9}$ Кл;
$q_2 = -2$ нКл $=$
$= -2 \cdot 10^{-9}$ Кл;
$l = 20$ см $= 0{,}2$ м.

Найти x, E.

Решение.

$$\varphi = k\frac{q}{r} \Rightarrow \frac{kq_1}{x} = \frac{k|q_2|}{x-l} \Rightarrow x = \frac{q_1 l}{q_1 - |q_2|} =$$

$$= \frac{\left|3\cdot 10^{-9}\ \text{Кл}\right|\cdot 0{,}2\ \text{м}}{3\cdot 10^{-9}\ \text{Кл} - 2\cdot 10^{-9}\ \text{Кл}} = 0{,}6\ \text{м}.$$

$$E = \frac{kq_1}{x^2} + \frac{kq_2}{(x-l)^2} = \frac{9\cdot 10^{9}\ \frac{\text{Нм}^2}{\text{Кл}^2}\cdot 3\cdot 10^{-9}\ \text{Кл}}{(0{,}6\ \text{м})^2} -$$

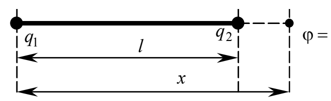


Рис. 96.

$$-\frac{9\cdot 10^{-9}\ \frac{\text{Нм}^2}{\text{Кл}^2}\cdot 2\cdot 10^{-9}\ \text{Кл}}{(0{,}2\ \text{м} - 0{,}6\ \text{м})^2} = -37{,}5\ \text{Н/Кл}.$$

Ответ: $x = 0{,}6$ м; $E = -37{,}5$ Н/Кл.

№ 280.

Дано:
$d = 40$ см $= 0{,}4$ м;
$U = 200$ В;
$q = 1$ нКл $= 1 \cdot 10^{-9}$ Кл.

Найти F.

Решение.

$$F = E \cdot q;\ E = \frac{U}{d} \Rightarrow F = \frac{U\cdot q}{d} = \frac{200\ \text{В}\cdot 1\cdot 10^{-9}\ \text{Кл}}{0{,}4\ \text{м}} =$$

$= 0{,}5$ м$\cdot 10^{-6}$ Н$=0{,}5$ мкН.

Ответ: $F = 0{,}5$ мкН.

№ 281.

Дано:
$U = 300$ В;
$m = 9 \cdot 10^{-31}$ кг;
$|e| = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Найти v_0.

Решение.

Электрону надо преодолеть работу поля $A_{\text{поля}} = W = eU$, обладая минимальной кинетической энергией $W_k = \frac{mv_0^2}{2}$.

Из закона сохранения энергии:

$$|e|U=\frac{mv_0^2}{2}\Rightarrow v_0=\sqrt{2U\frac{|e|}{m}}=\sqrt{2\cdot 300\text{ В}\cdot\frac{1{,}6\cdot 10^{-19}\text{ Кл}}{9\cdot 10^{-31}\text{ Кл}}}\approx 10{,}3\cdot 10^6\text{ м/с}.$$

Ответ: $v_0 \approx 10{,}3\cdot 10^6$ м/с.

№ 282.

Дано:	Решение.
U, m, e, $v_0 = 0$.	Теорема о кинетической энергии частицы, движущейся
Найти v.	в электрическом поле: $q = -e$.

$$qU=\frac{mv^2}{2}-\frac{mv_0^2}{2}\Rightarrow -eU=\frac{mv^2}{2}\Rightarrow v=\sqrt{-2U\frac{e}{m}}.$$

Ответ: $v=\sqrt{-2U\frac{e}{m}}$.

№ 283.

Дано:	Решение.
$q_1 = 82e$;	Из закона сохранения энергии:
$q_2 = 2e$;	
$W_К = 0{,}4$ МэВ = $= 4\cdot 10^{-19}$ Дж.	$\frac{mv^2}{2}+q_1Ed_{\min}=W_К.\ v = 0$, поскольку в момент
Найти $d_{\min}$.	столкновения электрон имеет нулевую скорость,

$E=\frac{kq_2}{d_{\min}^2}$ — поле, создаваемое ядром свинца $\Rightarrow$

$$\Rightarrow d_{\min}=164k\frac{e^2}{W_К}=\frac{164\cdot 9\cdot 10^9\ \frac{\text{Нм}^2}{\text{Кл}^2}\cdot\left(1{,}6\cdot 10^{-19}\right)^2}{4\cdot 10^{-19}\text{ Дж}}\approx 9{,}4\cdot 10^{-8}\text{ м}.$$

Ответ: $d_{\min}\approx 9{,}4\cdot 10^{-8}$ м.

№ 284.

Дано:	Решение.
$q_1 = q_2 = q$;	Согласно закону сохранения энергии:
m; H; v_0.	
Найти h.	$\frac{mv_0^2}{2}+k\frac{q^2}{H}+mgH=k\frac{q^2}{h}+mgh.$

Умножим левую и правую часть этого уравнения на $\frac{h}{mg}$, получим квадратное уравнение относительно h:

$h^2-h\left(\frac{v_0^2}{2g}+\frac{kq^2}{mgH}+H\right)+\frac{kq^2}{mg}=0.$ Решая это уравнение, получим:

$$h=\frac{1}{2}\left(\frac{v_0^2}{2g}+\frac{kq^2}{mgH}+H\right)\pm\sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{v_0^2}{2g}+\frac{kq^2}{mgH}+H\right)^2-\frac{kq^2}{mg}}.$$

Ответ: $h=\frac{1}{2}L\pm\sqrt{\frac{1}{4}L^2-\frac{kq^2}{mg}}$, где $L=\frac{v_0^2}{2g}+\frac{kq^2}{mgH}+H$.

№ 285.

Дано:	Решение.
$m = 10^{-10}$ г = $= 10^{-13}$ кг; $U = 200$ В; $\Delta U = 50$ В; $d = 1{,}6$ см = $= 1{,}6 \cdot 10^{-2}$ м	На пылинку действуют две уравновешивающие друг друга силы (см. рис. 97): тяжести $F_Т$ и сила со стороны поля конденсатора: $Uq/d = mg \Rightarrow q = mgd/U$. После потери заряда: $q'\frac{(U+\Delta U)}{d}=mg\Rightarrow q'=\frac{mgd}{U+\Delta U}$.
Найти $q-q'$.	Таким образом:

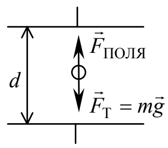


Рис. 97.

$$q-q'=\frac{mgd}{U}-\frac{mgd}{U+\Delta U}\approx\frac{10^{-13}\text{ кг}\cdot 10\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-2}\text{ м}}{200\text{ В}}-$$

$$-\frac{10^{-13}\text{ кг}\cdot 10\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-2}\text{ м}}{200\text{ В}+50\text{ В}}\approx 1{,}6\cdot 10^{-16}\text{ Кл.}$$

Ответ: $q-q'\approx 1{,}6\cdot 10^{-16}$ Кл.

№ 286.

Дано:	Решение.
$U_1 = -5$ кВ = $= -5 \cdot 10^3$ В; $l = 5$ см $= 0{,}05$ м; $d = 1$ см $= 0{,}01$ м.	Решение. Электроны не вылетят из конденсатора в том случае, если они «упадут» на положительно заряженную пластину (см. рис. 98), т.е.
Найти U_2.	$y=\frac{1}{2}\frac{e}{m}E\left(\frac{l}{v_0}\right)^2=\frac{d}{2}$, где y — вертикальное смещение электрона (см. № 229).

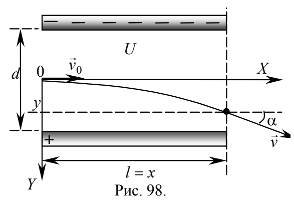


Рис. 98.

$$U_2 = Ed \Rightarrow E=\frac{U_2}{d}.$$

Из закона сохранения энергии:

$$\frac{mv_0^2}{2}=eU_1\Rightarrow v_0=\sqrt{\frac{2eU_1}{m}}.$$

Отсюда следует:

$$U_2=-\frac{2d^2U_1}{l^2}=\frac{-2\cdot(0{,}01\text{ м})^2\cdot\left(-5\cdot 10^3\text{ В}\right)^2}{(0{,}05\text{ м})^2}= 2\cdot 10^{-6}\text{ В.}$$

Ответ: $U_2 = 2 \cdot 10^{-6}$ В.

№ 287.
См. рис. 99.

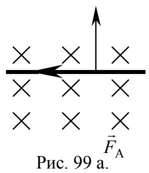
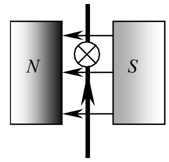
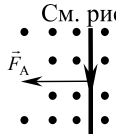


Рис. 99 а.



Сила направ-
лена от нас.
Рис. 99 б.

№ 288.
См. рис. 100.



Поле направ-
лено к нам.
Рис. 100 а.

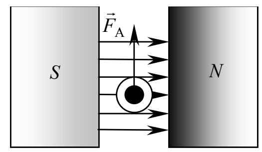


Рис. 100 б.

№ 289.

Дано:	Решение.
$I = 20$ А; $l = 20$ см $= 0{,}2$ м; $F_A = 2{,}6$ Тл; $\sin\alpha = 1$.	По закону Ампера: $F_A = BIl\sin\alpha \Rightarrow$ $\Rightarrow\ B = \dfrac{F_A}{Il\sin\alpha} = \dfrac{1\ \text{Н}}{20\ \text{А}\cdot 0{,}2\ \text{м}\cdot 1} = 0{,}25\ \text{Тл}$.
Найти B.	Ответ: $B = 0{,}25$ Тл.

№ 290.

Дано:	Решение.
$l = 10$ см $= 0{,}1$ м; $B = 2{,}6$ Тл; $I = 12$ А; $\alpha = 30°$.	Согласно закону Ампера $F_A = IlB\sin\alpha =$ $= 0{,}1$ м $\cdot$ 2,6 Тл $\cdot$ 12 А $\cdot \sin 30° = 1{,}56$ Н.
Найти F_A.	Ответ: $F_A = 1{,}56$ Н.

№ 291.

Дано:	Решение.
l=20 см $= 0{,}2$ м; $B = 0{,}25$ Тл; $I = 2$ А; $m = 10$ г $=$ $= 0{,}01$ кг.	$\dfrac{F_A}{F_T} = \operatorname{tg}\alpha$. Согласно закону Ампера $F_A = IlB\sin\alpha$; $F_T = mg$. $IlB = mg \Rightarrow$ $\Rightarrow\ \operatorname{ctg}\alpha = \dfrac{mg}{IBl} = \dfrac{0{,}01\ \text{кг}\cdot 10\ \text{м/с}^2}{2\ \text{А}\cdot 0{,}2\ \text{м}\cdot 0{,}25\ \text{Тл}} = 1$, откуда α=45°.
Найти α.	Ответ: $\alpha = 45°$.

№ 292.

Дано:	Решение.
$l = 0{,}2$ м; $B = 49$ мТл $=$ $4{,}9 \cdot 10^{-12}$ Тл; $m = 5$ г $=$ $= 5 \cdot 10^{-3}$кг; $T_{\max} = 39{,}2$ мН $=$ $= 3{,}92 \cdot 10^{-2}$ Н; $\sin\alpha = 1$.	$2T_{\max} = F_A + mg \Rightarrow BlI_{\min} = 2T_{\max} - mg \Rightarrow$ $\Rightarrow I_{min} = \dfrac{2T_{\max} - mg}{Bl} =$ $= \dfrac{2 \cdot 3{,}92\ \text{Н} - 3 \cdot 10^{-3}\ \text{кг} \cdot 10\ \text{м/с}^2}{4{,}9 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}2\ \text{м}} \approx 2{,}9$ А.
Найти $I_{\min}$.	Ответ: $I_{min} \approx 2{,}9$ А.

№ 293.

Дано:	Решение.
$l = 30$ см $= 0{,}3$ м; $B = 0{,}25$ Тл; $I = 50$ А; $\mu = 0{,}2$; $m = 0{,}5$ кг; $\sin\alpha = 1$.	$F_A = F_T$. Согласно закону Ампера $F_A = IlB\sin\alpha \Rightarrow$ $\Rightarrow BIl = \mu mg \Rightarrow B = \dfrac{\mu mg}{Il} = \dfrac{0{,}2 \cdot 0{,}5\ \text{кг} \cdot 10\ \text{м/с}^2}{50\ \text{А} \cdot 0{,}3\ \text{м}} \approx$ $\approx 0{,}067$ Тл $= 67$ мТл. Ответ: $B \approx 67$ мТл..
Найти B.	

№ 294.

Дано:	Решение.
$l = 10$ см $= 0{,}1$ м; $B = 10$ Тл; $T_{max} = 0{,}9$ Н $\mu = 0{,}1$; $m = 0{,}1$ кг; $\sin\alpha = 1$.	Согласно закону Ампера $F_A = IlB\sin\alpha$; $F_{тр} + T_{\max} = F_A \Rightarrow \mu mg + T_{\max} = BI_{\min}l \Rightarrow I_{\min} =$ $= \dfrac{\mu mg + T_{\max}}{Bl} \approx \dfrac{0{,}1 \cdot 0{,}1\ \text{кг} \cdot 10\ \text{м/с}^2 + 0{,}9\ \text{Н}}{10\ \text{Тл} \cdot 0{,}1\ \text{м}} = 1$ А.
Найти I_{min}.	Ответ: $I_{min} = 1$ А.

№ 295.

Дано:	Решение.
$l_1 = 5$ см; $l_2 = 10$ см; $F_1 = 120$ мкН; $F_2 = 15$ мкН;	Согласно закон Кулона: $F_1 = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{qQ}{l_1^2}$; $F_2 = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\dfrac{qQ}{l_2^2}$; $\dfrac{F_1}{F_2} = \dfrac{\varepsilon l_2^2}{\varepsilon_0 l_1^2} \Rightarrow$
Найти ε.	

$$\varepsilon = \frac{F_1}{F_2}\left(\frac{l_1}{l_2}\right)^2 = \frac{120\ \text{мкН}}{15\ \text{мкН}}\left(\frac{5\ \text{см}}{10\ \text{см}}\right)^2 = 2.$$

Ответ: ε. = 2

.№ 296.

Дано:
$q_1 = q_2$;
$F_1 = F_2$;
$\varepsilon = 3$;
$r_2 = 30$ см $= 0{,}3$ м.

Найти r_1.

Решение. Согласно закону Кулона: $F_{кл} = k\dfrac{q_1 q_2}{\varepsilon r^2}$

$$\Rightarrow \frac{1}{\varepsilon r_1^2} = \frac{1}{r_2^2} \Rightarrow r_1 = \frac{r_2}{\sqrt{\varepsilon}} = \frac{0{,}3\,\text{м}}{\sqrt{3}} \approx 0{,}18\,\text{м}.$$

Ответ: $r_1 \approx 0{,}18$ м.

№ 297.

Дано:
ρ; $\rho_ж$;
$\alpha_1 = \alpha_2$;
$q_1 = q_2$;
$r = r_1 = r_2$.

Найти ε.

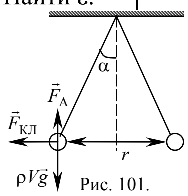


Рис. 101.

Решение.
Из геометрических соображений (см. рис 101):

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{F_{клж}}{gV\rho - F_A} = \frac{F_{кл}}{\rho g V}.$$

Согласно закону Архимеда: $F_A = \rho_ж g V$ и закону Кулона:

$F_A = \rho_ж g V$ и закону Кулона:

$$F_{кл} = k\frac{q^2}{\varepsilon r^2}, \text{ получаем: } \frac{1}{\varepsilon(\rho - \rho_ж)} = \frac{1}{\rho} \Rightarrow \varepsilon = \frac{\rho}{\rho - \rho_ж}.$$

Ответ: $\varepsilon = \dfrac{\rho}{\rho - \rho_ж}$.

№ 298.

Дано:
$\varepsilon = 2$;
$\rho_к = 800$ кг/м^3.

Найти ρ.

Решение. Пользуясь ответом задачи № 297, получим:

$$\varepsilon = \frac{\rho}{\rho - \rho_ж} \Rightarrow \rho = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}\rho_к = \frac{2}{2-1}\cdot 800\,\text{кг/м}^3 =$$

$= 1600$ кг/м^3.

Ответ: $\rho = 1600$ кг/м^3.

№ 299.

Дано:
$R = 3$ см $=$
$= 3 \cdot 10^{-2}$ м;
$E = 3$ мВ/м $=$
$= 3 \cdot 10^6$ В/м.

Найти φ.

Решение. $E = k\dfrac{|q_0|}{R^2} \Rightarrow k|q_0| = ER^2$.

$$\varphi = k\frac{|q_0|}{R} = \frac{ER^2}{R} = ER = 3\cdot 10^6\,\frac{\text{В}}{\text{м}}\cdot 3\cdot 10^{-2}\,\text{м} = 9\cdot 10^4\,\text{В} =$$

$= 90$ кВ.

Ответ: $\varphi = 90$ кВ.

№ 300.

Дано:
$R = 10$см $= 0{,}1$ м;
$l = 10$ м;
$\varphi_1 = 20$ В.

Найти φ_2.

Решение. $\varphi_1 = k\dfrac{|q_0|}{l + R} \Rightarrow k|q_0| = \varphi_1(l + R)$.

$$\varphi_2 = k\frac{|q_0|}{R} = \frac{\varphi_1(l+R)}{R} = \frac{20\,\text{В}\cdot(10\,\text{м} + 0{,}1\,\text{м})}{0{,}1\,\text{м}} = 2020\,\text{В}.$$

Ответ: $\varphi_2 = 2020$ В.

№ 301.

Дано:	
$N = 1000 = 10^3$;	Решение. Поскольку объем шара равен:
φ_1;	$V = \frac{4}{3}\pi r^3$, то: $\frac{4000}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi R^3 \Rightarrow \frac{r}{R} = \frac{1}{10}$.
$NV_1 = V_2$.	$\varphi_1 = k\frac{q_0}{r}$; $\varphi_2 = k\frac{Nq_0}{R} \Rightarrow \varphi_2 = \frac{N\varphi_1 r}{R} = \frac{1000\varphi_1}{10} = 100\varphi_1$.
Найти φ_2.	Ответ: $\varphi_2 = 100\varphi_1$.

№ 302.

Дано:
R_1; φ_1;
R_2; φ_2.
Найти φ, Δq.

Решение.

$\varphi_1 = k\frac{q_1}{R_1} \Rightarrow q_1 = \frac{\varphi_1 R_1}{k}$; $\varphi_2 = k\frac{q_2}{R_2} \Rightarrow q_2 = \frac{\varphi_2 R_2}{k}$.

По закону сохранения заряда $q_1 + q_2 = q_1' + q_2'$.

Потенциал шаров одинаков, т.к. они соединены проводником:

$$k\frac{q_1'}{R_1} = k\frac{q_2'}{R_2} \Rightarrow q_2' = \frac{R_2}{R_1}q_1' \Rightarrow \frac{\varphi_1 R_1}{k} + \frac{\varphi_2 R_2}{k} = q_1' + \frac{R_2}{R_1}q_1' = q_1'\frac{R_1 + R_2}{R_1}.$$

$$q_1' = \frac{R_1}{k}\cdot\frac{\varphi_1 R_1 + \varphi_2 R_2}{R_1 + R_2};\ \varphi = k\frac{q_1'}{R_1} = \frac{\varphi_1 R_1 + \varphi_2 R_2}{R_1 + R_2}.$$

$$\Delta q = q_1' - q_1 = \frac{R_1}{k}\cdot\frac{\varphi_1 R_1 + \varphi_2 R_2}{R_1 + R_2} - \frac{\varphi_1 R_1}{k} = \frac{R_1}{k}\left(\frac{\varphi_1 R_1 + \varphi_2 R_2}{R_1 + R_2} - \varphi_1\right).$$

Ответ: $\varphi = \frac{\varphi_1 R_1 + \varphi_2 R_2}{R_1 + R_2}$; $\Delta q = \frac{R_1}{k}\left(\frac{\varphi_1 R_1 + \varphi_2 R_2}{R_1 + R_2} - \varphi_1\right)$.

№ 303.

Дано:
$R_1 = 5$ см = 0,05 м;
$\varphi_1 = 20$ В;
$R_2 = 10$ см = 0,1 м;
$\varphi_2 = 30$ В.
Найти φ.

Решение. Поскольку все заряды распределены по поверхности проводника $Q = \frac{\varphi_1 R_1}{k} + \frac{\varphi_2 R_2}{k}$.

