

Классический курс

Н. А. Парфентьева

11

физика

Решебник




ПРОСВЕЩЕНИЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Классический курс

Н. А. Парфентьева

физика

Решебник

11 класс

Пособие для учителей
общеобразовательных
учреждений

Москва
«Просвещение»
2011

УДК 372.8:53
ББК 74.262.22
П18

Серия «Классический курс» основана в 2007 году

Парфентьева Н. А.

П18 Физика. Решебник. 11 класс : пособие для учителей общеобразоват. учреждений / Н. А. Парфентьева. — М. : Просвещение, 2011. — 110 с. : ил. — (Классический курс). — ISBN 978-5-09-022333-1.

Пособие входит в учебно-методический комплект «Классический курс» по физике и содержит ответы на вопросы и решения задач из учебника для 11 класса авторов Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева, В. М. Чаругина.

Кроме этого, в пособии представлены решения наиболее сложных задач из сборника задач по физике автора Н. А. Парфентьевой, входящего в состав учебно-методического комплекта «Классический курс».

Пособие поможет учителю в обучении решению задач и формировании у учащихся навыков в применении теоретических знаний на практике.

УДК 372.8:53
ББК 74.262.22

ISBN 978-5-09-022333-1

© Издательство «Просвещение», 2011
© Художественное оформление.
Издательство «Просвещение», 2011
Все права защищены

Предисловие

Пособие входит в учебно-методический комплект «Классический курс» по физике и содержит ответы на вопросы и решения задач из учебника для 11 класса авторов Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева, В. М. Чаругина. Главная цель издания — обучение решению задач, а также содействие формированию навыков в применении теоретических знаний на практике.

Решение задач невозможно без изучения теории и понимания физических законов. Поэтому в начале каждого раздела для напоминания приведены основные формулы, отражающие законы и понятия, которые подробно рассмотрены в учебнике.

Кроме этого, в пособии представлены решения наиболее сложных задач из сборника задач по физике автора Н. А. Парфентьевой, входящего в состав учебно-методического комплекта «Классический курс».

Пособие подготовлено для вышеуказанного учебника, начиная с 17-го издания. Необходимые по ходу текста ссылки на материал учебников ранних изданий приведены в круглых скобках. Если какие-то вопросы или задачи отсутствуют в учебнике раннего издания, то в круглых скобках стоит знак «—».

Желаем успеха!

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ (продолжение)

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ (глава 1)

Магнитное поле — это особое состояние материи, которое можно обнаружить, помещая в него магнитные стрелки или проводники с током.

Основная силовая характеристика магнитного поля — вектор магнитной индукции $\vec{B}$.

Направление вектора $\vec{B}$ определяется по *правилу правого винта* или *буравчика*.

Модуль вектора $\vec{B}$ определяется максимальным вращательным моментом, действующим на контур с током (рис. 1.1), магнитный момент которого равен единице, $B = \frac{M_{\max}}{P_m}$.

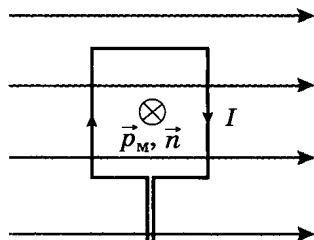


Рис. 1.1

Магнитный момент контура с током: $p_m = IS$, где I — сила тока, S — площадь, охватываемая контуром.

Принцип суперпозиции: $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots + \vec{B}_n = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$.

Закон Ампера: $|\vec{F}| = IBl \sin \alpha$, где α — угол между направлением тока в проводнике и направлением вектора магнитной индукции $\vec{B}$ (рис. 1.2, а).

Направление силы Ампера определяется по *правилу левой руки* (рис. 1.2, б).

Индукция магнитного поля, созданного проводником с током I_1 на расстоянии d (рис. 1.3), $B_1 = \frac{\mu \mu_0 I_1}{2\pi d}$.

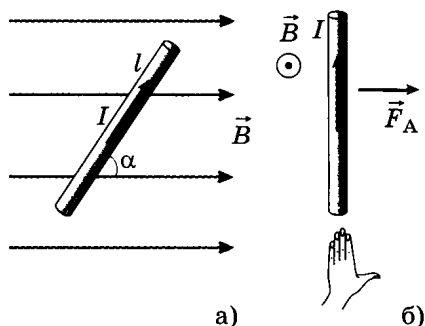


Рис. 1.2

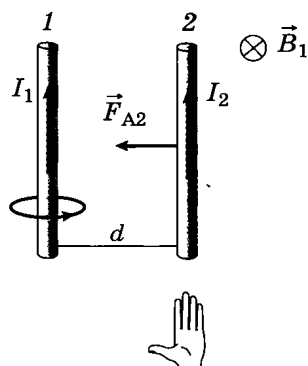


Рис. 1.3

Проводники с токами, идущими в одном направлении, притягиваются, а в разных направлениях отталкиваются.

$$\text{Сила взаимодействия проводников: } F_A = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2}{2\pi d} \Delta l.$$

Сила Лоренца $F_L = qvB \sin \alpha$, где q — заряд частицы, v — её скорость, α — угол между векторами скорости и магнитной индукции.

Направление силы Лоренца определяется для положительно заряженной частицы по *правилу левой руки*.

📖 Ответы на вопросы к § 1

1. Взаимодействия проводников с током, проводника с током и постоянного магнита, движущегося заряда с проводником с током называются магнитными взаимодействиями, так как их причиной является наличие вокруг проводников с током и постоянных магнитов магнитного поля.

2. а) Любой направленно движущийся заряд, а также переменное во времени электрическое поле вызывают появление в пространстве магнитного поля.

б) Магнитное поле можно обнаружить с помощью проводников с током, на которые поле оказывает ориентирующее действие.

в) В природе не существуют отдельно положительные и отрицательные магнитные заряды. Сколь малыми мы бы ни делали кусочки постоянного магнита, мы всегда обнаружим северный и южный полюса.

📖 Ответы на вопросы к § 2

1. Замкнутый контур ориентируется в магнитном поле таким образом, что направление магнитного момента (положительной нормали) контура с током совпадает с направлением вектора магнитной индукции поля (рис. 1.4). Направление магнитного поля указывает северный полюс магнитной стрелки (рис. 1.5).

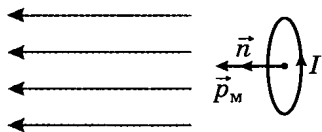


Рис. 1.4

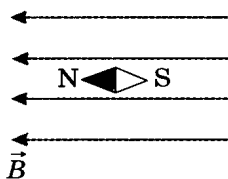


Рис. 1.5

2(3). Линии, касательные в каждой точке которых совпадают с направлением вектора магнитной индукции $\vec{B}$, называются линиями магнитной индукции.

3(4). Поля, в которых векторные линии замкнуты, называются вихревыми.

4(5). В вихревом поле векторные линии замкнуты, в потенциальном поле линии разомкнуты. Например, силовые линии потенциального электростатического поля начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных.

📖 Ответы на вопросы к § 3

1. Модуль вектора магнитной индукции определяется отношением максимальной силы, действующей в магнитном поле на отрезок проводника с током, к произведению силы тока на длину этого отрезка: $B = \frac{F}{I\Delta l}$.