Внутри проводящей сферы потенциал постоянен:

$$\varphi = k\frac{Q}{R_2} = \frac{\varphi_1 R_1 + \varphi_2 R_2}{R_2} = \frac{20\text{ В}\cdot 0{,}05\text{ м} + 30\text{ В}\cdot 0{,}1\text{ м}}{0{,}1\text{ м}} = 40\text{В}.$$

Ответ: $\varphi = 40$ В.

№ 304.

Дано:
φ; R_1; R_2;
$k|q_1| = \text{const}$.
Найти φ_2.

Решение. Начальный потенциал шара: $\varphi = k\frac{|q|}{R_1} \Rightarrow k|q| = \varphi R_1$;

$\varphi_2 = k\frac{|q|}{R_2} = \frac{R_1}{R_2}\varphi$.

Ответ: $\varphi_2 = \frac{R_1}{R_2}\varphi$.

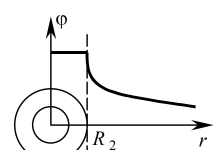


Рис. 102.

№ 305.

Задача решена в учебнике.

№ 306.

Дано:
$l = 9$ см $= 0{,}09$ м;
$Q = 2$ нКл $=$
$= 2 \cdot 10^{-9}$ Кл;
$R = 3$ см $= 0{,}03$ м;
$q = -6$ нКл $=$
$= -6 \cdot 10^{-9}$ Кл.

Найти φ.

Решение. $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$;

$$\varphi = k\frac{Q}{R} + k\frac{q}{l} =$$

$$9 \cdot 10^9\ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл}}{0{,}03\ \text{м}} -$$

$$-9 \cdot 10^9\ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{6 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл}}{0{,}09\ \text{м}} = 0.$$

Ответ: $\varphi = 0$.

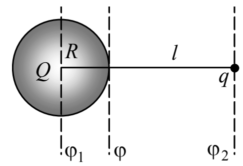


Рис. 103.

№ 307.

Дано: $C = 1$ мкФ $= 10^{-6}$ Ф;
$U = 100$ В $= 10^2$ В.

Найти q.

Решение.
$q = CU = 10^{-6}$ Ф $\cdot\ 10^2$ В $= 10^{-4}$ Кл.
Ответ: $q = 10^{-4}$ Кл.

№ 308.

Дано:
$U_1 = U_2$;
$q_2 = 3q_1$;
$C_1 = 10$ пФ.

Найти C_2.

Решение. $C_1 = \dfrac{q_1}{U_1}$, $C_2 = \dfrac{q_2}{U_2} = \dfrac{q_2}{U_1} \Rightarrow \dfrac{C_1}{C_2} = \dfrac{q_1}{q_2} \Rightarrow$

$\Rightarrow C_2 = 3C_1 = 3 \cdot 10$ пФ $= 30$ пФ.

Ответ: $C_2 = 30$ пФ.

№ 309.

Дано:
$D = 20$ см $= 0{,}2$ м;
$d = 1$ мм $= 10^{-3}$ м;
$\varepsilon = 2{,}1$.

Найти C.

Решение.
Для плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d};\ S = \frac{\pi D^2}{2} \Rightarrow$$

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 \pi D^2}{4d} \approx \frac{2{,}1 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \text{Ф/м} \cdot 3{,}14 \cdot (0{,}2\ \text{м})^2}{4 \cdot 10^{-3}\ \text{м}} \approx 5{,}8 \cdot 10^{-10}\ \text{Ф}.$$

Ответ: $C \approx 5{,}8 \cdot 10^{-10}$ Ф.

№ 310.

Дано:
$S = 520$ см^2 $=$
$= 5{,}2 \cdot 10^{-2}$ м^2;
$C = 46$ пФ $=$
$= 4{,}6 \cdot 10^{-11}$ Ф.

Найти d.

Решение.

Для плоского конденсатора: $C = \dfrac{\varepsilon_0 S}{d} \Rightarrow d = \dfrac{\varepsilon_0 S}{C} =$

$$= \frac{8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \text{Ф/м} \cdot 5{,}2 \cdot 10^{-2}\ \text{м}^2}{4{,}6 \cdot 10^{-11}\ \text{Ф}} \approx 10^{-2}\ \text{м} = 1\ \text{см}.$$

Ответ: $d \approx 1$ см.

№ 311.

Дано:
q = 10 нКл = $= 10^{-8}$ Кл;
m = 6 г = $= 6 \cdot 10^{-3}$ кг;
$S = 0{,}1$ м^2;
$\alpha = 45°$.

Найти Q.

Решение.
Из геометрических соображений:
$$\frac{qE}{mg} = \operatorname{tg}\alpha .$$
Для плоского конденсатора:
$$E = \frac{Q}{\varepsilon_0 S} \Rightarrow$$

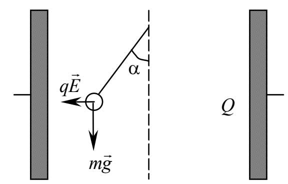


Рис. 104.

$$\Rightarrow \frac{qQ}{mg\varepsilon_0 S} = \operatorname{tg}\alpha \Rightarrow Q = \frac{m}{q}\varepsilon_0 gS\operatorname{tg}\alpha =$$

$$= \frac{6 \cdot 10^{-3}\,\text{кг}}{10^{-8}\,\text{Кл}} \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} \cdot 0{,}1\,\text{м}^2 \cdot \operatorname{tg}45° \approx 5{,}3 \cdot 10^{-6}\ \text{Кл}.$$

Ответ: $Q \approx 5{,}3 \cdot 10^{-6}$ Кл.

№ 312.

Дано: q = 10 нКл = 10^{-8} Кл;
R = 10 см = 0,1 м;
Q = 1 мкКл = 10^{-6} Кл;
$2T_1 = T_2$.

Найти m.

Решение.
По второму закону Ньютона:
$$\begin{cases} T = mg; \\ 2T = mg + qE; \end{cases}$$

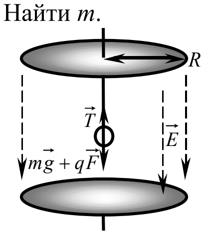


Рис. 105

где qE — сила, действующая на шарик со стороны конденсатора. Из системы получаем:
$$mg = qE \Rightarrow m = \frac{qE}{g}.$$
Для плоского конденсатора:
$$E = \frac{Q}{\varepsilon_0 S} = \frac{Q}{\varepsilon_0 \pi R^2};$$

$$m = \frac{qQ}{g\varepsilon_0 \pi R^2} = \frac{10^{-8}\,\text{Кл} \cdot 10^{-6}\,\text{Кл}}{10\,\text{м/с}^2 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\dfrac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} \cdot 3{,}14 \cdot \left(0{,}1\,\text{м}^2\right)} \approx 3{,}6 \cdot 10^{-3}\ \text{кг} = 3{,}6\ \text{г}.$$

Ответ: m = 3,6 г.

№ 313.

Дано:
C_1; C_2; последовательное соединение.

Найти $C_{об}$.

Решение. $q_1 = q_2 = q$; $U = \dfrac{q}{C_{об}}; U_1 = \dfrac{q}{C_1};$

$$U_2 = \frac{q}{C_2}; \Rightarrow C_{об} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

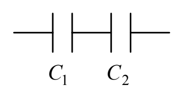


Рис. 106.

Ответ: $C_{об} = \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$.

№ 314.

Дано:
C_1; C_2; параллельное соединение.

Найти $C_{об}$.

Решение.
$U_1 = U_2 = U$; $q = q_1 + q_2$;
$q = C_{об}U$; $q_1 = C_1U$; $q_2 = C_2U$;
$UC_{об} = U(C_1 + C_2) \Rightarrow C_{об} = C_1 + C_2$.
Ответ: $C = C_1 + C_2$.

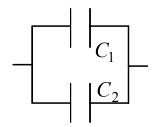


Рис. 107.

№ 315.

Дано:
$C = 100$ мкФ $= 10^{-4}$ Ф;
$W_E = 1$ Дж.

Найти U.

Решение. Для энергии плоского конденсатора:

$$W_E = \frac{CU^2}{2}.\ U = \sqrt{\frac{2W_E}{C}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1\,\text{Дж}}{10^{-4}\,\text{Ф}}} \approx 144\ \text{В}.$$

Ответ: $U = 144$ В.

№ 316.

Дано:
$C = 10$ пФ $= 10^{-11}$ Ф;
$q = 1$ мкКл $= 10^{-6}$ Кл.

Найти W_E.

Решение. Энергия плоского конденсатора:

$$W_E = \frac{q^2}{2C} = \frac{\left(10^{-6}\,\text{Кл}\right)}{2 \cdot 10^{-11}\,\text{Ф}} = 0{,}05\ \text{Дж} = 50\ \text{мДж}.$$

Ответ: $W_E = 50$ мДж.

№ 317.

Дано:
C_1; U_1; $q_1 = q_2$;
$2d_1 = d_2$; $S_1 = S_2$.

Найти $\frac{C_2}{C_1}$, $\frac{q_2}{q_1}$, $\frac{E_2}{E_1}$, $\frac{W_2}{W_1}$, $\frac{U_2}{U_1}$.

Решение.

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \Rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{1}{2};\ q_1 = q_2 \Rightarrow \frac{q_2}{q_1} = 1;$$

$$E = \frac{q}{\varepsilon_0 \varepsilon S} \Rightarrow \frac{E_2}{E_1} = \frac{q_2}{q_1} = 1;\ W = \frac{q^2}{2C} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{W_2}{W_1} = \frac{C_1}{C_2} = 2;\ C = \frac{q}{U} \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{d_2}{d_1} = 2.$$

Ответ: $\frac{C_2}{C_1} = \frac{1}{2}$, $\frac{q_2}{q_1} = 1$, $\frac{E_2}{E_1} = 1$, $\frac{W_2}{W_1} = 2$, $\frac{U_2}{U_1} = 2$.

№ 318.

Дано:
$U_1 = U_2$;
$2d_1 = d_2$.

Найти $\frac{C_2}{C_1}$, $\frac{E_2}{E_1}$, $\frac{W_2}{W_1}$, $\frac{q_2}{q_1}$.

Решение. $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \Rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{1}{2}$; $q = CU \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{q_2}{q_1} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{1}{2};\ E = \frac{q}{\varepsilon_0 \varepsilon S} \Rightarrow \frac{E_2}{E_1} = \frac{q_2}{q_1} = \frac{1}{2};$$

$$W = \frac{q^2}{2C} \Rightarrow \frac{W_2}{W_1} = \left(\frac{q_2}{q_1}\right)\frac{C_1}{C_2} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}.$$

Ответ: $\frac{C_2}{C_1} = \frac{1}{2}$, $\frac{q_2}{q_1} = \frac{1}{2}$, $\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{2}$, $\frac{W_2}{W_1} = \frac{1}{2}$.

№ 319.

Дано:
q = 30 нКл = $= 3 \cdot 10^{-8}$ Кл;
S = 30 см^2 = $= 3 \cdot 10^{-4}$ м^2;
$2d$ = 1 см = 0,01 м;
$\varepsilon = 5$.

Найти A.

Решение.
Согласно закону изменения энергии:
$A = W_2 - W_1$.

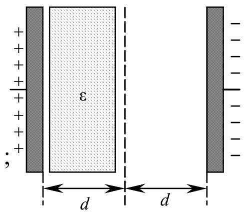


Рис. 108.

$$W_2 = \frac{q^2}{2C_2} = \frac{q^2 2d}{2\varepsilon_0 S} = \frac{q^2 d}{\varepsilon_0 S};$$

$$W_1 = \frac{q^2}{2C_1} = \frac{q^2 2d}{2\varepsilon\varepsilon_0 S} = \frac{q^2 d}{\varepsilon\varepsilon_0 S};$$

$$A = \frac{q^2 d}{\varepsilon_0 S} - \frac{q^2 d}{\varepsilon\varepsilon_0 S} = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \cdot \frac{q^2 d}{\varepsilon_0 S} = \frac{4}{5} \cdot \frac{\left(3 \cdot 10^{-8}\ \text{Кл}\right)^2 \cdot 5 \cdot 10^{-3}\ \text{м}}{8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} \cdot 3 \cdot 10^{-3}\ \text{м}^2} \approx 4520\ \text{Дж}.$$

Ответ: $A \approx 4520$ Дж.

№ 320.

Дано:
$\varepsilon = 3$;
U = 100 В;
C_1=3 мкФ= $= 3 \cdot 10^{-6}$ Ф.

Найти A.

Решение. Согласно закону изменения энергии: $A = W_2 - W_1$.

$$W_2 = \frac{q^2}{2C_2};\ q = C_2 U \Rightarrow W_2 = \frac{1}{2} C_2 U^2;$$

$$W_1 = \frac{q^2}{2C_1};\ q = C_1 U \Rightarrow W_1 = \frac{1}{2} C_1 U^2;$$

Поскольку $C_2 = \dfrac{C_1}{\varepsilon}$, то $W_2 = \dfrac{1}{2\varepsilon} C_1 U^2$. Поэтому: $A = W_2 - W_1 =$

$$= \frac{1}{2\varepsilon} C_1 U^2 - \frac{1}{2} C_1 U^2 = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right) \frac{C_1 U^2}{2} = \left(\frac{1}{3} - 1\right) \frac{3 \cdot 10^{-6}\ \text{Кл} \cdot (100\ \text{В})^2}{2} = -0{,}01\ \text{Дж}.$$

Ответ: $A = -0{,}01$ Дж.

№ 321.

Дано:
$q = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл;
$r = 5{,}3 \cdot 10^{-11}$ м;
$c = 3 \cdot 10^{8}$ м/с.

Найти I.

Решение.

По второму закону Ньютона $m\dfrac{v^2}{r} = k\dfrac{q^2}{r^2}$, откуда

$$v = q\sqrt{\frac{k}{mr}};\ T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi r}{q}\sqrt{\frac{mr}{k}}.$$

$$I = \frac{q}{T} = \frac{q^2}{2\pi r}\sqrt{\frac{k}{mr}} \approx \approx \frac{\left(1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{Кл}\right)^2}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 5{,}3 \cdot 10^{-11}\ \text{м}} \sqrt{\frac{9 \cdot 10^{9}\ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}}{9 \cdot 10^{-31}\ \text{Кл} \cdot 5{,}3 \cdot 10^{-11}\ \text{м}}} \approx 10^{-8}\ \text{А}.$$

Ответ: $I \approx 10^{-8}$ А.

№ 322.

Дано:
$t = 10$ с;
$S = 5$ мм^2 $= 5 \cdot 10^{-5}$ м^2;
$q = 100$ Кл.

Найти i.

Решение.

$I = \frac{q}{t}$. По определению $i = \frac{I}{S} = \frac{q}{t \cdot S} =$

$= \frac{100\text{ Кл}}{10\text{ с} \cdot 5 \cdot 10^{-5}\text{ м}^2} = 2 \cdot 10^{-6}$ А/м^2.

Ответ: $i = 2 \cdot 10^{-6}$ А/м^2.

№ 323.

Дано:
$t = 1$ мин $= 60$ с;
$R = 10$ Ом;
$q = 10$ Кл
$t^* = 1$ с

Найти Q.

Решение.

По закон Джоуля-Ленца: $Q = I^2Rt$;

$I = \frac{q}{t^*} = 10\text{ А} \Rightarrow Q = (10\text{ А})^2 \cdot 10\text{ Ом} \cdot 60\text{ с} =$

$= 60000$ Дж $= 60$ кДж.

Ответ: $Q = 60$ кДж.

№ 324.

Дано:
$t = 10$ мин $= 600$ с;
$Q = 12$ кДж $=12000$ Дж;
$R = 5$ Ом.

Найти I.

Решение.

По закону Джоуля-Ленца:

$Q = I^2Rt \Rightarrow I = \sqrt{\frac{Q}{Rt}} = \sqrt{\frac{12000\text{ Дж}}{5\text{ Ом} \cdot 600\text{ с}}} = 2$ А.

Ответ: $I = 2$ А.

№ 325.

Дано:
t, Q, ρ, d, I.

Найти l.

Решение.

По закон Джоуля-Ленца:

$Q = I^2Rt = \frac{I^2\rho lt}{S} = \frac{4I^2\rho lt}{\pi d^2} \Rightarrow l = \frac{\pi Qd^2}{4t\rho I^2}$.

Ответ: $l = \frac{\pi Qd^2}{4t\rho I^2}$.

№ 326.

Дано:
$D = 1{,}5$ см $=$
$= 1{,}5 \cdot 10^{-2}$ м;
$t = 10$ мин $= 600$ с;
$Q = 36$ кДж$=3{,}6 \cdot 10^4$ Дж;
$d = 0{,}2$ мм $=$
$= 2 \cdot 10^{-4}$ м;
$\rho = 4 \cdot 10^{-7}$ Ом $\cdot$ м;
$I = 2$ А.

Найти N.

Решение.

$N = \frac{l}{\pi D}$; l — длина проволоки из результата задачи 325; $\Rightarrow N = \frac{Qd^2}{t\rho I^2 D^2} =$

$= \frac{3{,}6 \cdot 10^4\text{ Дж} \cdot (2 \cdot 10^{-4})^2\text{ м}^2}{600\text{ с} \cdot 4 \cdot 10^{-7}\text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 4\text{ А}^2 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-2}\text{ м}} = 1$.

Ответ: $N = 1$.

№ 327.

Дано:
t = 5 мин = 300 с;
R = 10 Ом;
q = 120 Кл.

Найти U.

Решение. По закону Ома: $I=\dfrac{U}{R}$; $I=\dfrac{q}{l}$ $\Rightarrow$

$$U=\frac{qR}{t}=\frac{120\ \text{Кл}\cdot 10\ \text{Ом}}{300\ \text{с}}=4\ \text{В}.$$

Ответ: U = 4 В.

№ 328.

Дано:
ρ = 400 мкОм · м =
= $4\cdot 10^{-4}$ Ом · м;
U = 6 В;
l = 20 см = 0,2 м;
d = 2 мм = $2\cdot 10^{-3}$ м.

Найти I.

Решение.

По закон Ома: $I=\dfrac{U}{R}$; $R=\dfrac{\rho l}{S}$ $\Rightarrow I=\dfrac{US}{\rho l}=$

$$=\frac{U\pi d^2}{4\rho l}\approx\frac{6\ \text{В}\cdot 3{,}14\cdot(2\cdot 10^{-3})^2\ \text{м}^2}{4\cdot 4\cdot 10^{-4}\ \text{Ом}\cdot\text{м}\cdot 0{,}2\ \text{м}}\approx 0{,}24\ \text{А}.$$

Ответ: $I\approx 0{,}24$ А.

№ 329.

Дано: $t_1 = 10°$ C;
R_1 = 15 Ом;
R_2= 18,25 Ом;
$\alpha = 6\cdot 10^{-3}\ \dfrac{1}{°\text{C}}$.

Найти t_2.

Решение. Для металлов: $\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t)$, где ρ_0 — удельное сопротивление при 0°С. Т.к. проволочка одна и та же (l, S = const) $R_1 = R_0\,(1 + \alpha t1) \Rightarrow$

$$\Rightarrow R_0=\frac{R_1}{(1+\alpha t_1)}\Rightarrow R_2=\frac{R_1}{1+\alpha t_1}+\frac{R_1\alpha t_2}{1+\alpha t_1}\Rightarrow$$

$$\Rightarrow t_2=\frac{R_2(1+\alpha t_1)-R_1}{R_1\alpha}=\frac{18{,}25\ \text{Ом}\left(1+6\cdot 10^{-3}\ \dfrac{1}{°\text{C}}\cdot 10°\text{C}\right)-15\ \text{Ом}}{15\ \text{Ом}\cdot 6\cdot 10^{-3}\ \dfrac{1}{°\text{C}}}=48°\text{C}.$$

Ответ: t_2 = 48°С.

№ 330.

Дано:
U = 220 В;
I = 0,68 А;
t_1 = *20 °C;*
R_1 = 36 Ом;
$\alpha = 4{,}6\cdot 10^{-3}\ \dfrac{1}{°C}$.

Найти t_2.

Решение.
Согласно задаче 329 $R_1 = R_0\,(1 + \alpha t_1) \Rightarrow$

$$\Rightarrow R_0=\frac{R_1}{(1+\alpha t_1)}\Rightarrow R_2=\frac{R_1}{1+\alpha t_1}(1+\alpha t_2).$$

По закону Ома: $I=\dfrac{U}{R_2}\Rightarrow R_2=\dfrac{U}{I}\Rightarrow$

$$\Rightarrow t_2=\frac{\dfrac{U}{I}(1+\alpha t_1)-R_1}{\alpha R_1}=\frac{\dfrac{220\ \text{В}}{0{,}68\ \text{А}}(1+4{,}6\cdot 10^{-3}\ \dfrac{1}{°\text{C}}\cdot 20°\text{C})-36\ \text{Ом}}{4{,}6\cdot 10^{-3}\ \dfrac{1}{°\text{C}}\cdot 36\ \text{Ом}}=1900°\text{C}.$$

Ответ: t_2 1900°С.