2. Модуль силы Ампера прямо пропорционален силе тока, идущего по проводнику, модулю индукции магнитного поля, длине проводника и синусу угла между направлением тока в проводнике и вектора индукции магнитного поля: $|\vec{F}_A| = I |\vec{B}| \Delta l \sin \alpha$.

3. Направление силы Ампера определяется по правилу левой руки: если левую руку расположить так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, четыре вытянутых пальца были направлены по току, то отогнутый большой палец укажет направление силы.

4. Единицей магнитной индукции в СИ является тесла. 1 Тл — это индукция такого однородного магнитного поля, в котором на отрезок провода длиной 1 м, сила тока в котором равна 1 А, действует максимальная сила, равная 1 Н. Через основные единицы СИ тесла выражается так: $1 \text{ Тл} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \frac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{с}^2}$.

📖 Ответы на вопросы к § 4

1(2). Линии магнитной индукции поля, в котором находятся витки с током, всегда перпендикулярны направлению тока. Таким образом, сила, действующая на витки с током, всегда максимальна и зависит только от значения силы тока и не зависит от угла поворота катушки.

2(–). Рамку с током, на которую действуют силы Ампера, стремящиеся её повернуть, удерживают от вращения пружины.

3(4). У вольтметра сопротивление должно быть много больше сопротивления амперметра. Амперметр включают в цепь последовательно, и он не должен изменять силу тока в цепи, поэтому его сопротивление должно быть мало. Вольтметр подключают к цепи параллельно тому участку, на котором измеряется напряжение. Для того чтобы не изменялось измеряемое напряжение, сила тока через вольтметр должна быть мала, а соответственно сопротивление вольтметра должно быть велико.

📖 Ответ на вопрос к § 5

На рисунке 1.6 изображены направления тока, магнитной индукции и силы Ампера в момент, когда катушка движется вниз под действием силы Ампера.

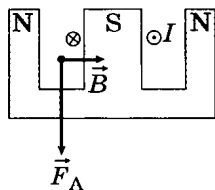


Рис. 1.6

■ Ответы на вопросы к § 6

1. Модуль силы Лоренца равен произведению модулей заряда, скорости, вектора магнитной индукции и синуса угла между направлениями скорости и вектора магнитной индукции.

2. Если скорость частицы перпендикулярна вектору магнитной индукции, то частица движется по дуге окружности.

3. Направление силы Лоренца, действующей на частицу, определяется по правилу левой руки: если левую руку расположить так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, вытянутые четыре пальца были направлены вдоль скорости движения положительного заряда, то отогнутый в плоскости ладони на 90° большой палец укажет направление силы Лоренца. На отрицательно заряженную частицу действует сила в противоположном определённом таким образом направлении.

■ Ответы на вопросы к § 7

1. У ферромагнетиков (железо, кобальт, никель) намагниченными являются целые макрообласти, называемые доменами. Размеры доменов $0,01—0,1$ мм. Считается, что ферромагнетизм обусловлен спиновым магнитным полем электронов в атоме. У ферромагнетиков спиновые магнитные моменты электронов имеют одинаковую ориентацию и суммарное магнитное поле электронов определяет поле домена. Каждый домен представляет собой маленький магнит. В ненамагниченном ферромагнетике магнитные моменты доменов ориентированы беспорядочно и суммарное магнитное поле, создаваемое ими, равно нулю. При внесении ферромагнетика в магнитное поле магниты доменов ориентируются вдоль линий поля, и индукция магнитного поля в ферромагнетике становится существенно больше индукции поля, в которое он внесён. В ферромагнетиках остаётся намагниченность при выключении внешнего магнитного поля.

2. Использование ферромагнитных материалов преимущественно основано на том, что: 1) они во много раз усиливают магнитное поле; 2) они остаются намагниченными при выключении внешнего магнитного поля.

Первое свойство определяет их применение для экономии электроэнергии. Благодаря второму свойству ферромагнетики используются в электроизмерительных приборах, звукозаписывающих аппаратах и т. д.

3. Запись информации в ЭВМ производится на магнитные плёнки, магнитные ленты и жёсткие диски с помощью электромагнита, изменения магнитного поля которого определяют намагниченность носителя в соответствии с информацией. В начале создания ЭВМ очень широко была распространена запись информации на магнитные носители. Даже оперативная память первых ЭВМ была реализована на маленьких сердечниках из ферромагнитного материала, каждый из которых хранил 1 бит информации. В современных ЭВМ магнитная лента практически не используется, так как для записи на неё требуется доступ к ин-

формации в течение длительного времени. Поэтому запись производится на жёсткие диски, сделанные из ферромагнитного материала, вращающиеся с огромной скоростью.

Решение задач из упражнения 1

Задача 1.

Решение. Рассмотрим первый случай, когда токи идут по параллельным проводникам в одну сторону. По правилу буравчика определим направление индукции магнитного поля, создаваемого первым током. Применяем правило левой руки и определяем направление силы, действующей на второй проводник (рис. 1.7, а). Как мы видим, проводники притягиваются.

Изменив направление тока во втором проводнике, определяем по правилу левой руки направление силы Ампера (рис. 1.7, б). Теперь проводники отталкиваются.

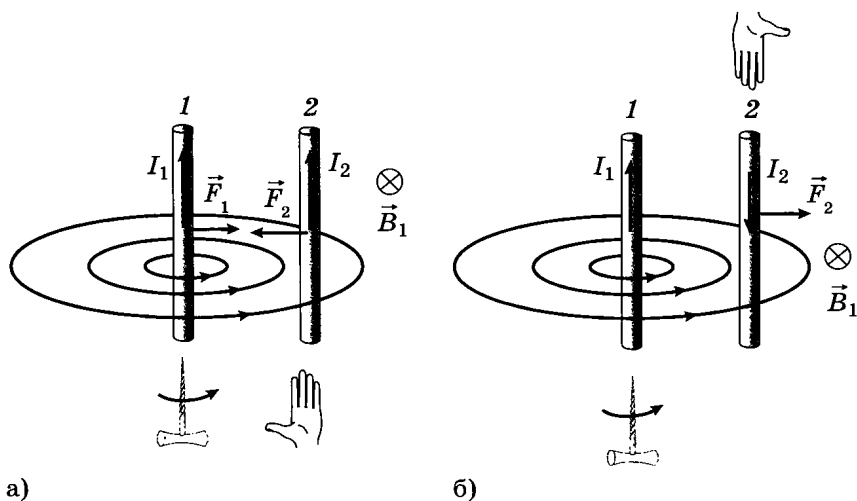


Рис. 1.7

Задача 2.

Решение. На рисунке 1.8 показаны проводники (вид сверху). На часть проводника AC действует сила, направленная вверх, а на часть проводника CD — сила, направленная вниз. Проводник поворачивается и устанавливается параллельно первому проводнику.

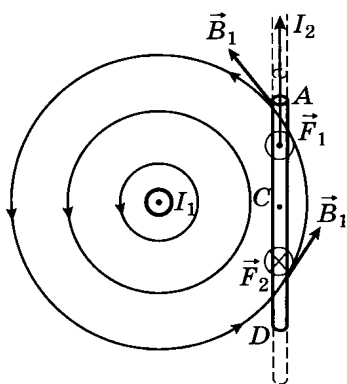


Рис. 1.8

Задача 3.