№ 331.

Дано:
U = 3 кВ = 3000 В;
v = 36 км/ч = 10 м/с;
m = 300 т = $3 \cdot 10^5$ кг;
sin α = 0,01;
k = 3%;
η = 80%.

Найти I.

Решение.

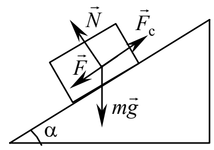


Рис. 109.

По второму закону Ньютона

$0 = mg\sin\alpha + F - F_c$;

$$F = F_c - mg\sin\alpha = mg\frac{k}{100\%} - mg\sin\alpha = mg\left(\frac{k}{100\%} - \sin\alpha\right);$$

$$Fv = \frac{\eta}{100\%}UI;\; I = \frac{100\%}{k}\cdot\frac{v}{U}mg\left(\frac{k}{100\%} - \sin\alpha\right) =$$

$$= \frac{100\%}{80\%}\cdot\frac{10\text{ м/с}}{3000\text{ В}}3\cdot10^5\text{ кг}\cdot10\text{ м/с}\cdot\left(\frac{3\%}{100\%} - 0{,}01\right) = 25\text{ А}.$$

Ответ: I = 25 А.

№ 332.

Дано:
U = 380 В;
I = 20 А;
m = 1 т = 10^3 кг;
h = 19 м;
t = 50 с.

Найти η.

Решение. Работа полезная: $A_П = mgh$.
Работа затраченная: $A_З = UIt$.

$$\eta = \frac{A_П}{A_З}\cdot100\% = \frac{mgh}{IUt}\cdot100\% \approx$$

$$\approx \frac{10^3\text{ кг}\cdot10\text{ м/с}^2\cdot19\text{ м}}{20\text{ А}\cdot380\text{ В}\cdot50\text{ с}}\cdot100\% = 50\%.$$

Ответ: η = 50%.

№ 333.

Дано:
$\mathcal{E}$ = 6 В;
r = 1 Ом;
R = 17 Ом.

Найти I

Решение.
По закону Ома для полной цепи

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} = \frac{6\text{ В}}{1\text{ Ом} + 17\text{ Ом}} \approx 0{,}33\text{ А}.$$

Ответ: I ≈ 0,33 А.

№ 334.

Дано:
I = 2 А;
r = 2 Ом;
R = 13 Ом.

Найти $\mathcal{E}$.

Решение.
По закону Ома для полной цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \Rightarrow \mathcal{E} = I(R + r) = 2\text{ А}(2\text{ Ом} + 13\text{ Ом}) = 30\text{ В}.$$

Ответ: $\mathcal{E}$ = 30 В.

№ 335

Дано:
$R_1 = 14$ Ом;
$U_1 = 28$ В;
$R_2 = 29$ Ом;
$U_2 = 29$ Ом.

Найти $\mathcal{E}$, r.

Решение.
По закону Ома для замкнутой цепи и по закону Ома для участка цепи:

$$\begin{cases} \mathcal{E} = I_1(r + R_1); \\ \mathcal{E} = I_2(r + R_2); \\ I_1 = \dfrac{U_1}{R_1}; \\ I_2 = \dfrac{U_2}{R_2}; \end{cases} \qquad \begin{cases} \mathcal{E} = \dfrac{U_1}{R_1}(r + R_1); \\ \mathcal{E} = \dfrac{U_2}{R_2}(r + R_2); \end{cases}$$

$$U_1 + U_1\frac{r}{R_1} = U_2 + U_2\frac{r}{R_2}; \quad r = \frac{U_2 - U_1}{\dfrac{U_1}{R_1} - \dfrac{U_2}{R_2}} = \frac{29\text{ В} - 28\text{ В}}{\dfrac{28\text{ В}}{14\text{ Ом}} - \dfrac{29\text{ В}}{29\text{ Ом}}} = 1\text{ Ом};$$

$$\mathcal{E} = \frac{U_1}{R_1}(r + R_1) = \frac{28\text{ В}}{14\text{ Ом}}(1\text{ Ом} + 14\text{ Ом}) = 30\text{ В}.$$

Ответ: $\mathcal{E} = 30$ В, $r = 1$ Ом

№ 336.

Дано:
$r = \dfrac{R}{k}$.

Найти $\dfrac{\mathcal{E}}{U}$.

Решение.
Закон Ома для участка цепи: $I = \dfrac{U}{R} \Rightarrow U = IR$.

Закон Ома для полной цепи: $I = \dfrac{\mathcal{E}}{R + r} \Rightarrow \mathcal{E} = I(R + r)$.

Отсюда: $\dfrac{\mathcal{E}}{U} = \dfrac{r + R}{R} = \dfrac{R/k + R}{R} = \dfrac{1 + k}{k}$.

Ответ: $\dfrac{\mathcal{E}}{U} = \dfrac{1 + k}{k}$.

№ 337.

Дано:
$R = 20$ Ом;
$C = 5$ мкФ $= 5 \cdot 10^{-6}$ Ф;
$r = 2$ Ом;
$q = 10$ мкКл $= 10^{-5}$ Кл.

Найти $\mathcal{E}$.

Решение.
Закон Ома для полной цепи:
$I = \dfrac{\mathcal{E}}{R + r} \Rightarrow \mathcal{E} = I(R + r)$.

Закон Ома для участка цепи: $I = \dfrac{U_R}{R}$. Но, поскольку соединение параллельное, $U_R = U_C$.

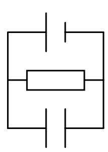


Рис. 110.

$U_C = \dfrac{q}{C} \Rightarrow I = \dfrac{q}{CR} \Rightarrow$

$$\mathcal{E} = \frac{q}{CR}(R + r) = \frac{10^{-5}\text{ Кл}}{5 \cdot 10^{-6}\text{ Ф} \cdot 20\text{ Ом}} \cdot (20\text{ Ом} + 2\text{ Ом}) = 2{,}2\text{ В}.$$

Ответ: $\mathcal{E} = 2{,}2$ В.

№ 338

Дано: $\mathcal{E} = 15$ В;
$r = 5$ Ом;
$R = 10$ Ом;
$C = 1$ мкФ $= 10^{-6}$ Ф;

Найти q.

Решение. Из результата задачи № 337 получаем:

$$\mathcal{E} = \frac{q}{CR}(R + r) \Rightarrow$$

$$q = \frac{\mathcal{E}CR}{R + r} = \frac{15\,\text{В} \cdot 10^{-6}\,\text{Ф} \cdot 10\,\text{Ом}}{10\,\text{Ом} + 5\,\text{Ом}} = 10^{-5}\,\text{Кл}.$$

Ответ: $q = 10^{-5}$ Кл.

№ 339.

Дано:
$C = 20$ пФ $= 2 \cdot 10^{-11}$ Ф;
$\mathcal{E} = 5$ В.

Найти q.

Решение.

$$\mathcal{E} = \frac{q}{C} \Rightarrow q = \mathcal{E}C = 5\,\text{В} \cdot 2 \cdot 10^{-11}\,\text{Ф} = 10^{-10}\,\text{Кл}.$$

Ответ: $q = 10^{-10}$ Кл.

№ 340.

Дано:
$\mathcal{E} = 20$ В;
$r = 1{,}5$ Ом.

Найти $I_{\text{кз}}$.

Решение.
При коротком замыкании ЭДС источника замыкается на его внутреннем сопротивлении. Согласно закону Ома:

$$I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r} = \frac{20\,\text{В}}{1{,}5\,\text{Ом}} \approx 13{,}3\,\text{А}.$$

Ответ: $I_{\text{кз}} \approx 13{,}3$ А.

№ 341

а) Дано:
$R_1 = 2$ Ом;
$R_2 = 6$ Ом;
$R_3 = 2$ Ом.

Найти $R_{\text{об}}$.

Решение.

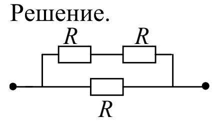


Рис. 111.

$R_{12} = R_1 + R_2 = 2$ Ом $+ 6$ Ом $= 8$ Ом.

$$R_{\text{об}} = \frac{R_{12}R_3}{R_{12} + R_3} = \frac{8\,\text{Ом} \cdot 2\,\text{Ом}}{8\,\text{Ом} + 2\,\text{Ом}} = 1{,}6\,\text{Ом}.$$

Ответ: $R_{\text{об}} = 1{,}6$ Ом.

б) Дано:
$R_1 = 2{,}6$ Ом;
$R_2 = 1$ Ом;
$R_3 = 5$ Ом;
$R_4 = 4$ Ом.

Найти $R_{\text{об}}$.

Решение.

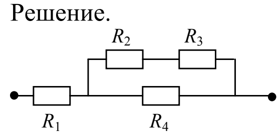


Рис. 112

$R_{23} = R_2 + R_3 = 1$ Ом $+ 5$ Ом $= 6$ Ом.

$$R_{234} = \frac{R_{23}R_4}{R_{23} + R_4} = \frac{6\,\text{Ом} \cdot 4\,\text{Ом}}{6\,\text{Ом} + 4\,\text{Ом}} = 2{,}4\,\text{Ом}.$$

$R_{\text{об}} = R_1 + R_{234} = 2{,}6$ Ом $+ 2{,}4$ Ом $= 5$ Ом.

Ответ: $R_{\text{об}} = 5$ Ом.

в) Дано:
$R_1 = 5$ Ом;
$R_2 = 4$ Ом;
$R_3 = 1$ Ом;
$R_4 = 0{,}1$ Ом;
$R_5 = 1$ Ом.

Найти $R_{об}$.

Решение.

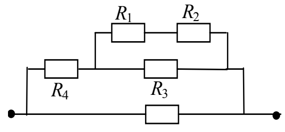


Рис. 113.

$R_{12} = R_1 + R_2 = 5$ Ом + 4 Ом = 9 Ом.

$$R_{123} = \frac{R_{12}R_3}{R_{12} + R_3} = \frac{9\,\text{Ом} \cdot 1\,\text{Ом}}{9\,\text{Ом} + 1\,\text{Ом}} = 0{,}9\,\text{Ом}.$$

$R_{1234} = R_{123} + R_4 = 0{,}9$ Ом + 0,1 Ом = 9 Ом.

$$R_{об} = \frac{R_{1234}R_5}{R_{1234} + R_5} = \frac{1\,\text{Ом} \cdot 1\,\text{Ом}}{1\,\text{Ом} + 1\,\text{Ом}} = 0{,}5\,\text{Ом}.$$

Ответ: $R_{об} = 0{,}5$ Ом.

г) Дано: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R$.

Найти $R_{об}$.

Решение. $$R_{23} = \frac{R_2R_3}{R_2 + R_3} = 0{,}5R.$$

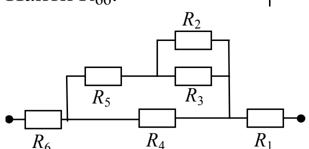


Рис. 114.

$R_{235} = R_{23} + R_5 = 0{,}5R + R = 1{,}5R.$

$$R_{2345} = \frac{R_{235}R_4}{R_{235} + R_4} = \frac{1{,}5R \cdot R}{1{,}5R + R} = 0{,}6R.$$

$R_{об} = R_1 + R_{2345} + R_6 = R + 0{,}6R + R = 2{,}6R.$

Ответ: $R_{об} = 2{,}6R$.

№ 342

а) Дано:
$R_1 = 3$ Ом;
$R_2 = 4$ Ом;
$R_3 = 1$ Ом;
$R_4 = 2$ Ом.

Найти $R_{об}$.

Решение.

$R_{12} = R_1 + R_2 = 3$ Ом + 4 Ом = 7 Ом.

$R_{34} = R_3 + R_4 = 1$ Ом + 2 Ом = 3 Ом.

$$R_{об} = \frac{R_{12}R_{34}}{R_{12} + R_{34}} = \frac{7\,\text{Ом} \cdot 3\,\text{Ом}}{7\,\text{Ом} + 3\,\text{Ом}} = 2{,}1\,\text{Ом}.$$

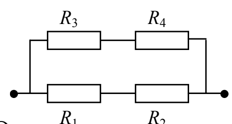


Рис. 115.

Ответ: $R_{об} = 2{,}1$ Ом.

б) Дано:
$R_1 = 1$ Ом;
$R_2 = 1{,}6$ Ом;
$R_3 = 4$ Ом;
$R_4 = 6$ Ом.

Найти $R_{об}$.

Решение.

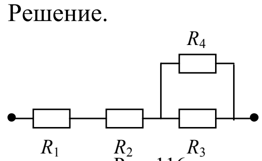


Рис. 116.

$$R_{34} = \frac{R_3R_4}{R_3 + R_4} = \frac{4\,\text{Ом} \cdot 6\,\text{Ом}}{4\,\text{Ом} + 6\,\text{Ом}} = 2{,}4\,\text{Ом}.$$

$R_{об} = R_1 + R_2 + R_{34} = 1$ Ом + 1,6 Ом + 2,4 Ом = 5 Ом.

Ответ: $R_{об} = 5$ Ом.

в) Дано:
$R_1 = 2{,}8$ Ом;
$R_2 = 1$ Ом;
$R_3 = 2$ Ом;
$R_4 = 1$ Ом;
$R_5 = 1$ Ом;
$R_6 = 1$ Ом.
Найти $R_{об}$.

Решение.

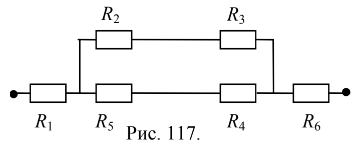


Рис. 117.

$R_{23} = R_2 + R_3 = 1$ Ом $+ 2$ Ом $= 3$ Ом,
$R_{45} = R_5 + R_4 = 1$ Ом $+ 1$ Ом $= 2$ Ом.

$$R_{2345} = \frac{R_{23}R_{45}}{R_{23}+R_{45}} = \frac{3\,\text{Ом}\cdot 2\,\text{Ом}}{3\,\text{Ом}+2\,\text{Ом}} = 1{,}2\ \text{Ом}.$$

$R_{об} = R_1 + R_{2345} + R_6 = 2{,}8$ Ом $+ 1{,}2$ Ом $+ 1$ Ом $= 5$ Ом.

Ответ: $R_{об} = 5$ Ом.

г) Дано: R.
Найти $R_{об}$.

Решение. $R_1 = \frac{R^2}{R+R} = 0{,}5R$. $R_2 = R_1 + R = 0{,}5R + R = \frac{3}{2}R$.

$$R_3 = R + R = 2R \Rightarrow R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{\frac{3}{2}R\cdot 2R}{\frac{3}{2}R + 2R} = \frac{6}{7}R.$$

$$R_5 = R + R_4 = \frac{6}{7}R + R = \frac{13}{7}R.\quad R_6 = R + R + R = 3R.$$

$$R_7 = \frac{R_5R_6}{R_5+R_6} = \frac{\frac{13}{7}R\cdot 3R}{\frac{13}{7}R+3R} = \frac{39}{34}R.\quad R_{об} = R_7 + R = \frac{39}{34}R + R = \frac{73}{34}R.$$

Ответ: $R_{об} = \frac{73}{34}R$.

№ 343

Дано:
$R = 360$ Ом;
$R_0 = 1$ Ом.
Найти n.

Решение.
По закону последовательного соединения проводников $R = nR_1 \Rightarrow R_1 = R/n$. По закону параллельного соединения проводников $\frac{1}{R_0} = \frac{n}{R_1} = \frac{n^2}{R} \Rightarrow n = \sqrt{\frac{R}{R_0}} = \sqrt{\frac{36\,\text{Ом}}{1\,\text{Ом}}} = 6$.

Ответ: $n = 6$.

№ 344

Дано:
$R = 10$ Ом;
$R_0 = 1$ Ом.
Найти $\frac{a}{b}$.

Решение. Эквивалентная схема данного соединения приведена на рис. 118. Поскольку кольцо однородное $R_a \sim a$, $R_b \sim b$, $\frac{a}{b} = \frac{R_a}{R_b}$, кроме того имеем

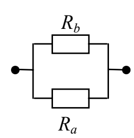


Рис. 118.

$$\begin{cases} R_a + R_b = R; \\ \dfrac{R_a R_b}{R_a + R_b} = R_0. \end{cases}$$

Выражая из первого уравнения $R_b = R - R_a$, и подставляя во второе, получим $R_a^2 - RR_a + RR_0 = 0$. Решением этого уравнения будет:

$$R_a^{(1)} = \frac{R - \sqrt{R^2 - 4RR_0}}{2}, \quad R_a^{(2)} = \frac{R + \sqrt{R^2 - 4RR_0}}{2}.$$

Поскольку $R_a^{(1)} + R_a^{(2)} = R,$ для поиска окончательного решения мы можем выбрать любое из решений. Пусть $R_a = R_a^{(1)} = \dfrac{R - \sqrt{R^2 - 4RR_0}}{2}$, тогда получаем

$$R_b = R - R_a = R - \frac{R - \sqrt{R^2 - 4RR_0}}{2} = \frac{R + \sqrt{R^2 - 4RR_0}}{2}.$$

$$R_a = \frac{10\,\text{Ом} - \sqrt{(10\,\text{Ом})^2 - 4 \cdot 10\,\text{Ом} \cdot 1\,\text{Ом}}}{2} = \left(5 - \sqrt{15}\right)\text{Ом},$$

$$R_b = \frac{10\,\text{Ом} + \sqrt{(10\,\text{Ом})^2 - 4 \cdot 10\,\text{Ом} \cdot 1\,\text{Ом}}}{2} = \left(5 + \sqrt{15}\right)\text{Ом}.$$

$$\frac{a}{b} = \frac{R_a}{R_b} = \frac{\left(5 - \sqrt{15}\right)\text{Ом}}{\left(5 + \sqrt{15}\right)\text{Ом}} = \frac{\left(5 - \sqrt{15}\right)}{\left(5 + \sqrt{15}\right)}.$$

Ответ: $\dfrac{a}{b} = \dfrac{\left(5 - \sqrt{15}\right)}{\left(5 + \sqrt{15}\right)}$.

№ 345

Дано:

$\mathcal{E} = 24$ В;
$r = 2$ Ом;
$R_1 = 2$ Ом;
$R_2 = 9$ Ом;
$R_3 = 9$ Ом;
$R_4 = 9$ Ом;
$R_5 = 5$ Ом.

Найти $I_{об}$.

Решение.

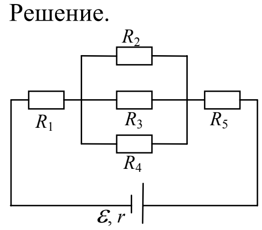


Рис. 119.

Эквивалентная схема данного соединения приведена на рис. 119.

$$\frac{1}{R_{234}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{9\,\text{Ом}} + \frac{1}{9\,\text{Ом}} + \frac{1}{9\,\text{Ом}} = \frac{1}{3\,\text{Ом}} \Rightarrow R_{234} = 3\ \text{Ом}.$$

$R_{об} = R_1 + R_{234} + R_5 = 2$ Ом + 3 Ом + 5 Ом = 10 Ом.

Согласно закону Ома для полной цепи $I_{об} = \frac{\mathcal{E}}{r + R_{об}} = \frac{24\ \text{В}}{2\ \text{Ом} + 10\ \text{Ом}} = 2$ А.

Ответ: $I_{об} = 2$ А.

№ 346

Дано: $\mathcal{E} = 2{,}8$ В;
$R_1 = 1{,}25$ Ом;
$R_2 = 1$ Ом;
$R_3 = 3$ Ом;
$R_4 = 7$ Ом;
$r \to 0$.

Найти $I_{об}$.

Решение.
Эквивалентная схема данного соединения приведена на рис. 120.

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{1\ \text{Ом} \cdot 3\ \text{Ом}}{1\text{Ом} + 3\ \text{Ом}} = 0{,}75\ \text{Ом}.$$

$R_{123} = R_1 + R_{23} = 1{,}25$ Ом + 0,75 Ом = 2 Ом.

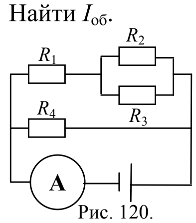


Рис. 120.

$$R_{об} = \frac{R_{123} R_4}{R_{123} + R_4} = \frac{2\ \text{Ом} \cdot 7\ \text{Ом}}{2\ \text{Ом} + 7\ \text{Ом}} = \frac{14}{9}\ \text{Ом}.$$

$$I_{об} = \frac{\mathcal{E}}{r + R_{об}} = \frac{2{,}8\ \text{В}}{\frac{14}{9}\ \text{Ом}} = 1{,}8\ \text{А}.$$

Ответ: $I_{об} = 1{,}8$ А.

№ 347.

Дано:
R.

Найти $R_{об}$.

Решение. $R = 2R + R_1$;

$$R_1 = \frac{2R^2 + RR_2}{3R + R_2};\quad R_2 = \frac{2R^2 + RR_3}{3R + R_3};\quad R_2 = \frac{2R^2 + RR_{n+1}}{3R + R_{n+1}}.$$

Проводя суммирование, находим $R_{об} = R\left(1 + \sqrt{3}\right)$.

Ответ: $R_{об} = R\left(1 + \sqrt{3}\right)$.

№ 348.

Дано:
R.

Найти $R_{об}$.

Решение.

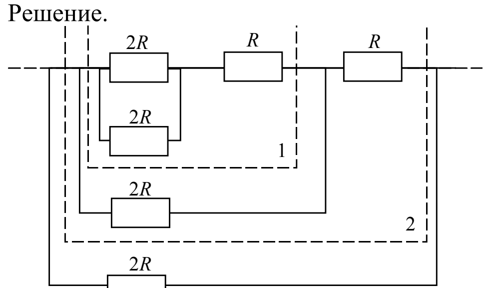


Рис. 121.

Эквивалентная схема данного соединения приведена на рис. 121.

$R_1 = R + \frac{2R}{2} = 2R$; $R_2 = R + \frac{2R_1}{2} = 2R$. Аналогично $R_{об} = 2R$

Ответ: $R_{об} = 2R$.

№ 349.

Дано:	Решение.
$R_1 = R_2 = R$; $R_3 = R_4 = 3R$; $R_5 = R$;	1) Система резисторов не изменится, если мы заменим R_1 на R_2, R_3 на R_4. При этом точка A перейдет в точку B, а B в A. Таким образом потенциалы в точках A и B равны.
Найти $R_{об}$.	

2) Потенциалы в точках A и B равны, значит, через резистор R_5 ток не течет, т.е. мы можем убрать его или закоротить точки A и B.

3) Убирая резистор R_5 находим

$R_{13} = R_1 + R_3 = R + 3R = 4R$; $R_{24} = R_2 + R_4 = R + 3R = 4R$;

$$R_{об} = \frac{R_{13}R_{24}}{R_{13} + R_{24}} = \frac{4R \cdot 4R}{4R + 4R} = 2R.$$

Ответ: $R_{об} = 2R$.

№ 350.

Дано:	Решение.
R.	В точку A входят токи I_1 и I_2, а выходят I_3 и I_4. Поскольку
Найти $R_{об}$.	система резисторов симметрична относительно прямой OO'

(см. рис. 122), то $|I_1| = |I_2| = |I_3| = |I_4|$. Таким образом мы можем разорвать цепь в точке А, и перейти к эквивалентной схеме (см. рис. 123).

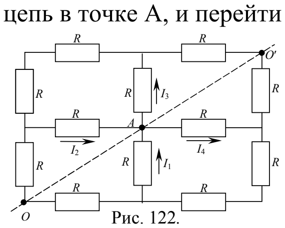


Рис. 122.

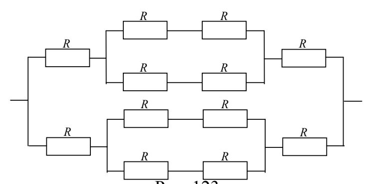


Рис. 123.

$$R_0 = R + \frac{R + R}{2} + R = 3R; \quad R_{об} = \frac{R_0}{2} = \frac{3R}{2}.$$

Ответ: $R_{об} = \frac{3R}{2}$.

№ 351.

Дано: R.	Решение. См. рис. 124. На участках Aa и bB ввиду равен-
Найти $R_{об}$.	ства сопротивлений и их одинакового включения, ток I

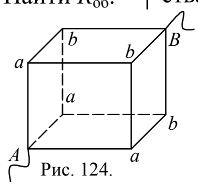


Рис. 124.

равномерно разветвляется по трем ветвям и в каждой из них равен $I/3$. На участках ab ток равен $I/6$, т.к. в каждой точке a ток вновь разветвляется по двум ребрам с равными сопротивлениями, и все эти ребра включены одинаково. Падение напряжения $U_{AB} = IR$ между точками A и B складывается из падения напряжения $U_{Aa} = IR/3$ на Aa, падения напряжения $U_{ав} = IR/6$ на ab и падения напряжения $U_{bB} = IR/3$, т.е. $IR_{об} = IR/3 + IR/6 + IR/3 \Rightarrow R_{об} = 5R/6$.

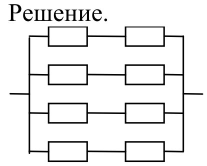
Ответ: $R_{об} = 5R/6$.

№ 352.

Дано:
d; ρ; r.

Найти $R_{об}$.

Решение.



R — сопротивление каждого проводника

Рис. 125.

Эквивалентная схема данной цепи приведена на рис. 125.

$$R_{об} = \frac{R}{2} = \frac{\rho l}{2S};\ l = \frac{C}{4} = \frac{2\pi r}{4} = \frac{\pi r}{2};\ S = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow R_{об} = \rho\frac{r}{d^2}.$$

Ответ: $R_{об} = \rho\frac{r}{d^2}$.

№ 353.

Дано:
$U_0 = 3{,}2$ В;
$R_{об} = 1{,}6$ Ом.

Найти I_0, I_1.

Решение.

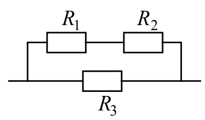


Рис. 126.

Закон Ома для участка цепи: $I_0 = \frac{U_0}{R} = \frac{3{,}2\ \text{В}}{1{,}6\ \text{Ом}} = 2$ А.

$I_1R_1 + I_2R_2 = U_0$. Поскольку $I_1 = I_2$, то $I_1 = \frac{U_0}{R_1 + R_2} = \frac{3{,}2\ \text{В}}{2\ \text{Ом} + 6\ \text{Ом}} = 0{,}4$ А.

Ответ: $I_0 = 2$ А, $I_1 = 0{,}4$ А.

№ 354.

Дано:
$U_0 = 4{,}2$ В;
$R_{об} = 2{,}1$ Ом.

Найти I_0, I_3.

Решение.

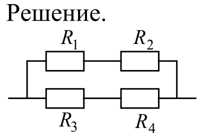


Рис. 127.

По закону Ома для участка цепи:

$I_0 = \frac{U_0}{R} = \frac{4{,}2\ \text{В}}{2{,}1\ \text{Ом}} = 2$ А. $I_3R_3 + I_4R_4 = U_0$.

Поскольку $I_3 = I_4$, то $I_3 = \frac{U_0}{R_3 + R_4} = \frac{4{,}2\ \text{В}}{2\ \text{Ом} + 1\ \text{Ом}} = 1{,}4$ А.

Ответ: $I_0 = 2$ А, $I_3 = 1{,}4$ А.

№ 355

Дано: $\mathcal{E}$ = 30 В; r = 1 Ом; R_1 = 2,6 Ом; R_2 = 1 Ом; R_3 = 5 Ом; R_4 = 4 Ом.	Решение. Эквивалентная схема данного соединения приведена на рис. 128. Из задачи 341 б следует, что $R_{об}$ = 5 Ом. Согласно закону Ома для полной цепи
Найти I_4, U_2.	

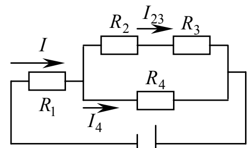


Рис. 128.

$$I_{об} = \frac{\mathcal{E}}{r + R_{об}} = \frac{30\ В}{5\ Ом + 1\ Ом} = 5\ А.$$

Используя правила Кирхгофа, составим систему уравнений:

$$\begin{cases} IR_1 + I_{23}R_2 + I_{23}R_3 = \mathcal{E}; \\ IR_1 + I_4R_4 = \mathcal{E}; \\ I = I_{23} + I_4; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_{23}(R_2 + R_3) = I_4R_4; \\ I = I_{23} + I_4. \end{cases}$$

$$I_4 = I\frac{R_2 + R_3}{R_2 + R_3 + R_4} = 5\ А \cdot \frac{10\ Ом + 5\ Ом}{10\ Ом + 5\ Ом + 4\ Ом} = 2\ А.$$

$$I_{23} = \frac{U_{23}}{R_2} \Rightarrow U_{23} = I_{23}R_2 = 2\ А \cdot 1\ Ом = 2\ В.$$

Ответ: I_4 = 2 А, U_2 = 2 В.

№ 356

Дано: $\mathcal{E}$ = 21 В; r = 2 Ом; R_1 = 1 Ом; R_2 = 1,6 Ом; R_3 = 4 Ом; R_4 = 6 Ом.	Решение. Эквивалентная схема данного соединения приведена на рис. 129. Из задачи 342 б следует, что $R_{об}$ = 5 Ом. Согласно закону Ома для полной цепи
Найти I_3, U_1	

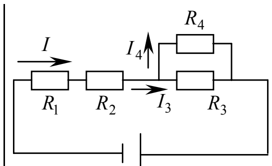


Рис. 129.

$$I_{об} = \frac{\mathcal{E}}{r + R_{об}} = \frac{21\ В}{5\ Ом + 2\ Ом} = 3\ А.$$

Используя правила Кирхгофа, составим систему уравнений:

$$\begin{cases} IR_1 + IR_2 + I_4R_4 = \mathcal{E}; \\ IR_1 + IR_2 + I_3R_3 = \mathcal{E}; \\ I = I_3 + I_4; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_{23}(R_2 + R_3) = I_4R_4; \\ I = I_{23} + I_4. \end{cases}$$

$$R_4I - R_4I_3 = R_3I_3;\ I_3 = I\frac{R_4}{R_3 + R_4} = 3\ А \cdot \frac{6\ Ом}{6\ Ом + 4\ Ом} = 1,8\ А.$$

Согласно закону Ома для участка цепи $I = \dfrac{U_1}{R_1} \Rightarrow U_1 = IR_1 = 3А \cdot 1Ом = 3В.$

Ответ: I_3= 1,8 А, U_1= 3 В.

№ 357

Дано:	Решение.
$\mathcal{E}$ = 10 В; r = 0,5 Ом; R_1 = 5 Ом; R_2 = 4 Ом; R_3 = 1 Ом; R_4 =0,1 Ом; .R_5 = 1 Ом;	Из задачи 341 б следует, что $R_{об}$ = 0,5 Ом, R_{1234} = 1 Ом, R_{123} = 0,9 Ом. Согласно закону Ома для полной цепи: $I_{об} = \dfrac{\mathcal{E}}{r + R_{об}} = \dfrac{10\text{ В}}{0{,}5\text{ Ом} + 0{,}5\text{ Ом}} = 10$ А. $I_{об} = I_{1234} + I_5$. $U_{1234} = U_5 = \mathcal{E} - I_{об}r$ = 10 В – 0,5 Ом · 10 А = 5 В
Найти I_5, U_3, U_1.	$I_5 = \dfrac{U_5}{R_5} = \dfrac{\mathcal{E} - I_{об}r}{R_5} = \dfrac{10\text{ В} - 0{,}5\text{ Ом}\cdot 10\text{ А}}{1\text{ Ом}}$ = 5 А.

$I_{1234} = I_{об} - I_5$ = 10 А – 5 А = 5 А; $I_{1234} = I_3 + I_{12}$;

$U_{12} = U_3 = U_{1234} - I_{1234}R_4$ = 5 В – 5 А · 0,1 Ом = 4,5 В.

$$I_{12} = \frac{U_{12}}{R_1 + R_2};\quad U_1 = I_{12}R_1 = U_{12}\frac{R_1}{R_1 + R_2} = 4{,}5\text{ В}\cdot\frac{5\text{ Ом}}{5\text{ Ом} + 4\text{ Ом}} = 2{,}5\text{ В}.$$

Ответ: I_5 = 5 А, U_3 = 4,5 В, U_1 = 2,5 В.

№ 358

Дано:	Решение.
$\mathcal{E}$ = 24 В; r = 1 Ом; R_1 = 2,8 Ом; R_2 = 1 Ом; R_3 = 2 Ом; $R_4 = R_5 = R_6$ = 1 Ом.	Эквивалентная схема данного соединения приведена на рис. 117. Из задачи 342 в следует, что $R_{об}$ = 5 Ом. Согласно закону Ома для полной цепи $I_{об} = \dfrac{\mathcal{E}}{r + R_{об}} = \dfrac{24\text{ В}}{5\text{ Ом} + 1\text{ Ом}}$ = 4 А.
Найти I_{45}, U_1, U_5.	Используя правила Кирхгофа, составим систему уравнений:

$$\begin{cases} IR_1 + I_{23}R_2 + I_{23}R_3 + IR_6 = \mathcal{E}; \\ IR_1 + I_{45}R_5 + I_{45}R_4 + IR_6 = \mathcal{E}; \\ I = I_{23} + I_{45}; \end{cases} \Rightarrow \Rightarrow \begin{cases} I_{45} = I_{23}\dfrac{R_2 + R_3}{R_4 + R_5}; \\ I_{23} = I - I_{45}. \end{cases}$$

$R_2I - R_2I_{45} + R_3I - R_3I_{45} = R_5I_{45} + R_4I_{45}$;

$$I_{45} = I_{23}\frac{R_2 + R_3}{R_2 + R_3 + R_4 + R_5} = 4\text{ А}\cdot\frac{1\text{ Ом} + 2\text{ Ом}}{1\text{ Ом} + 2\text{ Ом} + 1\text{ Ом} + 1\text{ Ом}} = 2{,}4\text{ А}.$$

Согласно закону Ома для участка цепи

$$I = \frac{U_1}{R_1} \Rightarrow U_1 = IR_1 = 4\text{ А}\cdot 2{,}8\text{ Ом} = 11{,}2\text{ В};$$

$$I_{45} = \frac{U_5}{R_5} \Rightarrow U_5 = I_{45}R_5 = 4\text{ А}\cdot 1\text{ Ом} = 4\text{ В}.$$

Ответ: I_{45} = 2,4 А, U_1 = 11,2 В, U_5 = 4 В.

№ 359

Дано:
$R_1 = 2$ Ом;
$R_2 = 2$ Ом;
$R_3 = 5$ Ом;
$R_4 = 40$ Ом;
$R_5 = 10$ Ом;
$I_4 = 0,5$ А.

Найти $\mathcal{E}$.

Решение.

1) По правилам Кирхгофа:

$$\begin{cases} \mathcal{E} = I_1R_1 + I_3R_3; \\ \mathcal{E} = I_1R_1 + I_2R_2 + I_4R_4; \\ \mathcal{E} = I_1R_1 + I_2R_2 + I_5R_5; \\ I_1 = I_3 + I_3; \\ I_2 = I_4 + I_5. \end{cases}$$

2) Вычитая третье уравнение из второго, получим:

$$I_4R_4 = I_5R_5 \Rightarrow I_5 = I_4\frac{R_4}{R_5} = 0,5\text{ А}\cdot\frac{40\text{ Ом}}{10\text{ Ом}} = 2\text{ А}.$$

3) $I_2 = I_4 + I_5 = 0,5$ А + 2 А = 2,5 А.

4) Вычитая первое уравнение из третьего, получим:

$I_3R_3 = I_2R_2 + I_4R_4 = 2,5$ А · 2 Ом + 0,5 А · 40 Ом = 25 В;

$$\frac{I_2R_2 + I_4R_4}{R_3} = \frac{25\text{ В}}{5\text{ Ом}} = 5\text{ А}.$$

5) $I_1 = I_2 + I_3 = 2,5$ А + 5 А = 7,5 А.

6) $\mathcal{E} = I_1R_1 + I_3R_3 = 7,5$ А · 2 Ом + 25 В = 40 В.

Ответ: $\mathcal{E} = 40$ В.

№ 360.

Дано:
$R_1 = 40$ Ом;
$R_2 = 10$ Ом;
$\mathcal{E} = 10$ В;
$I = 1$ А.

Найти I_r.

Решение.

Согласно закону Ома: $I_r = \dfrac{\mathcal{E}}{r}$, где r — внутреннее сопротивление источника. Закон Ома для полной цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r};\ R = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2} \Rightarrow r = \frac{\mathcal{E}}{I} - \frac{R_1R_2}{R_1+R_2} =$$

$$= \frac{10\text{ В}}{1\text{ А}} - \frac{40\text{ Ом}\cdot 10\text{ Ом}}{40\text{ Ом} + 10\text{ Ом}} = 2\text{ Ом};$$

$$I_r = \frac{\mathcal{E}}{r} = \frac{10\text{ В}}{2\text{ Ом}} = 5\text{ А}.$$

Ответ: $I_r = 5$ А.

№ 361.

Дано:
$I_0 = 25$ мА =
$= 2,5 \cdot 10^{-2}$ А;
$I = 5$ А;
$r = 10$ Ом.

Найти $R_ш$.

Решение. Поскольку шунт включен параллельно, то

$U_0 = U_ш \Rightarrow R_шI = I_0r + I_0R_ш \Rightarrow$

$$\Rightarrow R_ш = \frac{I_0r}{I - I_0} = \frac{2,5\cdot 10^{-2}\text{ А}\cdot 10\text{ Ом}}{5\text{ А} - 2,5\cdot 10^{-2}\text{ А}} \approx 0,05\text{ Ом}.$$

Ответ: $R_ш \approx 0,05$ Ом.

№ 362.

Дано:
$U_0 = 30$ В;
$U = 150$ В;
$r = 3$ кОм $= 3000$ Ом.

Найти $R_д$.

Решение. Поскольку добавочное сопротивление включено последовательно, то $I_0 = I_д \Rightarrow$

$$\frac{U}{R_д} = \frac{U_0}{r} + \frac{U_0}{R_д} \Rightarrow \frac{U - U_0}{R_д} = \frac{U_0}{r}$$

$$\Rightarrow R_д = \frac{r(U - U_0)}{U_0} = \frac{3000\ \text{Ом} \cdot (150\ \text{В} - 30\ \text{В})}{30\ \text{В}} = 12000\ \text{Ом} = 12\ \text{кОм}.$$

Ответ: $R_д = 12$ кОм.

№ 363.

Дано: $R_л = 240$ Ом;
$U_л = 120$ В;
$U_0 = 220$ В;
$S = 0{,}5$ мм$^2 = 0{,}5 \cdot 10^{-4}$ м^2;
$\rho = 1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом · м.

Найти l.

Решение.
Для того, чтобы питать лампу от сети 220 В, последовательно с ней нужно включить добавочное сопротивление (см. задачу № 362).

$$R_д = \frac{R_л(U_0 - U_л)}{U_л};\ R_д = \rho\frac{l}{S} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow l = \frac{SR_л(U_0 - U_л)}{U_л\rho} = = \frac{0{,}5 \cdot 10^{-4}\ \text{м}^2 \cdot 240\ \text{Ом} \cdot (220\ \text{В} - 120\ \text{В})}{120\ \text{В} \cdot 1{,}1 \cdot 10^{-6}\ \text{Ом} \cdot \text{м}} \approx 91\ \text{м}.$$

Ответ: $l \approx 91$ м.

№ 364.

Дано:
$U_1 = 120$ В;
$P_1 = 25$ Вт;
$U_2 = 60$ В;
$R_1 = R_2$.

Найти P_2.

Решение. Для мощности: $P = \dfrac{U^2}{R}$;

$$R_1 = R_2 \Rightarrow P_2 = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 P_1 = \left(\frac{60\ \text{В}}{120\ \text{В}}\right)^2 \cdot 25\ \text{Вт} = 6{,}25\ \text{Вт}.$$

Ответ: $P_2 = 6{,}25$ Вт.

№ 365.

Дано:
$r = 1$ Ом;
$R_1 = R_2 = R = 0{,}5$ Ом;
$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$.

Найти $\dfrac{P_{пос}}{P_{пар}}$.

Решение.

Для мощности: $P = I^2 R_{об} = \dfrac{U^2}{R_{об}}$.

Для последовательного соединения: $R_{об} = r + 2R$; для параллельного соединения: $R_{об} = r + R/2$. Отсюда:

$$\frac{P_{пос}}{P_{пар}} = \frac{I^2_{пос}}{I^2_{пар}} = \frac{\mathcal{E}_1^2(r + R/2)^2}{\mathcal{E}_2^2(r + 2R)^2} = \left(\frac{r + R/2}{r + 2R}\right)^2 = \left(\frac{1\ \text{Ом} + 0{,}5\ \text{Ом}/2}{1\ \text{Ом} + 2 \cdot 0{,}5\ \text{Ом}}\right)^2 \approx 0{,}8.$$

Ответ: $\dfrac{P_{пос}}{P_{пар}} \approx 0{,}8$.