Дано:
 $l = 0,15$ м
 $B = 0,4$ Тл
 $I = 8$ А
 $s = 0,025$ м
 $A = ?$

Решение:
 На рисунке 1.9 показано направление силы Ампера, модуль которой $F_A = IBl \sin \alpha$ ($\sin 90^\circ = 1$, так как угол между направлениями тока и вектора магнитной индукции $\alpha = 90^\circ$).

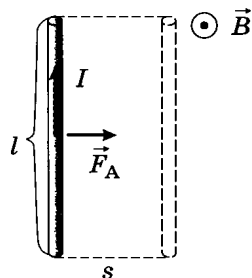


Рис. 1.9

Работа силы Ампера

$$A = F_A s = IBl s = 8 \cdot 0,4 \cdot 0,15 \cdot 0,025 \text{ (Дж)} = 0,012 \text{ Дж.}$$

Ответ: 0,012 Дж.

Задача 4(-).

Дано:
 $B = 0,01$ Тл
 $v = 10^6$ м/с
 $R, T = ?$

Решение:
 Так как сила Лоренца $F_L = |q_e| v B$ направлена перпендикулярно скорости, то она не изменяет модуля скорости, а изменяет только её направление, т. е. является центростремительной силой, заставляющей электрон двигаться по окружности.

Тогда $\frac{m_e v^2}{R} = |q_e| v B$, откуда радиус окружности, по которой дви-

$$\text{жется электрон, } R = \frac{m_e v}{|q_e| B} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,01} \text{ (м)} \approx 5,7 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Как видим, в однородном магнитном поле $R = \text{const}$, и, следовательно, траектория электрона — дуга окружности. Период обращения частицы в магнитном поле

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{|q_e| B} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,01} \text{ (с)} \approx 3,6 \cdot 10^{-9} \text{ с.}$$

Ответ: $\approx 5,7 \cdot 10^{-4}$ м; $\approx 3,6 \cdot 10^{-9}$ с.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ (глава 2)

Магнитный поток (поток вектора магнитной индукции) Φ через некоторую поверхность S : $\Phi = |\vec{B}| S \cos \alpha$, где α — угол между направлениями векторов нормали $\vec{n}$ к поверхности и индукции $\vec{B}$.

$$\text{Закон Фарадея: } \mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

Опыт показывает, что ЭДС индукции не зависит от причин изменения магнитного потока, а определяется скоростью его изменения.

$$\text{Сила индукционного тока, идущего по контуру, } I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R}.$$

Правило Ленца: индукционный ток всегда направлен так, чтобы препятствовать причине, его вызывающей.

Если проводник движется в магнитном поле, то под $\Delta\Phi$ понимаем магнитный поток, «замётённый» проводником за промежуток времени Δt .

Разность потенциалов, возникающая между концами проводника, равна ЭДС индукции:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{B\Delta S \cos \alpha}{\Delta t}, \text{ где } \alpha \text{ — угол между векто-}$$

рами $\vec{n}$ и $\vec{B}$, $\vec{n}$ — нормаль к поверхности, «заметаемой» проводником, β — угол между направлением скорости и проводником (рис. 1.10, а, б). Окончательно $\mathcal{E}_i = -Bvl \sin \beta \cos \alpha$.

Работа при движении проводника с током в магнитном поле $A = I\Delta\Phi = I(\Phi_2 - \Phi_1)$, где Φ_2 — магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром в конце перемещения, Φ_1 — магнитный поток в начальный момент времени.

Магнитный поток Φ , сцепленный с контуром, прямо пропорционален силе тока в этом контуре: $\Phi = LI$, где L — индуктивность контура.

$$\text{Индуктивность соленоида } L = \frac{\mu_0 \mu N^2 S}{l}.$$

Если сила тока I изменяется со временем по линейному закону, то $\mathcal{E}_{si} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$, где $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ — скорость изменения силы тока, L — индуктивность контура.

Если в соленоиде с индуктивностью L сила тока увеличивается от нуля до I , то работа источника $A = \frac{LI^2}{2}$.

Эта работа равна изменению энергии соленоида — энергии его магнитного поля: $W_m = \frac{LI^2}{2}$ (считаем, что энергия магнитного поля соленоида равна нулю, если сила тока равна нулю).

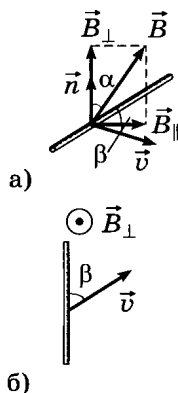


Рис. 1.10

📖 Ответы на вопросы к § 8

1. Переменные во времени магнитное и электрическое поля не могут существовать отдельно. Постоянные магнитное и электростатическое поля существуют независимо друг от друга.

2. Переменный во времени магнитный поток через поверхность, ограниченную замкнутым контуром, вызывает в этом контуре появление электрического тока.

3. Для возникновения индукционного тока контур должен вращаться в магнитном поле. В этом случае магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром, изменяется со временем от нуля до максимального значения, и это изменение магнитного потока вызывает появление индукционного тока в контуре.

Ответы на вопросы к § 10

1. Направление индукционного тока определяется по правилу Ленца: индукционный ток всегда направлен так, чтобы своим магнитным полем препятствовать тому изменению магнитного потока, которым он вызван, т. е. причине, его вызывающей.

2(–). Если подносить к разомкнутому проводнику магнит, то в проводнике возникает ЭДС индукции, а следовательно, и электрическое поле.

Ответы на вопросы к § 11

1. Магнитным потоком (потоком вектора магнитной индукции) Φ через некоторую поверхность S называется скалярная величина, равная произведению модуля вектора магнитной индукции на площадь этой поверхности и косинус угла между нормалью $\vec{n}$ к ней и направлением вектора магнитной индукции $\vec{B}$: $\Phi = |\vec{B}| S \cos \alpha$.

2. Если проводник разомкнут, то между его концами в переменном магнитном поле или при движении проводника в постоянном магнитном поле возникает разность потенциалов вследствие явления электромагнитной индукции, сила же тока равна нулю. Поэтому не имеет смысла формулировать закон электромагнитной индукции для силы тока.

3. Возникновение ЭДС в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром, называется явлением электромагнитной индукции.

4. Знак «–» в формуле для закона электромагнитной индукции указывает на то, что ЭДС индукции препятствует изменению магнитного потока, вызывающему эту ЭДС.

Ответы на вопросы к § 12

1. Переменное магнитное поле вызывает появление электрического поля, которое, в свою очередь, приводит в движение электрические заряды.

2. Силовые линии вихревого электрического поля замкнуты, это поле вызвано переменным во времени магнитным полем, а электростатическое поле создаётся неподвижными зарядами, его силовые линии разомкнуты, они начинаются и заканчиваются на зарядах. Работа по перемещению заряда по замкнутой траектории в вихревом поле не равна нулю, а в электростатическом поле равна нулю.

3. Индукционные токи, возникающие в массивных проводниках, находящихся в переменном во времени магнитном поле, называются токами Фуко.

4. Ферриты не проводят электрический ток, поэтому при перемагничивании в них не возникает индукционный ток, препятствующий изменению магнитного потока, и поэтому их легко перемагнитить. Кроме этого, в них нет потери энергии на тепло.