№ 366.

Дано:
$l_1 = l_2 = l$;
$S_1 = S_2 = S$;
$t_1 = t_2 = t$;
$\rho_1 = 0{,}12$ мкОм · м;
$\rho_2 = 0{,}017$ мкОм · м;

Найти $\dfrac{Q_1}{Q_2}$.

Решение.

1) $R_{01} = R_1 + R_2$; $Q_1 = I^2R_{01}t = I^2(R_1 + R_2)t$;

2) $R_{02} = \dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}$; $Q_2 = \dfrac{U^2}{R_{02}}t = \dfrac{U^2(R_1+R_2)}{R_1R_2}t$;

$U = IR_1; Q_2 = \dfrac{I^2R_1^2(R_1+R_2)}{R_1R_2}t = \dfrac{I^2R_1(R_1+R_2)}{R_2}t$;

$$\frac{Q_1}{Q_2} = I^2(R_1+R_2)\cdot\frac{R_2}{I^2R_1(R_1+R_2)} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{0{,}017\,\text{мкОм}\cdot\text{м}}{0{,}12\,\text{мкОм}\cdot\text{м}} \approx 0{,}14.$$

Ответ: $\dfrac{Q_1}{Q_2} \approx 0{,}14$.

№ 367.

Дано: $I_1 = 15$ А;
$P_1 = 135$ Вт;
$I_2 = 6$ А;
$P_2 = 64{,}8$ Вт.

Найти $\mathcal{E}$, r.

Решение.

Составим систему уравнений: $\begin{cases} P_1 = I_1\mathcal{E} - I_1^2r; \\ P_2 = I_2\mathcal{E} - I_2^2r. \end{cases}$

Решая ее, получим:

$$\mathcal{E} = \frac{P_2I_1^2 - P_1I_2^2}{I_1I_2(I_1 - I_2)} = \frac{64{,}8\,\text{Вт}\cdot(15\,\text{А})^2 - 135\,\text{Вт}\cdot(6\,\text{А})^2}{15\,\text{А}\cdot 6\,\text{А}\cdot(15\,\text{А} - 6\,\text{А})} \approx 9{,}2\,\text{В};$$

$$r = \frac{P_2I_1 - P_1I_2}{I_1I_2(I_1 - I_2)} = \frac{64{,}8\,\text{Вт}\cdot 15\,\text{А} - 135\,\text{Вт}\cdot 6\,\text{А}}{15\,\text{А}\cdot 6\,\text{А}\cdot(15\,\text{А} - 6\,\text{А})} = 0{,}2\,\text{Ом}.$$

Ответ: $\mathcal{E} \approx 9{,}2$ В, $r = 0{,}2$ Ом.

№ 368.

Дано:
$R_1 = 2$ Ом;
$I_1 = 1{,}6$ А;
$R_2 = 1$ Ом;
$I_2 = 2$ А.

Найти ΔP_2.

Решение.

Применив закон Ома для полной цепи, составим систему уравнений: $\begin{cases} I_1(R_1 + r) = \mathcal{E}; \\ I_2(R_2 + r) = \mathcal{E}. \end{cases}$

Отсюда: $I_1R_1 + I_1r = I_2R_2 + I_2r$; $r = \dfrac{I_2R_2 - I_1R_1}{I_1 - I_2}$.

Потери мощности:

$$\Delta P_2 = I_2^2r = \frac{I_2^2(I_2R_2 - I_1R_1)}{I_1 - I_2} = \frac{(2\,\text{А})^2\cdot(2\,\text{А}\cdot 1\,\text{Ом} - 1{,}6\,\text{А}\cdot 2\,\text{Ом})}{1{,}6\,\text{А} - 2\,\text{А}} = 12\,\text{Вт}.$$

Ответ: $\Delta P_2 = 12$ Вт.

№ 369.

Дано:
$R_1 = 2$ Ом;
$R_2 = 0{,}1$ Ом;
$P_1 = P_2$.
Найти r.

Решение. По закону Ома для полной цепи:

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + r},\ I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2 + r}.$$

По закону Джоуля-Ленца

$$P_1 = I_1^2 R_1 = \frac{\varepsilon^2 R_1}{(R_1 + r)^2},\ P_2 = I_2^2 R_2 = \frac{\varepsilon^2 R_2}{(R_2 + r)^2},\ P_1 = P_2;\ \frac{\varepsilon^2 R_1}{(R_1 + r)^2} = \frac{\varepsilon^2 R_2}{(R_2 + r)^2};$$

$$\frac{R_1 + r}{\sqrt{R_1}} = \frac{R_2 + r}{\sqrt{R_2}};\ \ r = \sqrt{R_1 R_2} = \sqrt{2\,\text{Ом} \cdot 0{,}1\,\text{Ом}} \approx 0{,}45\ \text{Ом}.$$

Ответ: $r \approx 0{,}45$ Ом.

№ 370.

Дано:
$R_1 = 2$ Ом;
$R_2 = 5$ Ом;
$r = 0{,}5$ Ом.
Найти η.

Решение.

$$\eta = \frac{R}{R + r},\ \text{где}\ R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\ \text{— внешнее сопротивление цепи.}$$

Отсюда:

$$\eta = \frac{R_1 R_2}{R_1 R_2 + (R_1 + R_2) r} = \frac{2\ \text{Ом} \cdot 5\ \text{Ом}}{2\ \text{Ом} \cdot 5\ \text{Ом} + (2\ \text{Ом} + 5\ \text{Ом}) \cdot 0{,}5\ \text{Ом}} \approx 0{,}74.$$

Ответ: $\eta \approx 0{,}74$.

№ 371.

Задача решена в учебнике.

№ 372.

Дано:
$I_1 = 4$ А;
$U_1 = 12{,}6$ В;
$I_2 = 6$ А;
$U_2 = 11{,}1$ В.
Найти $I_{кз}$.

Решение. $I_1 = \dfrac{U_1 - U_2}{r};\ \ I_2 = \dfrac{U_1 - U_2}{R_{вн}}.$

$$I_{кз} = \frac{U_1}{r} + \frac{U_2}{r} = \frac{I_2 U_1 + I_1 U_2}{U_1 - U_2} = \frac{6\,\text{А} \cdot 12{,}6\,\text{В} + 4\,\text{А} \cdot 11{,}1\,\text{В}}{12{,}6\,\text{В} - 11{,}1\,\text{В}} = 80\ \text{А}.$$

Ответ: $I_{кз} = 80$ А

№ 373

Дано:
$R = 1$ кОм $= 1000$ Ом;
$I_1 = 5$ мА $= 5 \cdot 10^{-3}$ А;
$I_2 = 10$ мА $= 10 \cdot 10^{-3}$ А;
$U = 20$ В.
Найти $\dfrac{r_1}{r_2}$.

Решение. Схема данного соединения приведена на рис. 130.

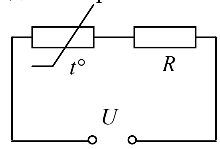


Рис. 130.

Согласно закону Ома: $I_1 = \dfrac{U}{r_1 + R}$, $I_2 = \dfrac{U}{r_1 + R}$, $r_1 = \dfrac{U}{I_1} - R$, $r_2 = \dfrac{U}{I_2} - R \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{r_1}{r_2} = \frac{(U - RI_1)I_2}{(U - RI_2)I_1} = \frac{(20\,\text{В} - 10^3\ \text{Ом} \cdot 5 \cdot 10^{-3}\ \text{А}) \cdot 10^{-2}\ \text{А}}{(20\,\text{В} - 10^3\ \text{Ом} \cdot 10^{-2}\ \text{А}) \cdot 5 \cdot 10^{-3}\ \text{А}} = \frac{3}{1}.$$

Ответ: $\dfrac{r_1}{r_2} = \dfrac{3}{1}$.

№ 374

Дано:
R_1= 25кОм = 25000Ом;
R = 5 кОм = 5000 Ом;
$I_1 = \dfrac{1}{4} I_2$;
$U_1 = U_2 = U$.

Найти $\dfrac{R_1}{R_2}$.

Решение.

$I_1 = \dfrac{U}{R_1 + R}$, $I_2 = \dfrac{U}{R_2 + R}$;

$4I_1 = I_2 = \dfrac{4U}{R_1 + R}$;

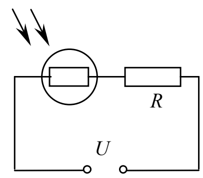


Рис. 131.

$$\frac{4U}{R_1 + R} = \frac{U}{R_2 + R} \Rightarrow R_2 = \frac{R_1 - 3R}{4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{4R_1}{R_1 - 3R} = \frac{4 \cdot 25000\ \text{Ом}}{25000\ \text{Ом} - 3 \cdot 5000\ \text{Ом}} = \frac{10}{1}.$$

Ответ: $\dfrac{R_1}{R_2} = \dfrac{10}{1}$.

№ 375

Дано:
d = 1 мм =
= 10^{-3} м;
U = 440 В;
v_0 = 0 м/с.

Найти t.

Решение. Работа по перемещению электрона $A = eU = Fd$.
По второму закону Ньютона $F = ma \Rightarrow eU = mad$.

Из кинематики $d = v_0 t + \dfrac{at^2}{2} \Rightarrow a = \dfrac{2d}{t^2}$.

Таким образом, получаем

$$eU = \frac{2d^2 m}{t^2} \Rightarrow t = d\sqrt{\frac{2m}{eU}} = 10^{-3}\ \text{м} \cdot \sqrt{\frac{2}{1{,}76\ \text{Кл/кг} \cdot 440\ \text{В}}} \approx 5 \cdot 10^{-5}\ \text{с} = 50\ \text{мкс}.$$

Ответ: $t \approx 50$ мкс.

№ 376

Дано:
v_0, l, d,
L, U.

Найти y.

Решение.
Время пролета электрона между пластинами: $t_1 = l/v_0$.
Время пролета электрона от пластин до экрана: $t_2 = \dfrac{L}{v_0}$.

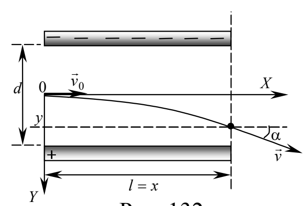


Рис. 132.

За время пролета между пластинами электрон получит вертикальное смещение: $s_1 = \frac{at_1^2}{2} = \frac{Ft_1^2}{2m} = \frac{eUt_1^2}{2dm} = \frac{eUl^2}{2dmv_0^2}$.

Вертикальное смещение электрона за время полета от пластин к экрану: $s_2 = v_y t_2 = at_1t_2 = \frac{eUlL}{dmv_0^2}$. Полное смещение электрона

$$y = s_1 + s_2 = \frac{eUl^2}{2dmv_0^2} + \frac{eUlL}{dmv_0^2} = \frac{eUl}{dmv_0^2}\left(L + \frac{l}{2}\right).$$

Ответ: $y = \frac{eUl}{dmv_0^2}\left(L + \frac{l}{2}\right)$.

№ 377

Дано:	Решение. $\varepsilon_i = E_{пр}el \Rightarrow$
$\varepsilon_i = 2{,}4\cdot10^{-18}$ Дж; l = 5 мкм = = $5\cdot10^{-6}$ м.	$E_{пр} = \frac{\varepsilon_i}{el} = \frac{2{,}4\cdot10^{-18}\ \text{Дж}}{1{,}6\cdot10^{-19}\ \text{Кл}\cdot5\cdot10^{-6}\ \text{м}} \approx 3\cdot10^6$ В/м. Энергия
Найти $E_{пр}$, v.	ионизации равна кинетической энергии электрона:.

$$\varepsilon_i = \frac{m_e v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2\varepsilon_i}{m_e}} = \sqrt{\frac{2\cdot2{,}4\cdot10^{-18}\ \text{Дж}}{9\cdot10^{-31}\ \text{кг}}} \approx 2{,}4\cdot10^6\ \text{м/с}.$$

Ответ: $E_{пр} \approx 3\cdot10^6$ В/м, $v \approx 2{,}4\cdot10^6$ м/с

.№ 378

Дано:	Решение. $\varepsilon = Eel$;
d=10 см = 0,1 м; U = 600 В; $\varepsilon = 1{,}7\cdot10^{-18}$ Дж.	$E = \frac{U}{d} \Rightarrow l = \frac{\varepsilon d}{Ue} = \frac{1{,}7\cdot10^{-18}\ \text{Дж}\cdot0{,}1\ \text{м}}{600\ \text{В}\cdot1{,}6\cdot10^{-19}\ \text{Кл}} \approx 0{,}0018$ м = 1,8
Найти l.	мм. Ответ: $l \approx 1{,}8$ мм.

№ 379

Дано:	Решение. Согласно первому закону Фарадея $m=ke \Rightarrow$
$m = 3{,}8\cdot10^{-26}$ кг; $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл.	$k = \frac{m}{e} = \frac{3{,}8\cdot10^{-26}\ \text{кг}}{1{,}6\cdot10^{-19}\ \text{Кл}} \approx 2{,}4\cdot10^{-7}$ кг/Кл.
Найти k.	Ответ: $k \approx 2{,}4\cdot10^{-7}$ кг/Кл.

№ 380

Дано:	Решение. По первому закону Фарадея $m=kq=kIt \Rightarrow$
m = 5 г = $5\cdot10^{-3}$ кг; I = 2 А; $k = 3{,}4\cdot10^{-7}$ кг/Кл.	$\Rightarrow t = \frac{m}{kI} = \frac{5\cdot10^{-3}\ \text{кг}}{3{,}4\cdot10^{-7}\ \text{кг/Кл}\cdot2\ \text{А}} \approx 7350$ с $\approx$ 2 ч.
Найти t.	Ответ: $t \approx 2$ ч.

№ 381

Дано:	Решение.
$v = 1$ мм/ч $\approx$ $\approx 2{,}8 \cdot 10^7$ м/с; $k = 11{,}18 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл; $\rho = 10{,}5 \cdot 10^3$ кг/м^3.	Плотность тока по определению: $j = \frac{I}{S}$, где S — площадь электрода. Согласно первому закону Фарадея $m = kIt = kjSt \Rightarrow \quad j = \frac{m}{ktS}$.
Найти j.	

Масса серебра, выделившегося на электроде: $m=\rho V$; $V=vSt \Rightarrow m = \rho vSt$.

Таким образом: $j = \frac{\rho v}{k} = \frac{10{,}5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 2{,}8 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}}{11{,}18 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}} \approx 2600$ А/м^2.

Ответ: $j \approx 2600$ А/м^2.

№ 382

Дано:	Решение.
$j = 100$ А/м^2; $d = 0{,}05$ мм = $= 5 \cdot 10^{-5}$ м; $k = 3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл; $\rho = 8{,}9 \cdot 10^3$ кг/м^3.	Плотность тока по определению:$i = \frac{I}{S}$, где S — площадь электрода. По первому закону Фарадея: $m = kIt = kjSt \Rightarrow t = \frac{m}{kiS}$.
Найти t.	

Масса никеля выделившегося на электроде:

$$m = \rho V = \rho Sd \Rightarrow \quad t = \frac{\rho d}{Rj} = \frac{8{,}9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}}{3 \cdot 10^{-7} \frac{\text{кл}}{\text{Кл}} \cdot 100 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}} = 15000 \text{ с.}$$

Ответ: $t = 15000$ с.

№ 383

Дано:	Решение.
$A = 2$ кВт·ч = $= 2000$ Вт · ч; $U = 6$ В; $k = 3{,}3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.	По первому закону Фарадея: $m = kIt$. Работа тока: $A = IUt$, следовательно: $\frac{m}{k} = \frac{A}{U} \Rightarrow m =$ $= \frac{kA}{U} = \frac{3{,}3 \cdot 10^{-7} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}} \cdot \frac{2000 \text{ Вт}}{3600 \text{ с}}}{6 \text{ В}} \approx 3 \cdot 10^{-8}$ кг.
Найти m.	Ответ: $m \approx 3 \cdot 10^{-8}$ кг.

№ 384.

Дано:	Решение.
$t = 2$ ч = 7200 с; $R = 5$ Ом; $U = 2$ В; $k = 11{,}18 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.	По закону Ома: $I = \frac{U}{R}$. По закону Фарадея: $m = kIt \Rightarrow$
Найти m.	

$$\Rightarrow m = \frac{kUt}{R} = \frac{11{,}18 \cdot 10^{-7}\,\frac{\text{кг}}{\text{Кл}} \cdot 2\,\text{В} \cdot 7200\,\text{с}}{5\,\text{Ом}} \approx 0{,}0032\ \text{кг} = 3{,}2\ \text{г}.$$

Ответ: $m = 3{,}2$ г.

№ 385.

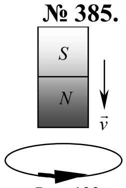


Рис. 133.

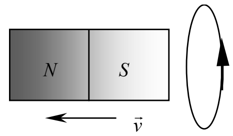


Рис. 134.

№ 386.

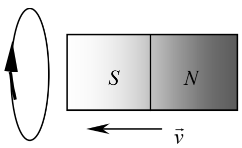


Рис. 135.

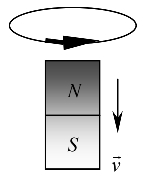


Рис. 136.

№ 387.

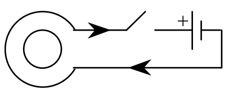


Рис. 137.

№ 388.

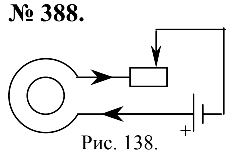


Рис. 138.

№ 389.

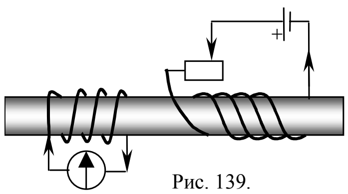


Рис. 139.

№ 390.

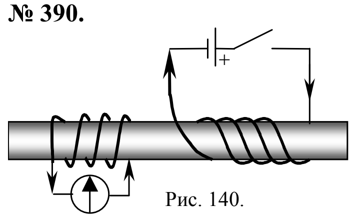


Рис. 140.

№ 391.

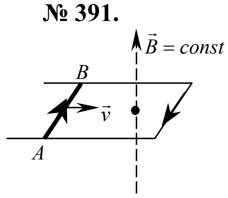


Рис. 141.

№ 392.

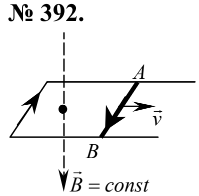


Рис. 142.

№ 393.

Дано:
$S = 0,01$ м^2;
$B_1 = 0,5$ Тл;
а) $\alpha_2 = 0°$;
б) $B_2 = 0,1$ Тл;
$\alpha_1 = 90°$.

Найти $\Delta\Phi_а$, $\Delta\Phi_б$.

Решение.
а) $\Delta\Phi_а = BS(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2) = 0,5 Тл \cdot 0,01 м^2 \cdot 1 =$
$= 0,005$ Вб $= 5$ мВб.
б) $\Delta\Phi_б = S\cos\alpha_1(-B_1 + B_2) =$
$= 0,01 м^2 \cdot 1 \cdot (-0,5 Тл + 0,1 Тл) = 0,01 м^2 \cdot (-0,4 Тл) =$
$= -0,004$ Вб $= -4$ мВб.
Ответ: $\Delta\Phi_а = 5$ мВб; $\Delta\Phi_б = -4$ мВб.

№ 394.

Дано: $S = 0,02$ м^2;
$B_1 = 0,1$ Тл;
а) $\alpha_2 = 30°$;
б) $B_2 = 0,6$ Тл;
$\alpha_1 = 0°$.

Найти $\Delta\Phi_а$, $\Delta\Phi_б$.

Решение.
а) $\Delta\Phi_а = BS(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1) = 0,02 м^2 \cdot 0,1 Тл \cdot \frac{1}{2} =$
$= 0,001$ Вб $= 1$ мВб.
б) $\Delta\Phi_б = S\cos\alpha_1(B_2 - B_1) = 0$. Т.к. $\cos 0 = 0$.
Ответ: $\Delta\Phi_а = 1$ мВб; $\Delta\Phi_б = 0$.

№ 395

Дано:
$\Delta t = 5$ мс $= 5 \cdot 10^{-3}$ с;
$N = 500$;
$\Phi_1 = 9$ мВб $= 9 \cdot 10^{-3}$ Вб;
$\Phi_2 = 7$ мВб $= 7 \cdot 10^{-3}$ Вб;
$R = 20$ Ом.

Найти ε, I_ε.