Ответы на вопросы к § 13

1. На движущийся заряд в магнитном поле действует сила Лоренца: $F_{\text{Л}} = qvB \sin \alpha$, где q — заряд частицы, v — её скорость, α — угол между векторами скорости и магнитной индукции.

Направление силы Лоренца определяется для положительно заряженной частицы по правилу левой руки: если левую руку расположить так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, вытянутые четыре пальца были направлены вдоль скорости движения положительного заряда, то отогнутый в плоскости ладони на 90° большой палец укажет направление силы Лоренца.

2. ЭДС индукции, возникающая в проводнике при его движении в переменном во времени магнитном поле, зависит: 1) от ориентации проводника; 2) от скорости его движения; 3) от скорости изменения магнитного поля.

Ответ на вопрос к § 14

Да, можно. Именно таким образом устроен конденсаторный микрофон. Необходимой частью такого микрофона является резистор, последовательно соединённый с конденсатором. Изменение ёмкости конденсатора под действием звуковой волны вызывает изменение его заряда, и на резисторе возникает переменное напряжение, которое поступает к усилителю.

В современных микрофонах пластины конденсаторов изготовлены из нового материала, способного хранить заряд в течение длительного времени.

Ответы на вопросы к § 15

1. Явление возникновения индукционного тока, вызванного изменением силы тока в самом проводнике, называется самоиндукцией, а возникающая при этом ЭДС — ЭДС самоиндукции.

2. При увеличении силы тока в проводнике линии напряжённости направлены в сторону, противоположную направлению тока, и вихревое поле препятствует нарастанию тока, при уменьшении силы тока — в ту же сторону, что и ток, т. е. вихревое поле поддерживает ток.

3. Индуктивность проводника — величина, численно равная ЭДС самоиндукции, возникающей в контуре при изменении силы тока в нём на 1 А за 1 с.

4. За единицу индуктивности в СИ принимают индуктивность такого проводника, в котором при изменении силы тока на 1 А за 1 с возникает ЭДС самоиндукции 1 В. Эта единица называется генри (Гн).

5. ЭДС самоиндукции определяется произведением индуктивности контура на скорость изменения силы тока в нём.

Ответы на вопросы к § 16

1. При замыкании цепи источник должен совершить работу против сил возникающего вихревого электрического поля, препятствующего увеличению силы тока.

2. Энергия магнитного поля, созданного током, проходящим по участку цепи, определяется половиной произведения индуктивности этого участка на квадрат силы тока. В любом объёме, где создано магнитное поле, энергия поля отлична от нуля и пропорциональна квадрату магнитной индукции.

Ответы на вопросы к § 17

1. Магнитное поле возникает вокруг проводников с током и при изменении со временем электрического поля.

2. Если заряды неподвижны относительно выбранной системы отсчёта, то в ней вокруг зарядов возникает только электростатическое поле. В другой системе отсчёта, движущейся относительно первой, эти же заряды движутся, следовательно, помимо электрического поля вокруг направленно движущихся зарядов, возникает и магнитное поле. Постоянный магнит создаёт только магнитное поле в системе отсчёта, связанной с ним, но в системе отсчёта, движущейся относительно магнита, его магнитное поле будет изменяться во времени, и, следовательно, в этой движущейся системе отсчёта появится электрическое поле. Поэтому нельзя утверждать, что в данной точке пространства существует одно из полей, всё зависит от выбора системы отсчёта.

Решение задач из упражнения 2

Задача 1(3).

Решение. Когда мы подносим к кольцу магнит, магнитный поток через поверхность, ограниченную этим кольцом, увеличивается, следовательно, индукционный ток должен вызвать магнитное поле в направлении, противоположном направлению магнитного поля постоянного магнита. По правилу буравчика определяем направление индукционного тока, возникающего в сплошном кольце. Оно показано на рисунке 1.11.

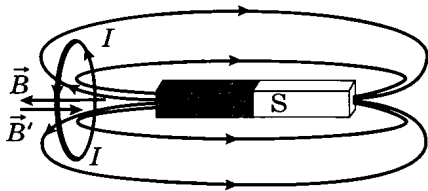


Рис. 1.11

Задача 2(4).

Решение. Направление индукции магнитного поля, созданного проводником, определяем по правилу буравчика (рис. 1.12). Согласно правилу Ленца если магнитное поле убывает, то поле индукционного тока препятствует этому, таким образом, магнитное поле контура направлено в ту же сторону, что и поле, созданное током. По правилу левой руки находим направления сил.

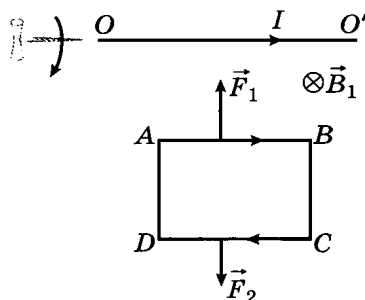


Рис. 1.12

Обратим внимание на то, что сила, действующая на сторону AB , больше силы, действующей на сторону DC . Если рамку отпустить, то она будет двигаться к проводнику. Движение рамки также мешает изменению магнитного потока.

Задача 3(5).

Решение. При замыкании цепи сила тока в катушке благодаря явлению самоиндукции увеличивается постепенно, плавно увеличивается и магнитный поток через сердечник катушки и через поверхность, ограниченную кольцом. В кольце возникает индукционный ток, поле которого по закону электромагнитной индукции направлено против магнитного поля сердечника. По катушке и кольцу идут токи в разных направлениях. Проводники, по которым токи идут в противоположных направлениях, отталкиваются. Кольцо будет отклоняться вправо.

При размыкании цепи кольцо отклоняется влево, так как по кольцу пойдёт ток в том же направлении, что и по катушке. По правилу Ленца магнитный поток, создаваемый током в кольце, изменяется так, чтобы компенсировать уменьшение магнитного потока через сердечник катушки и поверхность, ограниченную кольцом. Так как токи в катушке и кольце идут в одном направлении, то кольцо притягивается катушкой.

Задача 4(8).

Дано:

$$R = 3 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}$$

$$\Delta t = 2 \text{ с}$$

$$\Delta \Phi = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ Вб}$$

$$I = ?$$

Решение:

Согласно закону электромагнитной индукции при изменении магнитного потока со временем в контуре возникает ЭДС, равная

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

Силу тока в контуре определим из закона Ома:

$$I = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = \frac{1}{R} \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t} = \frac{1}{3 \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{1,2 \cdot 10^{-2}}{2} \text{ (А)} = 0,2 \text{ А}.$$

Ответ: 0,2 А.

Задача 5(9).

Дано:

$$v = 900 \text{ км/ч} = 250 \text{ м/с}$$

$$B = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$$

$$l = 12 \text{ м}$$

$$\Delta \Phi = ?$$

Решение:

При движении крыла самолёта пересекают линии магнитной индукции поля Земли. Они «замегают» определённую поверхность за промежуток времени Δt подобно тому, как «замекает» некоторую поверхность движущийся проводник.

Разность потенциалов, возникающая между концами проводника, $\Delta \Phi = \mathcal{E}_i = Bvl$.

Подставив данные задачи, получим

$$\Delta \Phi = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 250 \cdot 12 \text{ (В)} = 0,15 \text{ В}.$$

Ответ: 0,15 В.

Задача 6(-).

Дано:

$$I_1 = 1 \text{ А}$$

$$I_2 = 4 \text{ А}$$

$$\mathcal{E}_{is} = 0,1 \text{ В}$$

$$\Delta t = 3 \text{ с}$$

$$L, \Delta W - ?$$

Решение:

$$\text{ЭДС самоиндукции } \mathcal{E}'_{si} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Из этого выражения находим индуктивность:

$$L = \mathcal{E}'_{si} \frac{\Delta t}{\Delta I} = \frac{0,1 \cdot 3}{4 - 1} \text{ (Гн)} = 0,1 \text{ Гн}.$$

Изменение энергии магнитного поля

$$\Delta W = \frac{LI_2^2}{2} - \frac{LI_1^2}{2} = \frac{L\Delta I(I_2 + I_1)}{2}.$$

Произведение индуктивности на изменение силы тока равно ЭДС самоиндукции, умноженной на промежуток времени, в течение которого это изменение произошло: $\mathcal{E}'_{si}\Delta t = L\Delta I$.

$$\text{Тогда } \Delta W = \frac{\mathcal{E}'_{si}\Delta t(I_2 + I_1)}{2} = \frac{0,1 \cdot 3 \cdot (4 + 1)}{2} \text{ (Дж)} = 0,75 \text{ Дж}.$$

Ответ: 0,1 Гн; 0,75 Дж.

Задача 7(10).

Дано:

$$L = 0,15 \text{ Гн}$$

$$I = 4 \text{ А}$$

$$R \gg r$$

$$Q_1, Q_2 - ?$$

Решение:

$$\text{Энергия магнитного поля катушки } W = \frac{LI^2}{2}.$$

Так как по условию задачи сопротивление резистора много больше сопротивления катушки, то количеством теплоты, выделяемой в катушке, можно пренебречь.

Тогда можно считать, что вся энергия магнитного поля перейдет в тепло, выделяемое в резисторе: $W = Q_2$; $Q_1 \approx 0$.

$$\text{Таким образом, } Q_2 = \frac{LI^2}{2} = \frac{0,15 \cdot 4^2}{2} \text{ (Дж)} = 1,2 \text{ Дж}.$$

Ответ: ≈ 0 ; 1,2 Дж.

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ (глава 3)

Уравнение гармонических колебаний: $x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$, где x — смещение тела от положения равновесия, A , ω_0 , φ_0 не зависят от времени.

Частота ν_0 , период T и циклическая частота ω_0 связаны соотношениями $\nu_0 = \frac{1}{T_0}$, $\omega_0 = 2\pi\nu_0 = \frac{2\pi}{T_0}$.

При $x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ скорость тела $v_x = x' = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = v_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$, где $v_0 = A\omega_0$ — амплитудное значение скорости.

Ускорение тела $a_x = v'_x = -A\omega_0^2 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = -a_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$, где $a_0 = A\omega_0^2$ — амплитудное значение ускорения.

Частота и период собственных колебаний тела, прикрепленного к пружине, $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$; $T = 2\pi\sqrt{\frac{k}{m}}$.

Собственная частота и период колебаний математического маятника: $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$; $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

При $x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ кинетическая энергия тела

$$W_{\text{кин}} = \frac{mv_x^2}{2} = \frac{mA^2\omega_0^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0)}{2}.$$

Потенциальная энергия тела при любом смещении x

$$W_{\text{пот}} = \frac{kx^2}{2}.$$

Максимальные значения потенциальной и кинетической энергий равны полной механической энергии системы: $W = \frac{mA^2\omega_0^2}{2}$.

Вынуждающая сила $F_x = F_0 \sin \omega t$, где F_0 — амплитуда вынуждающей силы, ω — её частота.

Уравнение вынужденных колебаний имеет вид

$$x = A \sin(\omega t + \alpha_0),$$

где A — амплитуда вынужденных колебаний, $\omega t + \alpha_0$ — фаза, α_0 — начальная фаза.

Ответы на вопросы к § 19

1. Свободными колебаниями называются колебания, происходящие под действием внутренних сил.

2. На тело при отклонении его от положения равновесия должна действовать сила, пропорциональная смещению и направленная в сторону, противоположную смещению (упругая или квазиупругая сила). Сила сопротивления или трения, действующая на тело, должна быть мала.

3. Вынужденные колебания совершаются под действием периодической силы. Например, раскачивая ребёнка на качелях, мать периодически толкает сиденье.

Ответы на вопросы к § 23

1. Колебания, при которых смещение со временем изменяется по закону синуса или косинуса, называются гармоническими.

2. Ускорение и координата изменяются в противофазе:

$$a_x = -\omega_0^2 x.$$

3. Циклическая частота и период колебаний связаны соотношением $\omega = \frac{2\pi}{T}$.

4. Ускорение прямо пропорционально результирующей силе, действующей на колеблющееся тело, и обратно пропорционально

его массе согласно второму закону Ньютона. При выводе выражения для частоты колебаний пружинного маятника оказалось, что результирующая сила, действующая на тело, определяется только силой упругости, следовательно, сомножитель при смещении равен отношению жёсткости к массе тела: $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$. При определении

частоты колебаний математического маятника мы убедились, что колебания совершаются под действием составляющей силы тяжести, поэтому при делении масса сокращается.

5(6).

Рисунок	Амплитуда, см	Период, с
1	1,33	4
2	1,33	4
3	4	8

Ответы на вопросы к § 26

1. Сила сопротивления, действующая на колеблющиеся шарики, зависит от их диаметра и скорости. Так как нити одинаковы, то частота колебаний шариков одинакова, следовательно, если в начале колебаний шарики отклоняют на одинаковый угол, то скорости их в любой момент времени равны. Силы сопротивления, действующие на шарики, равны, но инертность шарика с большей массой больше, поэтому он будет колебаться дольше.

2. Да, приходилось. Например, в вагоне поезда на крючке висит рюкзак. При совпадении собственной частоты колебаний рюкзака с частотой попадания вагона на стыки рельс рюкзак начинает раскачиваться.

3. Можно, если периодически нажимать с силой 0,005 Н с частотой, равной частоте колебаний двери на пружинах.

4. Резонансные свойства проявляются отчётливо при малой силе сопротивления, действующей на колебательную систему.

Решение задач из упражнения 3

Задача 1.

Дано:

$$m = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг}$$

$$\nu = 2 \text{ Гц}$$

$$k = ?$$

Решение:

Циклическая частота колебаний груза на пружине $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$.

Частота связана с циклической частотой соотношением $\nu = \frac{\omega}{2\pi}$.

$$\text{Таким образом, } \nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

$$\text{Тогда } k = 4\pi^2 \nu^2 m = 4 \cdot 3,14^2 \cdot 2^2 \cdot 0,1 \text{ (Н/м)} \approx 15,8 \text{ Н/м}.$$

Ответ: $\approx 15,8 \text{ Н/м}$.

Задача 2.

Дано:

$$l = 98 \text{ м}$$

$T = ?$

Решение:

Маятник Фуко — это тяжёлый маленький шар, подвешенный на длинной нити. Период его колебаний можно рассчитать по формуле для периода колебаний математического маятника.

Период колебаний математического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 6,28 \cdot \sqrt{\frac{98}{9,8}} \text{ (с)} \approx 20 \text{ с.}$$

Ответ: $\approx 20 \text{ с.}$

Задача 3(6).