Решение. $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi N}{\Delta t} = -\frac{(\Phi_1 - \Phi_2)N}{\Delta t} =$
$= \frac{(9 \cdot 10^{-3} Вб - 7 \cdot 10^{-3} Вб)500}{5 \cdot 10^{-3} с} = 200$ В.
По закону Ома: $I_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{200 В}{20 Ом} = 10$ А.
Ответ: $\mathcal{E} = 200$ В; $I_\varepsilon = 10$ А.

№ 396

Дано:
$\Phi_1 = 1$ Вб;
$\Phi_2 = 0,4$ Вб;
$\varepsilon = 1,2$ В;
$R = 0,24$ Ом.

Найти Δt, I_ε.

Решение.
$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = -\frac{\Delta\Phi}{\varepsilon} = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{\varepsilon} = \frac{1 Вб - 0,4 Вб}{1,2 В} =$
$= 0,5$ с. По закону Ома: $I_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{1,4 В}{0,24 Ом} = 5$ А.
Ответ: $\Delta t = 0,5$ с; $I_\varepsilon = 5$ А.

№ 397

Дано:
$S = 50$ см$^2 = 0,005$ м^2;
$\alpha = 30°$;
$\Delta t = 0,02$ с $= 2 \cdot 10^{-2}$ с;
$B = 0,2$ Тл;
$B_0 = 0$ Тл.

Найти ε.

Решение. $\Phi = Bs\cos\alpha = 0,005 м^2\ 0,2 Тл \cdot \frac{1}{2} =$
$= 5 \cdot 10^{-4}$ Вб.
$\mathcal{E} = \frac{\Phi - \Phi_0}{\Delta t} = \frac{\Phi}{\Delta t} = \frac{5 \cdot 10^{-4} Вб}{2 \cdot 10^{-2} Вб} = 0,025 В = 25$ мВ.
Ответ: $\mathcal{E} = 25$ мВ.

№ 398

Дано:	Решение.
S=50 см^2 =0,005 м^2;	$\mathcal{E} = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\cdot N \Rightarrow N = -\dfrac{\varepsilon\cdot\Delta t}{\Delta\Phi}$.
α = 90°;	$\Delta\Phi = (B_2 - B_1)\, S\cos\alpha \Rightarrow$
Δt=5 мс =5 · 10^{-3} с; B_1 = 0,1 Тл; B_2 = 1,1 Тл; ε = –100 В.	$\Rightarrow N = -\dfrac{\varepsilon\cdot\Delta t}{(B_2 - B_1)\cdot S} = \dfrac{-100\,\text{В}\cdot 5\cdot 10^{-3}\,\text{с}}{(1{,}1\,\text{Тл} - 0{,}1\,\text{Тл})\cdot 0{,}005\,\text{м}^2}$ =100.
Найти N.	Ответ:N = 100.

№ 399

Дано:	Решение.
S = 10 см^2 = = 0,001 м^2; R = 1 Ом;	Согласно закону Фарадея: $\mathcal{E} = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ и закону Ома
$\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$ = 0,01 Тл/с; cos α = 1.	$\mathcal{E}$= IR, и, учитывая, что $\Phi = \Delta BS$, получаем $-\dfrac{\Delta BS}{\Delta t} = IR$. Отсюда $\text{I} = -\dfrac{\Delta BS}{\Delta tR} =$
Найти I.	= –0,01 Тл · $\dfrac{0{,}001\,\text{м}^2}{1\,\text{Ом}}$ = 10^{-5} А = 10 мкА. Ответ:I = 10 мкА.

№ 400

Дано:	Решение.
D = 20 см = 0,2 м; d = 2 мм = 2 · 10^{-3} м; I = 10 А; ρ = 1,75 · 10^{-8} Ом·м.	Воспользуемся соотношением, полученным в № 399: $-\dfrac{\Delta BS}{\Delta t} = IR$. Отсюда: $\dfrac{\Delta B}{\Delta t} = -\dfrac{IR}{S}$.
Найти $\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$. .	$R = \rho\dfrac{l}{S'} = \rho\dfrac{\pi D}{\pi d^2/4} = 4\rho\dfrac{D}{d^2}$; $S = \dfrac{\pi D^2}{4}$;

Отсюда: $\dfrac{\Delta B}{\Delta t} = -I\dfrac{4\rho D}{d^2}\cdot\dfrac{4}{\pi D^2} = -\dfrac{16I\rho}{\pi d^2 D} = -\dfrac{16\cdot 10\,\text{А}\cdot 1{,}75\cdot 10^{-8}\,\text{Ом}\cdot\text{м}}{3{,}14\cdot\left(2\cdot 10^{-3}\,\text{м}\right)^2\cdot 0{,}2\,\text{м}} \approx$–1,1 Тл/с.

Ответ: $\Delta B/\Delta t \approx$ –1,1 Тл/с.

№ 401

Дано:	Решение.
S=100 см^2=0,01 м^2; C=10 мкФ=10^{-5} Ф;	$q = C\mathcal{E}$, $\mathcal{E} = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\dfrac{\Delta BS}{\Delta t} \Rightarrow q = -\dfrac{\Delta BS}{\Delta t}C =$
$\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$ = –0,005 Тл/с.	=–(–0,005 Тл/с)·0,01 м^2·10^{-5} Ф =0,5·10^{-9} Кл=0,5 нКл. Ответ:q = 0,5 нКл.
Найти q.	

№ 402

Дано:	Решение.
$\Phi_1 = 2$ мВб $= 2 \cdot 10^{-3}$ Вб; $\Phi_2 = 10$ мВб $= 10^{-2}$ Вб; $R = 0{,}5$ Ом.	Согласно законам Ома и Фарадея, запишем:
Найти Δq.	

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R}; \quad \mathcal{E} = \frac{-(\Phi_2 - \Phi_1)}{\Delta t} \Rightarrow \Delta q = I\Delta t = \frac{-(\Phi_2 - \Phi_1)}{R} =$$

$$= \frac{-\left(10 \cdot 10^{-3}\ \text{Вб} - 2 \cdot 10^{-3}\ \text{Вб}\right)}{0{,}5\ \text{Ом}} = -16 \cdot 10^{-3}\ \text{Кл}.$$

Ответ: $\Delta q = -16 \cdot 10^{-3}$ Кл.

№ 403

Дано:
D, N, B, S, ρ;
$\alpha_1 = 0°$;
$\alpha_2 = 180°$.

Найти Δq.

Решение. $\Delta q = -\frac{\Delta\Phi N}{R}$ (см. задачу № 402).

$$\Delta\Phi = B\frac{\pi D^2}{4}\left(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1\right) = -2B\frac{\pi D^2}{4} = -\frac{B\pi D^2}{2};$$

$$R = \rho\frac{l}{S} = \rho\frac{\pi DN}{S} \Rightarrow \Delta q = \frac{B\pi D^2}{2} \cdot \frac{\rho S}{\pi DN} N = \frac{BSD}{2\rho}.$$

Ответ: $\Delta q = BSD/(2\rho)$.

№ 404

Дано:
$S = 10^3$ см^2 $= 0{,}1$ м^2;
$R = 2$ Ом;
$\alpha_1 = 0°$;
$\Delta q = 2{,}5$ мКл $= 2{,}5 \cdot 10^{-3}$ Кл;
$B = 0{,}1$ Тл.

Найти α_2.

Решение. $\Delta q = \frac{-\Delta\Phi}{R}$ (см. задачу № 402).

$\Delta\Phi = BS(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1) = BS(\cos\alpha_2 - 1)$;

$$\Delta q = \frac{BS}{R}\left(1 - \cos\alpha_2\right); \quad \cos\alpha_2 = 1 - \frac{R\Delta q}{BS} =$$

$$= 1 - \frac{2\ \text{Ом} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3}\ \text{Кл}}{0{,}1\ \text{Тл} \cdot 0{,}1\ \text{м}^2} = 0{,}5; \quad \alpha_2 = 60°.$$

Ответ: $\alpha_2 = 60°$.

№ 405

Дано:
$S = 1$ см^2 $= 1 \cdot 10^{-4}$ м^2;
$R = 1$ мОм $= 10^{-3}$ Ом;
$\frac{\Delta B}{\Delta t} = 10^{-2}$ Тл/с
$\Delta t = 1$ с.

Найти Q.

Решение.
По закону Джоуля-Ленца: $Q = I^2R\Delta t$.

$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta BS}{\Delta t}$. По закону Ома:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} \Rightarrow I = -\frac{\Delta BS}{R\Delta t} \Rightarrow Q = \left(\frac{\Delta B}{\Delta t}\right)^2 \frac{S^2\Delta t}{R} =$$

$$= \frac{(10^{-2}\ \text{Тл/с})^2 \cdot (10^{-4}\ \text{м}^2)^2 \cdot 1\ \text{с}}{10^{-3}\ \text{Ом}} = 10^{-9}\ \text{Дж}.$$

Ответ: $Q = 10^{-9}$ Дж.

№ 406

Дано:	Решение.
$l = 2$ м; $B_x = 2\cdot10^{-5}$ Тл; $R = 1$ Ом; $\cos\alpha = 1$.	$\Delta q = \dfrac{-\Delta\Phi}{R}$ (см. задачу № 402).
Найти Δq.	Площадь получившегося контура: $S = \left(\dfrac{1}{4}l\right)^2 = \dfrac{1}{16}l^2$; $\Delta\Phi = B_x S\cos\alpha = \dfrac{B_x l^2}{16} \Rightarrow$ $\Rightarrow \Delta q = -\dfrac{B_x l^2}{16R} = -\dfrac{2\cdot10^{-5}\text{ Тл}\cdot4\text{ м}^2}{16\cdot1\text{ Ом}} = -5\cdot10^{-4}$ Кл. Ответ: $Q = -5\cdot10^{-4}$ Кл.

№ 407.

Задача решена в учебнике.

№ 408

Дано:	Решение.
$L = 50$ м; $v = 792$ км/ч = = 220 м/с; $B = 5\cdot10^{-5}$ Тл; $\sin\alpha = 1$.	$\mathcal{E} = Blv\sin\alpha$ (см. задачу № 407). $\mathcal{E} = 5\cdot10^{-5}$ Тл $\cdot$ 50 м $\cdot$ 220 м/с = 0,55 В. Ответ: $\mathcal{E} = 0{,}55$ В.
Найти ε.	

№ 409.

Дано:	Решение.
$l = 1$ м; $B = 0{,}1$ Тл; $\mathcal{E} = 1$ В; $\sin\alpha = 1$.	$\mathcal{E} = Blv\sin\alpha$ (см. задачу № 407). Отсюда: $v = \dfrac{\mathcal{E}}{Bl\sin\alpha} = \dfrac{1\text{ В}}{0{,}1\text{ Тл}\cdot1\text{ м}\cdot1} = 10$ м/с.
Найти v.	Ответ: $v = 10$ м/с.

№ 410.

Дано:	Решение.
$l = 1$ м; $B = 0{,}01$ Тл; $v = 10$ м/с; $R = 2$ Ом; $t = 1$с; $\sin\alpha = 1$.	Закон Джоуля – Ленца: $Q = I^2Rt$; Закон Ома: $I = \dfrac{\mathcal{E}}{R}$; $\mathcal{E} = Blv\sin\alpha = Blv$ (см. задачу № 407). Отсюда: $I = \dfrac{Blv}{R} \Rightarrow$ $\Rightarrow Q = \dfrac{B^2l^2v^2\cdot t}{R} = \dfrac{(0{,}01\text{ Тл}\cdot1\text{ м}\cdot10\text{ м/с})^2\cdot1\text{ с}}{2\text{ Ом}} = 0{,}005$ Дж $= 5$ мДж.
Найти Q.	Ответ: $Q = 5$ мДж.

№ 411.

Дано:	Решение.
$l = 0{,}5$ см = $= 5 \cdot 10^{-3}$ м; $m = 1$ г = $= 10^{-3}$ кг; $v = 1$ м/с; $B = 0{,}01$ Тл; $\sin\alpha = 1$.	На проводник действуют две уравновешивающие друг друга сила Ампера $F_A = BIl\sin\alpha$ и сила тяжести $F_т = mg$, т.е. $F_A = F_т$; $BIl = mg$; $I = \frac{mg}{Bl}$. Согласно закону Ома и результату задачи № 407, получаем: $R = \frac{\mathcal{E}}{I}$; $\mathcal{E} = Blv\sin\alpha$;
Найти R.	

$$R = \frac{Blv}{I} = \frac{B^2l^2v}{mg} = \frac{(0{,}01\,\text{Тл} \cdot 5\,\text{м} \cdot 10^{-3}\,\text{м})^2 \cdot 1\,\text{м/с}}{10^{-3}\,\text{кг} \cdot 10\,\text{м/с}^2} \approx 2{,}5 \cdot 10^{-7}\text{ Ом}.$$

Ответ: $R \approx 2{,}5 \cdot 10^{-7}$ Ом.

№ 412.

Дано:	Решение.
l, B, v, R, $\sin\alpha = 1$.	На проводник AB действует сила Ампера, которая равна компенсирующей её силе F: $F_A = BIl\sin\alpha = F$.
Найти F.	Согласно закону Ома и результату задачи № 407, получаем:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{Blv\sin\alpha}{R} = \frac{Blv}{R} \Rightarrow F = \frac{B^2l^2v}{R}.$$

Ответ: $F = \frac{B^2l^2v}{R}$.

№ 413.

Дано:	Решение.
$\Delta I/\Delta t = 2$ А/с; $L = 200$ мГн = 0,2 Гн.	$\mathcal{E}_s = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -0{,}2\text{ Гн} \cdot 2\text{ А/с} = -0{,}4\text{ В}.$
Найти $\mathcal{E}_s$.	Ответ: $\mathcal{E}_s = -0{,}4$ В.

№ 414.

Дано:	Решение.
$\Delta t = 0{,}1$ с; $\Delta I = -10$ А; $\mathcal{E}_s = 60$ В.	$\mathcal{E}_s = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow L = -\mathcal{E}_s\frac{\Delta t}{\Delta I} = -60\text{ В} \cdot \frac{0{,}1\text{ с}}{-10\text{ А}} = 0{,}6\text{ Гн}.$
Найти L.	Ответ: $L = 0{,}6$ Гн.

№ 415.

Дано:	Решение.
$L = 0{,}1$ мГн = $= 0{,}1 \cdot 10^{-3}$ Гн; $W_М = 0{,}2$ мДж = $= 0{,}2 \cdot 10^{-3}$ Дж.	$W_м = \frac{LI^2}{2} \Rightarrow I = \sqrt{\frac{2W_м}{L}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0{,}2 \cdot 10^{-3}\text{ Дж}}{0{,}1 \cdot 10^{-3}\text{ Гн}}} = 2\text{ А}.$ Ответ: $I = 2$ А.
Найти I.	

№ 416.

Дано:	Решение.
I = 10 А; Φ = 0,5 Вб.	$W_м = \dfrac{LI^2}{2}$; $\Phi = LI$; $\Rightarrow W_м = \dfrac{\Phi I}{2} = \dfrac{10\ А \cdot 0{,}5\ Вб}{2}$ = 2,5 Дж.
Найти $W_м$.	Ответ: $W_м$ = 2,5 Дж.

№ 417.

Дано:	Решение.
$x = 0{,}5\cos\left(4\pi t + \dfrac{\pi}{3}\right)$.	По определению $x(t) = x_0\cos(\omega t + \varphi_0) = x_0\cos\varphi$, т.е. x_0 = 0,5 м; $\omega = 4\pi$ с$^{-1}$; $\varphi_0 = \dfrac{\pi}{3}$; $\varphi = 4\pi t + \pi/3$.
Найти x_0, ω, ν, T, φ, φ_0, $v_x = x'$, v_m, $a_x = v_x'$, a_m.	$\omega = 2\pi\nu \Rightarrow \nu = \omega/2\pi$ = 2 Гц; $T = 1/\nu$ = 0,5 с;

$$v_x = x' = 0{,}5\left(\cos\left(4\pi t + \frac{\pi}{3}\right)\right)' = -2\pi\sin\left(4\pi t + \frac{\pi}{3}\right).$$

По определению $v_m = -2\pi$; $a_x = v_x' = -2\pi\left(\sin\left(4\pi t + \dfrac{\pi}{3}\right)\right)' = -8\pi^2\cos\left(4\pi t + \dfrac{\pi}{3}\right)$.

По определению $a_m = -8\pi^2$.

Ответ: x_0 = 0,5 м; $\omega = 4\pi$ с$^{-1}$; $\varphi_0 = \dfrac{\pi}{3}$; $\varphi = 4\pi t + \pi/3$; ν = 2 Гц; T = 0,5 с;

$v_x = -2\pi\sin\left(4\pi t + \dfrac{\pi}{3}\right)$; $v_m = -2\pi$; $a_x = -8\pi^2\cos\left(4\pi t + \dfrac{\pi}{3}\right)$; $a_m = -8\pi^2$.

№ 418.

Дано:	Решение.
$x = 2\sin 5\pi t$.	По определению $x(t) = x_0\cos(\omega t + \varphi_0) = x_0\cos\varphi$, т.е.
Найти x_0, ω, ν, T, φ, φ_0.	x_0 = 2 м; $\omega = 5\pi$ с$^{-1}$; $\varphi = 5\pi t$; $\varphi_0 = 0$; $\nu = \dfrac{\omega}{2\pi}$ = 2,5 Гц; $T = \dfrac{1}{\nu} = \dfrac{2}{5}$ = 0,4 с. Ответ: x_0 =2; $\omega = 5\pi$; $\varphi = 5\pi t$; $\varphi_0 = 0$;ν = 2,5; T =0,4.

№ 419.

Дано:	Решение.
S=200 см^2=0,02 м^2; ω = 50 Гц; B = 0,4 Тл.	Решение. Магнитный поток будет изменяться по закону косинуса : $\Phi(t) = \Phi_0\cos(\omega t + \varphi_0)$, где $\Phi_0 = BS$ = 0,4 Тл · 0,02 м^2 = 0,008 Вб — амплитуда магнитного потока; ω = 50 Гц — циклическая частота;
Найти $\Phi(t)$, $\mathcal{E}(t)$.	

$\varphi_0 = 0$ — начальная фаза $\Rightarrow \Phi(t) = 0{,}008\cos(50t)$. ЭДС меняется по закону: $\mathcal{E}(t) = -\Phi'(t) = BS\omega\sin(\omega t + \varphi_0)$; где $BS\omega = 0{,}4$ Тл · 0,02 м^2 · 50 Гц = 0,4 В — амплитуда ЭДС; ω = 50 Гц — циклическая частота; $\varphi_0 = 0$ — начальная фаза колебаний $\Rightarrow \mathcal{E}_i(t) = 0{,}4\sin(50t)$.

Ответ: $\Phi(t) = 0{,}008\cos(50t)$; $\mathcal{E}(t) = 0{,}4\sin(50t)$.

№ 420.

Дано:	Решение.
S = 100 см^2 = = 0,01 м^2; ν = 50 Гц; B = 0,2 Тл.	$\mathcal{E}(t) = BS\omega\sin(\omega t + \varphi_0)$; где $BS\omega = \mathcal{E}_m$ — амплитуда ЭДС колебаний. $\omega = 2\pi\nu \Rightarrow \mathcal{E}_m = 2\pi\nu BS \approx$ $\approx 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50$ Гц · 0,2 Тл · 0,01 м^2 ≈ 0,63 В.
Найти $\mathcal{E}_m$.	Ответ: $\mathcal{E}_m \approx 0{,}63$ В.

№ 421.

Дано:	Решение.
$\mathcal{E}(t) = 2\cos\left(40\pi t + \dfrac{\pi}{6}\right)$.	Перепишем закон изменения ЭДС в стандартном виде: $\mathcal{E}(t) = 2\sin\left(40\pi t + \dfrac{\pi}{6} + \dfrac{\pi}{2}\right) =$
Найти $\mathcal{E}_m$, ω, ν, T, φ, φ_0.	$= 2\sin(40\pi t + 2\pi/3)$.

Здесь $\mathcal{E}_m$ = 2 В — амплитуда ЭДС; $\omega = 40\pi$ с$^{-1}$ — циклическая частота; $\varphi = 40\pi t + 2\pi/3$ — фаза; $\varphi_0 = 2\pi/3$ — начальная фаза, $\nu = \omega/2\pi$ = 20 Гц, $T = 1/\nu$ = 1/20Гц = 0,05 с.

Ответ: $\mathcal{E}_m$=2 В, $\omega = 40\pi$ с$^{-1}$; $\varphi = 40\pi t + 2\pi/3$; $\varphi_0 = 2\pi/3$; ν=20 Гц; T=0,05 с.