Дано:

$$A = 1 \text{ см}$$

$$t = 2 \text{ с}$$

$$v = 5 \text{ Гц}$$

$s = ?$

Решение:

Для того чтобы определить путь, надо определить, сколько полных колебаний совершит шарик.

За время t шарик совершит N колебаний:

$$N = \frac{t}{T} = tv.$$

Путь, пройденный шариком за одно колебание, равен $4A$.

Следовательно, за время t шарик пройдёт путь, равный

$$s = 4AN = 4Atv = 4 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 5 \text{ (см)} = 40 \text{ см.}$$

Ответ: 40 см.

Задача 4(7).

Дано:

$$m = 200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг}$$

$$A = 2 \text{ см} = 0,02 \text{ м}$$

$$k = 16 \text{ Н/м}$$

$\omega, W = ?$

Решение:

Циклическая частота пружинного маятника определяется по формуле

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{16}{0,2}} \text{ (рад/с)} \approx 9 \text{ рад/с.}$$

Энергия системы равна максимальной кинетической или максимальной потенциальной энергии. В данном случае полную энергию системы удобно определить, посчитав значение максимальной потенциальной энергии тела:

$$W = \frac{kA^2}{2} = \frac{16 \cdot (2 \cdot 10^{-2})^2}{2} \text{ (Дж)} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Ответ: $\approx 9 \text{ рад/с; } 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$

Задача 5(9).

Дано:

$$L = 8 \text{ м}$$

$$T = 1,5 \text{ с}$$

$v = ?$

Решение:

Колебания станут заметными, когда период собственных колебаний автомобиля на рессорах станет равным периоду попадания автомобиля на бугры неровной дороги. При этом условии будет наблюдаться явление резонанса и амплитуда колебаний автомобиля возрастет.

Время, которое автомобиль проезжает между буграми, $t = \frac{L}{v}$.

Условие наблюдения резонанса в этом случае $T = \frac{L}{v}$, откуда

$$v = \frac{L}{T} = \frac{8}{1,5} \text{ (м/с)} = \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 3600}{1,5 \cdot 1} \text{ (км/ч)} = 19,2 \text{ км/ч}.$$

Ответ: 19,2 км/ч.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ (глава 4)

Частота колебаний в колебательном контуре $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Период колебаний $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

Закон изменения заряда на пластинах конденсатора:
 $q = q_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$, где φ_0 — начальная фаза колебаний.

Закон изменения силы тока: $I = I_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$.

Соотношения, связывающие амплитудные значения заряда, силы тока и напряжения, $q_m = CU_m$, $I_m = q_m \omega_0 = CU_m \omega_0$.

Энергия электрического поля конденсатора $W_э = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$.

Энергия магнитного поля соленоида $W_m = \frac{LI^2}{2}$.

При колебаниях в контуре происходит переход энергии электрического поля в энергию магнитного поля и обратно, при этом максимальные энергии равны, т. е. $\frac{LI_m^2}{2} = \frac{q_m^2}{2C}$.

Закон изменения вынуждающей ЭДС: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t$, где ω — частота вынуждающей ЭДС, $\mathcal{E}_0$ — её амплитуда.

Закон изменения заряда при вынужденных колебаниях в контуре: $q = q_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$, где ω — частота вынуждающей ЭДС, q_0 — максимальный заряд конденсатора.

Переменный ток $i = I_m \sin(\omega t + \varphi_0)$, где I_0 — амплитудное значение силы тока, ω — циклическая частота, φ_0 — начальная фаза.

ЭДС источника переменного тока в цепи $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t$.

Эффективное, или действующее, значение силы тока $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$.

Эффективное значение напряжения $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$.

Средняя мощность $P = I^2 R = \frac{U^2}{R}$.

Напряжение на пластинах конденсатора $U = \frac{q}{C} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t$.

Сила тока $I = I_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$, где $I_0 = \omega C \mathcal{E}_0$.

Сила тока опережает напряжение на $\frac{\pi}{2}$.

Амплитудные значения силы тока и напряжения связаны соотношением $U_m = I_m X_C$, где $X_C = \frac{1}{\omega C}$ — ёмкостное сопротивление.

ЭДС самоиндукции в катушке индуктивности

$$\mathcal{E}_{si} = -L \frac{dI}{dt} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t.$$

Напряжение на концах катушки $u = L\omega I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$. Колебания напряжения на катушке опережают по фазе колебания силы тока на $\frac{\pi}{2}$.

Амплитуда напряжения $U_m = I_m X_L$, где $X_L = \omega L$ — индуктивное сопротивление.

ЭДС источника $\mathcal{E} = U_R + U_L + U_C$.

Сила тока в цепи колебательного контура с переменной ЭДС $I = I_m \sin(\omega t - \varphi_0)$, где ω — частота переменной ЭДС, φ_0 — начальная фаза, определяемая из равенства $\tan \varphi_0 = \frac{X_L - X_C}{R}$.

Суммарное сопротивление цепи

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Средняя мощность, выделяемая в цепи (только на активном сопротивлении), $P = I_{\text{эфф}}^2 Z \cos \varphi_0 = I_{\text{эфф}} \mathcal{E}_{\text{эфф}} \cos \varphi_0$, где $\cos \varphi_0$ — коэффициент мощности.

Ответы на вопросы к § 27

1. Периодические изменения силы тока, заряда и напряжения со временем называются электромагнитными колебаниями.

2. Свободными колебаниями называются колебания, совершаемые в электрической цепи после того, как её выводят из положения равновесия (например, заряжают конденсатор). Вынужденные колебания происходят под действием периодически изменяющейся электродвижущей силы.

Ответы на вопросы к § 28

1(2). Энергия колебательного контура, состоящего из конденсатора и катушки, остаётся постоянной и в любой момент времени равна сумме энергий электрического поля конденсатора и магнитного поля тока в катушке.

2(-). Конденсатор разряжается постепенно благодаря явлению самоиндукции. Как только по цепи контура начинает идти ток, возникает ЭДС самоиндукции, препятствующая увеличению силы тока.

Ответы на вопросы к § 29

1. Можно провести следующую аналогию между механическими колебаниями и колебаниями в колебательном контуре.

1) Колебания совершаются по гармоническому закону — закону синуса или косинуса.

2) Амплитуда колебаний определяется энергией, сообщённой системе: потенциальной энергией пружины при отклонении от положения равновесия; энергией электрического поля, сообщённой конденсатору.

3) При механических колебаниях потенциальная энергия переходит в кинетическую и обратно; при электрических колебаниях энергия электрического поля переходит в энергию магнитного поля и обратно.

4) И в случае механических колебаний, и в случае электрических есть элемент, определяющий инерционность системы, благодаря которой система проходит равновесие и продолжает движение. В случае механических колебаний — масса тела; в случае электрических — индуктивность.

2(-). Когда напряжение на конденсаторе становится равным нулю, ток в цепи должен прекратиться. Но при уменьшении силы тока в катушке возникает ЭДС самоиндукции, поддерживающая ток в цепи (правило Ленца).

Ответы на вопросы к § 30

1. Если зарядить конденсатор и предоставить систему самой себе, то в контуре возникнут свободные колебания. Вынужденные колебания происходят под действием включённой в цепь контура переменной ЭДС.

2. Период колебаний согласно формуле Томсона увеличится или уменьшится в $\sqrt{2}$ раз.

3. Энергия электрического поля при максимальном заряде конденсатора равна энергии магнитного поля при максимальной силе тока через катушку:

$$\frac{q_m^2}{2C} = \frac{LI_m^2}{2}, \text{ отсюда } \frac{q_m}{I_m} = \sqrt{LC}.$$

Ответы на вопросы к § 31

1. Если в электрическую цепь подключить переменную ЭДС, то в цепи возникают вынужденные колебания с частотой этой переменной ЭДС.

2. Мгновенные значения силы тока во всех участках цепи в данный момент времени одинаковы.

Ответы на вопросы к § 32

1(2). Амплитуда напряжения в осветительных сетях переменного тока равна $\sqrt{2} \cdot 220 \text{ В} = 311 \text{ В}$.

2(3). Действующие значения силы тока и напряжения равны силе тока и напряжению такого постоянного тока, при котором в проводнике за то же время выделяется такое же количество теплоты, что и при переменном токе.

Ответы на вопросы к § 33

1. По закону Ома $I = \frac{U}{X_C}$, где $X_C = \frac{1}{\omega C}$.

2. Энергия в цепи, содержащей только конденсатор, не выделяется.

3. При размыкании любого ключа, включённого в цепь переменного тока, ток продолжает идти, но значение силы тока настолько мало из-за малой ёмкости, что им можно пренебречь, кроме этого колебания быстро затухают.

Ответы на вопросы к § 34

1. По закону Ома $I = \frac{U}{X_L}$, где $X_L = \omega L$.

2. Рассмотрим катушку, активным сопротивлением которой можно пренебречь. Так как сопротивление катушки равно нулю, то напряжённость внутри проводника тоже должна быть равна нулю, иначе сила тока через катушку была бы бесконечно большой. Поэтому напряжённость вихревого поля, создаваемого переменным магнитным полем, должна быть равна и противоположна по направлению напряжённости электростатического поля, созданного зарядами, находящимися на зажимах источника. Разность потенциалов прямо пропорциональна напряжённости. Следовательно, ЭДС самоиндукции и напряжение на катушке имеют противоположные знаки.

Ответы на вопросы к § 35

1. Не может. Полное сопротивление цепи переменного тока складывается из активного и реактивного сопротивлений. Для амплитудного значения силы переменного тока справедлив закон Ома: $I_m = \frac{U_m}{Z}$, поэтому амплитудное значение I_m может быть рав-

ным силе постоянного тока $I = \frac{U}{R}$ только при резонансе, когда полное сопротивление цепи переменного тока равно активному сопротивлению R ($X_L - X_C = 0$).

2. При резонансе напряжения на конденсаторе и катушке равны, но имеют противоположные знаки, поэтому напряжение на резисторе равно приложенному напряжению и мгновенное значение силы тока определяется мгновенным значением подаваемого напряжения. Разность фаз колебаний силы тока и напряжения равна нулю.

3. Резонансные свойства контура выражены наиболее отчётливо при малом активном сопротивлении.

Ответы на вопросы к § 36

1. Системы, в которых создаются незатухающие колебания за счёт источника внутри системы, называются автоколебаниями.

2. Автоколебания не затухают за счёт регулировки поступления энергии от источника постоянного напряжения. Вынужденные колебания происходят при включении в цепь источника переменного напряжения. Свободные колебания происходят при выведении системы из положения равновесия и затухают, так как часть энергии, сообщённой системе, неизбежно постепенно переходит в тепло, выделяющееся на активном сопротивлении.

3. $p-n$ -Переход пропускает ток только в одном направлении. Это происходит за счёт того, что при соединении двух полупроводников с разными типами проводимости начинается диффузия электронов в p -полупроводник и диффузия дырок в n -полупроводник. В результате создаётся разность потенциалов, препятствующая дальнейшему переходу. Поэтому, если приложить напряжение, как показано на рисунке 2.1, а, ток через $p-n$ -переход не пойдёт. Если изменить полюса подаваемого напряжения (рис. 2.1, б), то $p-n$ -переход будет пропускать ток.

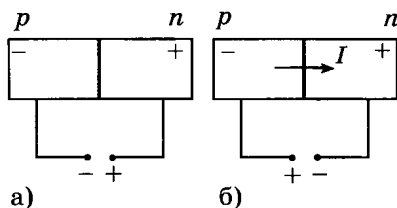


Рис. 2.1

4. Транзистор состоит из эмиттера, базы и коллектора (рис. 2.2). Эмиттер и коллектор — полупроводники с одинаковым типом проводимости (например, p -типа), база — с другим типом проводимости (например, n -типа). На переход эмиттер — база подаётся прямое напряжение, сопротивление этого перехода мало, ток свободно через него идёт. Переход база — коллектор обратный, сопротивление велико, а так как база достаточно тонкая, силы тока в коллекторе и эмиттере приблизительно равны, следовательно, напряжение в цепи коллектора много больше напряжения в цепи эмиттера. Транзистор можно использовать для усиления напряжения.

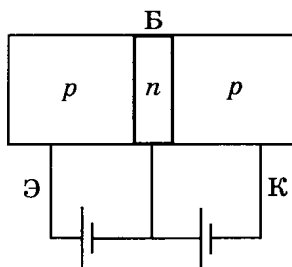


Рис. 2.2

5. Транзистор обеспечивает поступление энергии от источника в колебательную систему в определённые моменты времени в соответствии с колебаниями напряжения в контуре.

6. Обратная связь осуществляется за счёт катушки индуктивности, подключённой в цепь эмиттера, связанной с катушкой индуктивности в колебательном контуре. Колебания в контуре вызывают колебания напряжения на катушке, подключённой в цепь эмиттера. Данная связь обеспечивает открытие транзистора и поступление тока через коллектор в колебательный контур. При правильно подобранной фазе колебаний на эмиттерном переходе в цепь колебательного контура перио-

дически поступает ток из цепи коллектора, тем самым поддерживая в нём колебания.

7. Основными элементами автоколебательной системы являются источник энергии, устройство, регулирующее поступление энергии (клапан), и колебательная система. Между двумя последними должна существовать обратная связь, чтобы клапан открывался в определённые моменты времени.

8. Колебания скрипичной струны при равномерном движении смычка, колебания воздуха в органной трубе.

Решение задач из упражнения 4

Задача 1.

Дано:
 $q = 10^{-5}$ Кл
 $C = 0,01$ мкФ
 $Q = ?$

Решение:

При колебаниях вся энергия электромагнитного поля постепенно переходит в тепло, выделяющееся на активном сопротивлении.

Энергия, сообщённая контуру, равна энергии электрического поля конденсатора в начальный момент времени:

$$W_3 = \frac{q^2}{2C}.$$

$$\text{Следовательно, } Q = \frac{q^2}{2C} = \frac{(10^{-5})^2}{2 \cdot 10^{-8}} \text{ (Дж)} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = 5 \text{ мДж}.$$

Ответ: 5 мДж.

Задача 2.

Дано:
 $L = 0,003$ Гн
 $C = 13,4$ пФ
 $T = ?$

Решение:

Период свободных колебаний в колебательном контуре по формуле Томсона определяется параметрами контура:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} = 2 \cdot 3,14 \sqrt{3 \cdot 10^{-3} \cdot 13,4 \cdot 10^{-12}} \text{ (с)} \approx 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ с}.$$

Ответ: $\approx 1,26 \cdot 10^{-6}$ с.