№ 422.

Дано:	Решение.
$I(t) = 0{,}5\cos\left(100\pi t + \dfrac{\pi}{6}\right)$.	$I(t) = 0{,}5\cos\left(100\pi t + \dfrac{\pi}{6}\right)$, здесь I_m = 0,5 А
Найти I_m, ω, ν, T, φ, φ_0.	— амплитуда колебаний; $\omega = 100\pi$ с$^{-1}$ — циклическая частота;

$\varphi = 100\pi t + \dfrac{\pi}{6}$ — фаза; $\varphi_0 = \dfrac{\pi}{6}$ — начальная фаза.

$\nu = \dfrac{\omega}{2\pi}$ = 50 Гц; $T = \dfrac{1}{\nu} = \dfrac{1}{50\text{ Гц}}$ = 0,02 с.

Ответ: I_m = 0,5 А; $\omega = 100\pi$; $\varphi = 100\pi t + \dfrac{\pi}{6}$; $\varphi_0 = \dfrac{\pi}{6}$; ν =50 Гц; T = 0,02 с.

№ 423.

Дано: $q(t) = 10^{-6}\sin 500t$. Найти q_m, ω, ν, T, φ, φ_0, $I = q' = \frac{dq}{dt}$, I_m.	Решение. $q(t) = 10^{-6}\sin 500t$, здесь $q_m = 10^{-6}$ Кл; $\omega = 500$ Гц; $\varphi = 500t$; $\varphi_0 = 0$. $\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{500\ \text{с}^{-1}}{2\pi} \approx 80$ Гц; $T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{80\ \text{Гц}} = \frac{1}{80}$ с.

$I = q'(t) = 10^{-6} \cdot 500\cos 500t = 5 \cdot 10^{-4}\cos 500t$, здесь $I_m = 5 \cdot 10^{-4}$ А.

Ответ: $q_m=10^{-6}$ Кл; $\omega=500$ с$^{-1}$; $\varphi=500t$; $\varphi_0 = 0$; $\nu\approx 80$ Гц; $T=1/80$с; $I=5\cdot 10^{-4}\cos 500t$; $I_m = 5 \cdot 10^{-4}$ А.

№ 424.

Дано: $U(t) = 10\sin 200t$. Найти U_m, ω, ν, T, φ, φ_0.	Решение. $U(t) = 10\sin 200t$, здесь $U_m = 10$ В — амплитуда напряжения; $\omega = 200$ с$^{-1}$; $\varphi = 200t$; $\varphi_0 = 0$.

$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{200\ \text{Гц}}{2\pi} \approx 30$ Гц; $T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{30\ \text{Гц}} \approx 0{,}33$ с.

Ответ: $U_m = 10$; $\omega = 200$ Гц; $\varphi = 200t$; $\varphi_0 = 0$; $\nu \approx 30$ Гц; $T \approx 0{,}33$ с.

№ 425.

По графику (рис 288 учебника), определяем: $I_m = 2$А; $T = 8$ мс $= 0{,}008$ с; $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}008\ \text{с}} = 125$ Гц. Циклическая частота: $\omega = 2\pi\nu = 250\pi$ с$^{-1}$. Ток изменяется по закону косинуса: $I(t) = I_m\cos(\omega t+\varphi_0)$, где $\varphi_0 = 0 \Rightarrow I(t) = 2\cos(250\pi t)$.

№ 426.

По графику (рис 289 учебника), определяем: $\mathcal{E}_m = 4$ В; $T = 4 \cdot 10^{-2}$ с; $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{4\cdot 10^{-2}\ \text{с}} = 25$ Гц. Циклическая частота: $\omega = 2\pi\nu = 50\pi$ с$^{-1}$. ЭДС изменяется по закону синуса: $\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_m\sin(\omega t + \varphi_0)$, где $\varphi_0 = 0 \Rightarrow \mathcal{E}(t) = 4\sin(50\pi t)$.

№ 427.

Дано: $I_m = 0{,}14$ А; $U_m = 28$ В. Найти R, $I_д$, $U_д$, $\overline{P}$.	Решение. В соответствии с законом Ома: $I_m = \frac{U_m}{R} \Rightarrow R = \frac{U_m}{I_m} = \frac{28\ \text{В}}{0{,}14\ \text{А}} = 200$ Ом.

$I_д = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{0{,}14\ \text{А}}{\sqrt{2}} \approx 0{,}1$ А; $U_д = \frac{U_д}{\sqrt{2}} = \frac{28\ \text{В}}{\sqrt{2}} \approx 20$ В.

$\overline{P} = I_д^2 R = (0{,}1\ \text{А})^2 \cdot 200$ Ом $= 2$ Вт.

Ответ: $R = 200$ Ом; $I_д \approx 0{,}1$ А; $U_д \approx 20$ В; $\overline{P} = 2$ Вт.

№ 428.

Дано:	Решение.
$U_д = 10$ В;	В соответствии с законом Ома:
$I_д = 0{,}5$ А.	$I_д = \dfrac{U_д}{R} \Rightarrow R = \dfrac{U_д}{I_д} = \dfrac{10\text{ В}}{0{,}5\text{ А}} = 20$ Ом.
Найти R, U_m, I_m, $\overline{P}$.	

$I_m = \sqrt{2} I_д = \sqrt{2} \cdot 0{,}5\text{ А} \approx 0{,}7$ А; $U_m = \sqrt{2} U_д = \sqrt{2} \cdot 10\text{ В} \approx 14{,}1$ В.

$\overline{P} = I_д^2 R = (0{,}5\text{ А})^2 \cdot 20\text{ Ом} = 5$ Вт.

Ответ: $R = 20$ Ом; $I_m \approx 0{,}7$ А; $U_m \approx 14{,}1$ В; $\overline{P} = 5$ Вт.

№ 429.

Дано:	Решение.
$\varphi = \pi/6$;	$I = I_m \sin\varphi$; $I_д = \dfrac{I_m}{\sqrt{2}} \Rightarrow I_д = \dfrac{I}{\sqrt{2}\sin\varphi} = \dfrac{6\text{ А}}{\sqrt{2}\cdot 0{,}5} \approx 8{,}5$ А.
$I = 6$ А.	
Найти $I_д$.	Ответ: $I_д \approx 8{,}5$ А.

№ 430.

Дано:	Решение.
$\varphi_2 = \dfrac{\pi}{4}$;	$\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_m \sin(\omega t + \varphi_0)$; $\varphi_0 = 0$; $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$; $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_m \sin\dfrac{2\pi}{T}t$;
$\mathcal{E}_1 = 50$ В;	$\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_m \sin\varphi_2 = \dfrac{\mathcal{E}_1 \sin\varphi_2}{\sin(2\pi t/T)} = \dfrac{50\text{ В}\cdot\sin(\pi/4)}{\sin(\pi/3)} \approx 41$ В.
$t = T/6$.	
Найти $\mathcal{E}_2$.	Ответ: $\mathcal{E}_2 \approx 41$ В.

№ 431.

Дано:	Решение.
$U_д$; $\nu = 50$ Гц;	$U = U_0 \sin\omega t$; $U_д = U_0 \sin\omega t_{1,2}$, т.к. на полупериоде
$U \ge U_д$ — лампа горит;	$\sin\omega t = \dfrac{U_д}{U_0}$ два раза.
$U \le U_д$ — лампа не горит.	$U_д = \dfrac{U_0}{\sqrt{2}} \Rightarrow \sin\omega t_{1,2} = \dfrac{1}{\sqrt{2}}$; $\omega t_1 = \dfrac{\pi}{4}$; $\omega t_2 = \dfrac{3\pi}{4}$;
Найти $I_д$.	

$2\pi\nu t_1 = \dfrac{\pi}{4}$; $2\pi\nu t_2 = \dfrac{3\pi}{4}$; $t_1 = \dfrac{1}{8\nu}$; $t_1 = \dfrac{3}{8\nu}$;

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{3}{8\nu} - \frac{1}{8\nu} = \frac{1}{4\nu} = \frac{1}{4\cdot 50\,\text{Гц}} = 0{,}005\text{ с} = 5\text{ мс}.$$

Ответ: $\Delta t = 5$ мс.

№ 432.

Дано:	Решение.
$U_д = 71$ В; $T = 0{,}02$ с; $U_З = U_Г = 86{,}7$ В.	$U_0 = U_д\sqrt{2}$; $\varphi_0 = 0$;
Найти Δt.	$U = U_0 \sin\omega t = U_д\sqrt{2}\sin\dfrac{2\pi}{T}t$;

Зажигание и гашение происходит в моменты времени t_n, когда модуль мгновенного значения напряжения равен $U_З$ и $U_Г$ соответственно, т.е.

$$\left|\sin\frac{2\pi}{T}t_n\right| = \frac{U_З}{\sqrt{2}U_д} \approx 0{,}867 \approx \frac{\sqrt{3}}{2};\quad \frac{2\pi}{T}t_n \approx \pi n \pm \frac{\pi}{3};\quad t_n = \frac{nT}{2} \pm \frac{T}{6}.$$

В точке $t_0 = \dfrac{0\cdot T}{2} + \dfrac{T}{6} = \dfrac{T}{6}$ происходит зажигание, в точке $t_1 = \dfrac{1\cdot T}{2} - \dfrac{T}{6} = \dfrac{T}{3}$ — гашения. Отсюда: $\Delta t = t_1 - t_0 = \dfrac{T}{3} - \dfrac{T}{6} = \dfrac{T}{6}$.

Ответ: $\Delta t = \dfrac{T}{6}$.

№ 433.

Дано:	Решение.
$\nu = 200$ Гц; $L = 2$ Гн; $I_m = 10$ А.	Закон Ома: $I_д = \dfrac{U_д}{X_L} \Rightarrow U_д = I_д X_L$; $X_L = \omega L$;
Найти $U_д$.	$U_д = I_д\,\omega L$; $I_д = \dfrac{I_m}{\sqrt{2}}$; $\omega = 2\pi\nu \Rightarrow U_д = \sqrt{2}\pi\nu L I_m =$ $= \sqrt{2}\cdot\pi\cdot 200\,Гц\cdot 2\,Гн\cdot 10\,А = 1800$ В.
	Ответ: $U_д = 1800$ В.

№ 434.

Дано:	Решение.
$\nu = 50$ Гц; $L^* = 1{,}27$ Гн; $I_m = 0{,}5$ А; $U_д = 1{,}4$ В.	$U_д = \sqrt{2}\pi\nu L I_m$ (см. задачу 433) $\Rightarrow L = \dfrac{U_д}{\sqrt{2}\pi\nu I_m} \Rightarrow$
Найти L^*/L.	$\dfrac{L^*}{L} = \dfrac{\sqrt{2}L^*\pi\nu I_m}{U_д} = \dfrac{\sqrt{2}\cdot\pi\cdot 1{,}27\,Гн\cdot 50\,Гц\cdot 0{,}5\,А}{1{,}4\,В} \approx 100.$
	Ответ: $L^*/L \approx 100$.

№ 435.

Дано:	Решение.
$C = 2$ Ф; $T = 0{,}1$ с; $I_д = 0{,}5$ А.	$I_m = U_m\,\omega C$; $\omega = \dfrac{2\pi}{T} \Rightarrow U_m = \dfrac{I_m T}{2\pi C}$. $I_m = \sqrt{2}I_д \Rightarrow$
Найти U_m.	$\Rightarrow U_m = \dfrac{I_д T}{\sqrt{2}\pi C} = \dfrac{0{,}5\,А\cdot 0{,}1\,с}{\sqrt{2}\cdot\pi\cdot 2\,Ф} \approx 0{,}006$ В.
	Ответ: $U_m \approx 0{,}006$ В.

№ 436.

Дано:	Решение.
$\nu = 100$ Гц;	$U_m = \dfrac{I_д T}{\sqrt{2}\pi C}$ (см. задачу 435); $T = \dfrac{1}{\nu} \Rightarrow$
$I_д = 0{,}2$ А;	$\Rightarrow C = \dfrac{I_д}{\sqrt{2}U_m \pi\nu} = \dfrac{0{,}2\text{ А}}{\sqrt{2}\cdot 200\text{ В}\cdot 3{,}14\cdot 100\text{ Гц}} \approx 2{,}2$ мкФ.
$U_m = 200$ В.	Ответ: $C \approx 2{,}2$ мкФ.
Найти C.	

№ 437.

Дано:	Решение.
$C = 800$ пФ = $= 0{,}8 \cdot 10^{-9}$ Ф;	Согласно формуле Томсона: $T = 2\pi\sqrt{LC} =$
$L = 2$ мкГн = $= 2 \cdot 10^{-6}$ Гн.	$= 2\pi\sqrt{0{,}8\cdot 10^{-9}\cdot 2\cdot 10^{-6}\text{ Гн}\cdot\text{Ф}} \approx 251 \cdot 10^{-9} = 251$ нс.
Найти T.	Ответ: $T = 251$ нс.

№ 438.

Дано:	Решение.
$L = 3$ мГн = $= 3 \cdot 10^{-3}$ Гн;	Согласно формуле Томсона: $T = 2\pi\sqrt{LC}$.
$d = 0{,}3$ мм = $= 0{,}3 \cdot 10^{-3}$ м;	$C_1 = \dfrac{\varepsilon_0 S}{d} = \dfrac{\varepsilon_0 \pi R^2}{d}$; $T_1 = 2\pi R\sqrt{\dfrac{L\varepsilon_0\pi}{d}} =$
$R = 1{,}2$ см = $= 1{,}2 \cdot 10^{-2}$ м;	$= 2\pi\cdot 1{,}2\cdot 10^{-2}\text{ м}\cdot\sqrt{\dfrac{3\cdot 10^{-3}\text{ Гн}\cdot 8{,}85\text{ Кл}^2/(\text{Н}\cdot\text{м}^2)\cdot\pi}{0{,}3\cdot 10^{-3}\text{ м}}} \approx$
$\varepsilon = 4$.	$\approx 1{,}26 \cdot 10^{-6}$ с = 1,26 мкс.
Найти T, $\dfrac{T_2}{T_1}$.	

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon\pi R^2}{d};\ T_2 = 2\pi R\sqrt{\frac{L\varepsilon_0\varepsilon\pi}{d}};\ \frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\varepsilon} = \sqrt{4} = 2.$$

Ответ: $T \approx 1{,}26$ мкс; $\dfrac{T_2}{T_1} = 2$.

№ 439.

Дано:	Решение.
$L_1 = 0{,}1$ мкГн = 10^{-7} Гн;	Согласно формуле Томсона:
$L_2 = 10$ мкГн = 10^{-5} Гн;	$T = 2\pi\sqrt{LC}$, $\nu = \dfrac{1}{T} \Rightarrow \nu = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
$C_1 = 40$ пФ = $4 \cdot 10^{-11}$ Ф;	
$C_2 = 4000$ пФ = $4 \cdot 10^{-9}$ Ф;	
Найти ν_1, ν_2.	

$$\nu_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-7}\text{ Гн}\cdot 4\cdot 10^{-11}\text{ Ф}}} \approx 8 \cdot 10^7\text{ Гц} = 80\text{ МГц};$$

$$\nu_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-5}\ \text{Гн}\cdot 4\cdot 10^{-9}\ \Phi}} \approx 8\cdot 105\ \text{Гц} = 0{,}8\ \text{МГц}.$$

Ответ: диапазон частот свободных колебаний в данном контуре от $\nu_2 = 0{,}8$ МГц до $\nu_1 = 80$ МГц.

№ 440.

Дано:	Решение.
C =10 мкФ = 10^{-5} Ф;	Согласно формуле Томсона:
$\nu_1 = 400$ Гц; $\nu_2 = 500$ Гц.	$T = 2\pi\sqrt{LC}$, $\nu = \frac{1}{T} \Rightarrow L = \frac{1}{4\pi^2\nu^2 C}$.
Найти L_1, L_2.	

$$L_1 = \frac{1}{4\pi^2\cdot(400\ \text{Гц})^2\cdot 10^{-5}\ \Phi} \approx 1{,}6\cdot 10^{-2}\ \text{Гн} = 16\ \text{мГн};$$

$$L_2 = \frac{1}{4\pi^2\cdot(500\ \text{Гц})^2\cdot 10^{-5}\ \Phi} \approx 10^{-2}\ \text{Гн} = 10\ \text{мГн};$$

Ответ: диапазон индуктивности катушки в данном контуре от $L_2 = 10$ мГн до $L_1 = 16$ мГн.

№ 441.

Дано:	Решение.
$L = 0{,}2$ Гн;	$W = \frac{LI_m^2}{2}$; $W_L = \frac{LI^2}{2} = \frac{L}{2}\left(\frac{I_m}{2}\right)^2 = \frac{LI_m^2}{8} =$
$I_m = 40$ мА =	
$= 4\cdot 10^{-2}$ А;	$= \frac{0{,}2\ \text{Гн}\cdot\left(4\cdot 10^{-2}\ \text{А}\right)^2}{8} = 4\cdot 10^{-5} = 40$ мкДж.
$U = 2I$.	
Найти W_C, W_L.	

$$W_C = W - W_L = \frac{LI_m^2}{2} - \frac{LI_m^2}{8} = \frac{3LI_m^2}{8} = \frac{3\cdot 0{,}2\ \text{Гн}\cdot\left(4\cdot 10^{-2}\ \text{А}\right)^2}{8} =$$

$= 1{,}2\cdot 10^{-4}$ Дж = 120 мкДж.

Ответ: $W_L = 40$ мкДж, $W_C = 120$ мкДж.

№ 442.

Дано:	Решение.
C=0,01 мкФ = 10^{-86} Ф;	Согласно закону сохранения энергии:
$q = 1$ мкКл = 10^{-6} Кл.	$Q = W_C = \frac{q^2}{2C}$, где W_C — общая энергия системы в начальный момент времени (энергия на конденсаторе).
Найти Q.	

$$Q = \frac{(10^{-6}\ \text{Кл})^2}{2\cdot 10^{-8}\ \Phi} = 5\cdot 10^{-5}\ \text{Дж} = 50\ \text{мкДж}.$$

Ответ: $Q = 50$ мкДж.

№ 443.

Дано: P=100 кВт = 10^5 Вт; R = 10 Ом; U =5 кВ=5 · 10^3 В.	Решение. $P = P - \Delta P$, где $\Delta P = Q/t$ — потери мощности на нагревание проводов. Согласно закону Джоуля – Ленца: $Q = I^2Rt$. По закону Ома: $I = U/R$. Отсюда:
Найти $\dfrac{P-\Delta P}{P}$.	$Q = \dfrac{U^2 t}{R} \Rightarrow \Delta P = \dfrac{U^2}{R}$;

$$\frac{P-\Delta P}{P} = 1 - \frac{\Delta P}{P} = 1 - \frac{U^2}{RP} = 1 - \frac{5 \cdot 10^3\ \text{В}}{10\ \text{Ом} \cdot 10^5\ \text{Вт}} = 0{,}995 \text{ или } 99{,}5\%.$$

Ответ: $\dfrac{P-\Delta P}{P} = 0{,}995$ или 99,5 %.

№ 444.

Дано: U = 30 В; U' = 120 В; N_2 = 1200.	Решение. Пусть напряжение в сети U^*, тогда:
Найти N_1.	$\dfrac{U^*}{U} = \dfrac{N_1}{N_2}$; $\dfrac{U^*}{U'} = \dfrac{N_2}{N_1} \Rightarrow \dfrac{U'}{U} = \dfrac{N_1^2}{N_2} \Rightarrow$

$$\Rightarrow N_1 = N_2\sqrt{\frac{U'}{U}} = 1200 \cdot \sqrt{\frac{120\ \text{В}}{30\ \text{В}}} = 2400.$$

Ответ: N_1 = 2400.

№ 445.

Дано: λ = 628 нм =6,28 · 10^{-7} м.	Решение.
Найти k.	$k = \dfrac{2\pi}{\lambda} = \dfrac{2\pi}{6{,}28 \cdot 10^{-7}\ \text{м}} \approx 10^7\ \text{м}^{-1}$. Ответ: $k \approx 10^7\ \text{м}^{-1}$.

№ 446.

Дано: k = 628 м^{-1}.	Решение.
Найти n.	$k = 2\pi n \Rightarrow n = \dfrac{k}{2\pi} = \dfrac{628\ \text{м}^{-1}}{2\pi} = 100\ \text{м}^{-1}$. Ответ: $n = 100\ \text{м}^{-1}$.

№ 447.

Дано: λ = 2 м; Δx = 50 см = 0,5 м.	Решение. $\lvert\Delta\varphi\rvert = \dfrac{2\pi}{\lambda}\Delta x = \dfrac{2\pi}{2\ \text{м}} \cdot 0{,}5\ \text{м} = \dfrac{\pi}{2}$.
Найти $\lvert\Delta\varphi\rvert$.	Ответ: $\lvert\Delta\varphi\rvert = \dfrac{\pi}{2}$.

№ 448.

Дано:
ν, v, Δx.

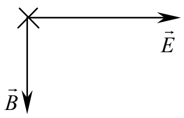
Найти $|\Delta\varphi|$.

Решение.

$$|\Delta\varphi| = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta x;\ \lambda = \frac{v}{\nu} \Rightarrow |\Delta\varphi| = \frac{2\pi\nu}{v}\cdot\Delta x.$$

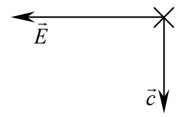
Ответ: $|\Delta\varphi| = \dfrac{2\pi\nu}{v}\cdot\Delta x.$

№ 449.



Скорость направлена от нас.
Рис. 143.

№ 450.



Вектор направлен от нас.
Рис. 144.

№ 451.

Дано:
L = 1,34 нГн =
= $1{,}34 \cdot 10^{-9}$ Гн;
C = 750 пФ =
= $7{,}5 \cdot 10^{-10}$ Ф.

Найти λ.

Решение.
Согласно формуле Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC},\ T = \frac{1}{\nu};\ \nu = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow \lambda = 2\pi v\cdot\sqrt{LC} =$$

$$= 2\pi\cdot 3\cdot 10^{8}\ \text{м/с}\cdot\sqrt{7{,}5\cdot 10^{-10}\ \text{Ф}\cdot 1{,}34\cdot 10^{-9}\ \text{Гн}} \approx$$

$\approx$ 18,9 м.

Ответ: λ =18,9 км.

№ 452.

Дано:
λ_1 = 25 м;
λ_2 = 200 м;
$\varepsilon_1 = \varepsilon_2$;
$S_1 = S_2$.

Найти $\dfrac{d_1}{d_2}$.

Решение.

$\lambda = 2\pi v\cdot\sqrt{LC}$ (см. задачу 451). Для плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon_0\varepsilon S}{d} \Rightarrow \frac{d_1}{d_2} = \frac{\lambda_2^2}{\lambda_1^2} = \frac{(200\ \text{м})^2}{(25\ \text{м})^2} = 64.$$

Ответ: $\dfrac{d_1}{d_2} = 64.$

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа № 1. Измерение ускорения тела при равноускоренном движении

Цель работы: определить ускорение свободного шарика, скатывающегося по наклонному желобу.

Оборудование: желоб, шарик, штатив с муфтой и лапкой, металлический цилиндр, измерительная лента, метроном (один на весь класс) или секундомер.

1. Пусть шарик проходит по наклонному желобу путь s за время t с ускорением a. Тогда между этими величинами имеет место соотношение: $s = at^2/2$, откуда следует $a = 2s/t^2$ Последняя формула и будет использоваться в этой лабораторной работе.

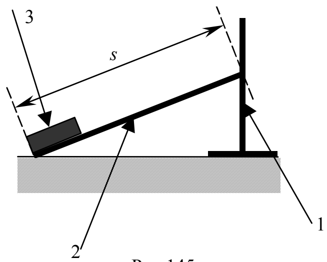


Рис 145.

2. Соберем установку, приведенную на рис. 145, где 1 — штатив, 2 — желоб, 3 — цилиндр.

С помощью измерительной ленты определим s. Для определенности пусть s = 50 см = 0,5 м. Без начальной скорости отпустим шарик в верхней точке желоба. С помощью метронома или секундомера будем определять время движения до удара о дно цилиндра.

3. Примерные численные данные приведены в таблицах. В первой таблице приведены данные, полученные с использованием метронома, во второй — с использованием секундомера. Пользуясь, выведенной в первом пункте формулой $a = 2s/t^2$ рассчитаем значение ускорения и оценим ошибку.

	1-й опыт	2-й опыт	3-й опыт	4-й опыт	5-й опыт	Средние
s, м	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
N	4	4	4	3	4	
t, с	2	2	2	1,5	2	1,9

$$a = \frac{2 \cdot 0{,}5\ \text{м}}{(1{,}9\ \text{с})^2} = 0{,}27\ \text{м/с}^2.$$

	1-й опыт	2-й опыт	3-й опыт	4-й опыт	5-й опыт	Средние
s, м	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
t, с	2,05	2,05	1,9	2	2	2

$$a = \frac{2 \cdot 0{,}5\ \text{м}}{(2\ \text{с})^2} = 0{,}25\ \text{м/с}^2.$$

Лабораторная работа № 2.
Измерение коэффициента трения скольжения

Цель работы: измерить коэффициент трения деревянного бруска по деревянной линейке.

Оборудование: деревянная линейка, деревянный брусок, динамометр.

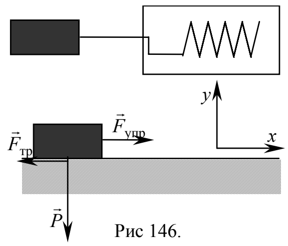


Рис 146.

1. Пусть брусок весом P тащат по поверхности с коэффициентом трения μ, а динамометр показывает силу $F_{упр}$ (см. рис. 146).

Запишем уравнение движения $m\vec{a} = \vec{F}_{упр} + \vec{F}_{тр} + \vec{N}$, где $\vec{N} = -\vec{P}$ — нормальная реакция опоры, причем $F_{тр} = \mu N$. Если брусок движется равномерно, то проекция уравнения движения на ось x запишется в виде $0 = -\mu N + F_{упр}$ или $\mu = F_{упр}/P$. Учитывая $P = mg$, $\mu = F_{упр}/mg$.

2. Взвесим брусок. Пусть его масса m = 250 г.

3. Примерные численные данные приведены в таблице.

	1-й опыт	2-й опыт	3-й опыт	4-й опыт	5-й опыт	Средние
m, кг	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
$F_{упр}$, Н	1,05	1,1	0,95	1	0,95	1,01

4. $\mu = \dfrac{1{,}01\,\text{Н}}{0{,}25\,\text{кг} \cdot 9{,}8\,\text{м/с}^2} = 0{,}41.$

Лабораторная работа № 3.
Изучение движения конического маятника

Цель работы: измерить значение центростремительного ускорения и проверить справедливость второго закона Ньютона в приложении к коническому маятнику, пользуясь имеющимся оборудованием.

Оборудование: штатив с муфтой и кольцом, прочная нить, груз из набора по механике, лист с начерченной на нем окружностью радиусом 15 см, динамометр, часы.

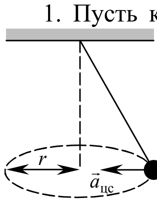


Рис 147.

1. Пусть конический маятник движется по окружности радиуса r, совершая n оборотов за время t (см. рис. 147). Период обращения маятника $T = t/n$ связан со скоростью v движения формулой $v = 2\pi r/T$, следовательно, $v = 2\pi rn/T$. Тогда найдем центростремительное ускорение $a_{цс} = \dfrac{v^2}{r} = \dfrac{1}{r}\left(\dfrac{2\pi rn}{t}\right)^2 = \dfrac{4\pi^2 rn^2}{t^2}$. Это и есть наша основная расчетная формула.

2. Как рекомендуется в учебнике, приведем груз во вращение по нарисованной окружности радиуса r = 15 см = 0,15 м. Измерим время t, за которое тело совершит n = 40 оборотов.

3. Примерные численные данные приведены в таблице.

	1-й опыт	2-й опыт	3-й опыт	4-й опыт	5-й опыт	Средние
r, м	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
t, с	55	55,1	55,05	54,9	55	55,01
N	40	40	40	40	40	40

4. $a_{\text{цс}} = \dfrac{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 0{,}15\,\text{м} \cdot 40^2}{(55{,}01\,\text{с})^2} = 3{,}1\,\text{м/с}^2$.

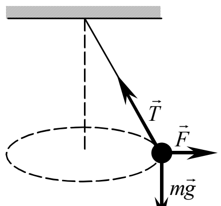


Рис 148.

5. Остановим груз и отклоним его на такой угол, на который он был отклонен и при вращении. Прикрепим к грузу динамометр. Пусть масса груза m = 300 г = 0,3 кг, а динамометр показывает значение силы F = 0,9 Н (см. рис. 148). Отсюда находим $a = F/m$ = 0,9Н/0,3кг = 3 м/с^2.

Таким образом a = 3 м/с^2. Мы получили, что центростремительное ускорение, измеренное из кинематических и динамических соображений, являются равными с точностью до погрешности. Это подтверждает, во-первых, правильность наших измерений, а во-вторых, второй закон Ньютона.

Лабораторная работа № 4. Измерение ускорения свободного падения с помощью маятника

Цель работы: измерить значение ускорения свободного падения, пользуясь имеющимся оборудованием.

Оборудование: шарик, нить, штатив с муфтой и кольцом, измерительная лента, часы.

1. Пусть математический маятник совершает n колебаний за время t. Длина нити подвеса l, ускорение свободного падения g. Период колебаний $T = t/n$ связан с l и g следующей формулой $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$. Отсюда находим $\dfrac{t}{n} = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$, или $g = \dfrac{4\pi^2 n^2 l}{t^2}$.

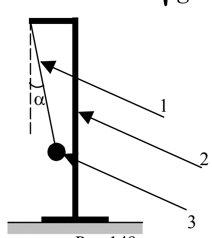


Рис 149.

2. Соберем установку, приведенную на рис. 149, где 1 — штатив, 2 — нить, 3 — груз.

Отклоним груз от положения равновесия, как рекомендуется в учебнике на 5-8 см от положения равновесия. При этом необходимо, чтобы длина нити была достаточно велика по отношению к отклонению. Математически это выражается приближенной формулой $\sin\alpha \approx \alpha$, которая верна для углов $\alpha < 10°$.

3. Примерные численные данные приведены в таблице.

	1-й опыт	2-й опыт	3-й опыт	4-й опыт	5-й опыт	Средние
l, м	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
t, с	71,55	71,8	71,6	71,75	71,7	71,68
N	40	40	40	40	40	40

4. $g = \dfrac{4 \cdot 3.14^2 \cdot 40^2 \cdot 0{,}8\,\text{м}}{(71{,}68\,\text{с})^2} = 9{,}83\,\text{м/с}^2.$

Таким образом g = 9,83 м/с, что с точностью до погрешности совпадает с данными, полученными в других экспериментах, и теоретическими оценками.

Лабораторная работа № 5. Определение электрического сопротивления

Цель работы: научиться определять электрическое сопротивление участка цепи, измеряя силу тока и напряжение и пользуясь законом Ома для участка цепи и законами последовательного и параллельного соединения проводников.

Оборудование: проволочные резисторы (3 шт.), источник постоянного напряжения, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

1. Соберем электрическую цепь (рис. 293 учебника), состоящую из трех резисторов, источника напряжения, ключа, амперметра и вольтметра. Измеряя силу тока в цепи, а также напряжение на участках, указанных в учебнике на рис. 293, заполним следующую таблицу.

I, А	U_1, В	U_2, В	U_3, В	U, В	$R_1 = U_1/I$, Ом	$R_2 = U_2/I$, Ом	$R_3 = U_3/I$, Ом	$R = U/I$, Ом
0,2	2,2	1,8	2	5,9	11	9	10	29,5

$R_1 = \dfrac{2{,}2\,\text{В}}{0{,}2\,\text{А}} = 11\,\text{Ом}$; $R_2 = \dfrac{1{,}8\,\text{В}}{0{,}2\,\text{А}} = 9\,\text{Ом}$; $R_3 = \dfrac{2\,\text{В}}{0{,}2\,\text{А}} = 10\,\text{Ом}$; $R = \dfrac{5{,}9\,\text{В}}{0{,}2\,\text{А}} = 29{,}5\,\text{Ом}$.

Сравним сумму сопротивлений R_1, R_2, R_3 со значением R=29,5 Ом.

$R_1 + R_2 + R_3$ = 11 Ом + 9 Ом + 10 Ом = 30 Ом.

Мы видим, что эта сумма примерно равна значению R. Таким образом, при последовательном соединении нескольких проводников их общее сопротивление равно сумме их сопротивлений.

2. Соберем электрическую цепь, схема которой показана на рис. 294 учебника. Измеряя силу тока в цепи и напряжение, найдем общее сопротивление R.

I = 1,8 А, U = 5,9 В; $R = \dfrac{U}{I} = \dfrac{5{,}9\,\text{В}}{1{,}8\,\text{А}} \approx 3{,}3$ Ом;

Заполним следующую таблицу:

$1/R$	$1/R_1$	$1/R_2$	$1/R_3$
0,3	0,09	0,11	0,1

Сравним сумму $1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$ со значением $1/R$.

$$\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}=0{,}09+0{,}11+0{,}1=0{,}3.$$

Мы видим, что эта сумма равна значению $1/R$. Таким образом, при параллельном соединении нескольких проводников величина, обратная полному сопротивлению участка цепи, равна сумме величин, обратных сопротивлениям отдельных проводников.

3. Соберем электрическую цепь, схема которой показана на рис. 295 учебника. Измеряя силу тока в цепи и напряжение, найдем общее сопротивление $R_{\text{эксп}}$.

$$I=0{,}9\text{ А},\ U=5{,}9\text{ В};\ R_{\text{эксп}}=\frac{U}{I}=\frac{5{,}9\text{ В}}{0{,}9\text{ А}}\approx 6{,}56\text{ Ом}.$$

Найдем теперь теоретическое значение R.

$$R_{\text{теор}}=\frac{(R_1+R_2)R_3}{R_1+R_2+R_3}=\frac{(11\text{ Ом}+9\text{ Ом})\cdot 10\text{ Ом}}{11\text{ Ом}+9\text{ Ом}+10\text{ Ом}}\approx 6{,}67\text{ Ом}.$$

Мы видим, что $R_{\text{эксп}}$ и $R_{\text{теор}}$ равны с точностью до погрешности.

Лабораторная работа № 6.
Определение удельного сопротивления проводника

Цель работы: определить удельное сопротивление проводника, измеряя силу тока и напряжение на нем и пользуясь законом Ома для участка цепи.

Оборудование: проволока из материала с неизвестным удельным сопротивлением, источник постоянного напряжения, амперметр, вольтметр, штангенциркуль, ключ, линейка, соединительные провода.

1. Пусть имеется провод длиной l и диаметром d. Тогда его площадь поперечного сечения будет равна $S=\frac{\pi d^2}{4}$, а сопротивление R будет выражаться следующей формулой: $R=\rho\frac{l}{S}=4\rho\frac{l}{\pi d^2}$. Если пропускать через данный провод ток I напряжением U, то сопротивление можно найти, пользуясь законом Ома: $R=\frac{U}{I}$. Таким образом, $\frac{U}{I}=4\rho\frac{l}{\pi d^2}$.

Отсюда находим удельное сопротивление провода: $\rho=\frac{\pi d^2 U}{4lI}$.

2. Соберем электрическую цепь, схема которой показана на рис. 295 учебника, и проведем необходимые измерения. Примерные численные данные измерений приведены в таблице.

l, м	d, мм	U, В	I, А
10	2	2	1,5

3. Рассчитаем удельное сопротивление по формуле, полученной в пункте 1 данной работы.

$$\rho = \frac{3{,}14 \cdot (2\ \text{мм})^2 \cdot 2\ \text{В}}{4 \cdot 10\ \text{м} \cdot 1{,}5\ \text{А}} \approx 0{,}42 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}.$$

Если посмотреть в таблицу значений удельных сопротивлений, то можно определить, что данный провод скорее всего изготовлен из никелина.

Лабораторная работа № 7. Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока

Цель работы: определить ЭДС и удельное сопротивление источника тока, пользуясь законом Ома для полной цепи.

Оборудование: источник тока, реостат, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

1. Пусть источник тока подключают сначала к резистору сопротивлением R_1, а затем к резистору сопротивлением R_2. Тогда закон Ома для полной цепи для первого случая — $I_1 = \dfrac{\mathcal{E}}{R_1 + r}$, для второго — $I_2 = \dfrac{\mathcal{E}}{R_2 + r}$. Пользуясь законом Ома для участка цепи, запишем следующие формулы для значений сопротивлений R_1 и R_2: $R_1 = U_1/I_1$; $R_2 = U_2/I_2$. Подставляя R_1 и R_2 в выражения для I_1 и I_2, получим систему из двух уравнений с двумя неизвестными $\mathcal{E}$ и r:

$$\begin{cases} I_1 = \dfrac{\mathcal{E}}{\dfrac{U_1}{I_1} + r}; \\ I_2 = \dfrac{\mathcal{E}}{\dfrac{U_2}{I_2} + r}; \end{cases} \quad \begin{cases} \mathcal{E} = U_1 + I_1 r; \\ U_2 + I_2 r = U_1 + I_1 r; \end{cases} \quad \begin{cases} \mathcal{E} = U_1 + I_1 \dfrac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2} = \dfrac{U_2 I_1 - U_1 I_2}{I_1 - I_2}; \\ r = \dfrac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2}. \end{cases}$$

Таким образом, измеряя в данной работе U_1, I_1, U_2, I_2, ЭДС и внутреннее сопротивление будем определять по следующим формулам:

$$\mathcal{E} = \frac{U_2 I_1 - U_1 I_2}{I_1 - I_2}, \; r = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2}.$$

2. Соберем электрическую цепь, схема которой показана на рис. 297 учебника, и проведем необходимые измерения. Примерные численные данные измерений приведены в таблице.

I_1, А	U_1, В	I_2, А	U_2, В
0,5	5,9	2	5,7

3. $\mathcal{E} = \dfrac{5{,}7\ \text{В} \cdot 0{,}5\ \text{А} - 5{,}9\ \text{В} \cdot 2\ \text{А}}{0{,}5\ \text{А} - 2\ \text{А}} \approx 5{,}97$; $r = \dfrac{5{,}7\ \text{В} - 5{,}9\ \text{В}}{0{,}5\ \text{А} - 2\ \text{А}} = 0{,}13\ \text{Ом}$.

4. Измерим ЭДС источника с помощью вольтметра: $\mathcal{E}_{изм}$ = 6 В. Таким образом, измеренная ЭДС и рассчитанная в предыдущем задании ЭДС совпадают по значению с точностью до погрешности.

Лабораторная работа № 8. Определение элементарного заряда методом электролиза

Цель работы: научиться определять значение элементарного заряда методом электролиза.

Оборудование: цилиндрический сосуд с раствором медного купороса, медные электроды, весы с гирями, амперметр, источник постоянного напряжения, реостат, часы, ключ, электрическая плитка, соединительные провода.

1. При пропускании через раствор медного купороса тока I в течении времени Δt на катоде выделится медь массой $m = k\Delta q = kI\Delta t$, где k — электрохимический эквивалент меди. Обозначим за N число ионов меди, перенесших заряд Δq. Тогда можно записать: $\Delta q = enN$, $m = m_i N$, где e — значение элементарного электрического заряда, n — валентность меди, m_i — масса одного иона меди. Подставляя две последние формулы в выражение для m, получим: $m_i N = kenN$. Отсюда находим: $e = \dfrac{m_i}{kn}$. Затем выражаем значение k из закона Фарадея для электролиза: $k = \dfrac{m}{I\Delta t}$. Подставляя его в выражении для e, получаем: $e = \dfrac{m_i}{mn} I\Delta t$.

2. При помощи весов измерим массу катода: m_1 = 50 г.

3. Соберем электрическую цепь, схема которой показана на рис. 298 учебника, и проведем необходимые измерения. Примерные численные данные измерений приведены в таблице.

m_1, кг	m_2, кг	m, кг	Δt, с	I, А	k, кг/Кл	n	m_i, кг
0,0541	0,05452	0,0005	1200	1	$3{,}67\cdot10^{-7}$	2	$1{,}06\cdot10^{-25}$

$m = m_2 - m_1$ = 0,05454 кг – 0,0541 кг = 0,00044 кг;

$$k = \frac{m}{I\Delta t} = \frac{0{,}00044\ \text{кг}}{1\ \text{А}\cdot 1200\ \text{с}} \approx 3{,}7\cdot10^{-7}\ \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}.$$

4. $$e = \frac{m_i}{mn} I\Delta t = \frac{1{,}06\cdot10^{-25}\ \text{кг}\cdot 1\ \text{А}\cdot 1200\ \text{с}}{0{,}00044\ \text{кг}\cdot 2} \approx 1{,}45\cdot10^{-19}\ \text{Кл}.$$

Таким образом $e = 1{,}45\cdot10^{-19}$ Кл, что с точностью до погрешности совпадает с данными, полученными в других экспериментах, и теоретическими оценками.