Задача 3.

Дано:
 $400 > \nu > 500$ Гц
 $C = 10$ мкФ
 $L_2 > L > L_1 = ?$

Решение:

Как следует из уравнения свободных незатухающих колебаний в колебательном контуре $q'' + \frac{1}{LC}q = 0$, циклическая частота ко-

лебаний определяется выражением $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

$$\text{Частота колебаний } \nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Из последнего выражения следует, что $L = \frac{1}{4\pi^2 \nu^2 C}$.

Тогда $L_1 = \frac{1}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 500^2 \cdot 10^{-5}} \text{ (Гн)} \approx 10 \text{ мГн};$

$$L_2 = \frac{1}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 400^2 \cdot 10^{-5}} \text{ (Гн)} \approx 16 \text{ мГн}.$$

Следовательно, $10 \text{ мГн} < L < 16 \text{ мГн}$.

Проверим размерность полученного для индуктивности L выражения:

$$[L] = \left[\frac{1}{\left(\frac{1}{c^2} \right) \Phi} \right] = \left[\frac{c^2 \cdot B}{\text{Кл}} \right] = \left[\frac{c^2 \cdot B}{A \cdot c} \right] = \left[\frac{B \cdot c}{A} \right] = [\text{Гн}].$$

Ответ: $10 \text{ мГн} < L < 16 \text{ мГн}$.

Задача 4.

Дано:

$$n = 50 \text{ об/с}$$

$$S = 100 \text{ см}^2 = 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$B = 0,2 \text{ Тл}$$

$$\phi_0 - ?$$

Решение:

При вращении рамки магнитный поток через поверхность, ограниченную рамкой, изменяется по закону

$$\Phi = BS \cos \omega t.$$

Циклическая частота $\omega = 2\pi n$.

ЭДС индукции, возникающая при этом в рамке, определяется по закону электромагнитной индукции:

$$\phi_i = -\Phi' = BS2\pi n \sin(2\pi nt).$$

Тогда амплитуда ЭДС

$$\phi_0 = BS2\pi n = 0,2 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \text{ (В)} \approx 0,63 \text{ В}.$$

Ответ: $\approx 0,63 \text{ В}$.

Задача 5(6).

Дано:

$$L = 0,08 \text{ Гн}$$

$$\nu = 1000 \text{ Гц}$$

$$U = 100 \text{ В}$$

$$I_m - ?$$

Решение:

$$\text{Действующее значение напряжения } U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

$$\text{Амплитудные значения силы тока и напряжения связаны соотношением } I_m = \frac{U_m}{X_L} = \frac{U_m}{\omega L}.$$

Циклическая частота $\omega = 2\pi \nu$.

В результате получим

$$I_m = \frac{\sqrt{2}U}{2\pi \nu L} = \frac{1,41 \cdot 100}{2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 0,08} \text{ (А)} \approx 0,28 \text{ А}.$$

Ответ: $\approx 0,28 \text{ А}$.

ПРОИЗВОДСТВО, ПЕРЕДАЧА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (глава 5)

Ответы на вопросы к § 37

1. При передаче энергии на большое расстояние естественно использовать тонкий провод под большим напряжением. Переменный ток используется для передачи электрической энергии благодаря трансформации с минимальными потерями мощности. Генераторы и двигатели переменного тока проще по устройству и надёжнее, чем подобные устройства, работающие на постоянном токе.

2. Простейший генератор переменного тока — это рамка, вращающаяся в магнитном поле. Благодаря явлению электромагнитной индукции в рамке возникает ЭДС.

Ответы на вопросы к § 38

1. Коэффициентом трансформации называется отношение приложенного напряжения на первичной обмотке трансформатора к напряжению на концах вторичной обмотки, равное также отношению числа витков в первичной и вторичной обмотках.

2(–). Трансформатор понижает или повышает напряжение в зависимости от значения коэффициента трансформации.

Ответы на вопросы к § 39

1. Рычаг, блок, лебёдки, гидравлический пресс, эстампный станок, паровоз, пароход — всё это механизмы и машины, не использующие электрический ток.

2. Так как в генераторе возникает мощное переменное магнитное поле, то находиться вблизи генератора биологически опасно. Оно может отрицательно действовать на организм, и в частности на нервную систему.

3. При аварии электрической сети жизнь большого города замирает, так как нет света, нет тепла, не работают все электромеханические приборы, нет питания компьютеров и т. д.

Ответы на вопросы к § 40

1. Чтобы избежать существенных потерь энергии, напряжение сначала повышают, передавая по линии передач, а затем для непосредственного использования понижают.

2. Преимущество использования постоянного тока состоит в том, что при передаче мощности с помощью постоянного тока максимальное напряжение в $\sqrt{2}$ раз меньше, чем при переменном. Кроме того, линии электропередачи постоянного тока можно было бы построить, используя изоляторы меньшей длины.

Решение задач из упражнения 5

Задача 1.

Решение. Пластины сердечника ротора генератора должны быть перпендикулярны направлению вектора магнитной индукции. Они могут быть сделаны в виде отдельных дисков на общей оси.

Задача 2(3).

Решение. Обмотка с тонким проводом имеет большее число витков, поскольку рассчитана на высокое напряжение и, следовательно, малый ток. Для трансформатора справедливо выражение $U_1 I_1 = U_2 I_2$.

Задача 3(4).

Решение. Надо надеть на сердечник трансформатора один виток из проволоки. Подключив обмотку к известному переменному напряжению U_1 и измерив напряжение, возникающее на витке U_2 , можно определить число витков в обмотке по формуле $N = \frac{U_1}{U_2}$.

Задача 4(5).

Решение. Если случайно подключить трансформатор к источнику постоянного напряжения, то он может сгореть, так как возникающие индукционные токи пропорциональны скорости изменения магнитного потока. При подключении к источнику постоянного напряжения ток в обмотке и, следовательно, магнитный поток изменяются мгновенно. Поэтому сила тока в обмотке будет чрезвычайно большой.

Задача 5(—).

Решение. Мы видим постоянное излучение лампы, так как частота переменного тока в цепи в 2,5 раза больше частоты изменения интенсивности, которую может зафиксировать глаз.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ (глава 6)

Процесс распространения колебаний в пространстве называется волновым процессом.

Длина волны $\lambda = vT$, где v — скорость распространения волны, зависящая от свойств среды.

Скорость распространения продольных волн в твёрдых средах $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, где E — модуль Юнга, ρ — плотность среды.

Скорость звука в газе (продольная механическая волна) $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$, где γ — отношение теплоёмкости газа при постоянном

давлении к теплоёмкости при постоянном объёме $\frac{c_p}{c_v}$,

M — молярная масса воздуха.

Уравнение бегущей волны $y = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$, или

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right).$$

Ответы на вопросы к § 42(—)

1. Поперечными называются волны, которые вызывают колебания частиц среды, происходящие в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны. Продольными называются волны, которые вызывают колебания частиц среды в направлении, параллельном направлению распространения волны.

2. Не может, так как в воде не возникают силы, препятствующие деформации сдвига.

Ответы на вопросы к § 43(—)

1. За четверть периода волна распространяется на расстояние, равное $\lambda/4$.

2. Амплитуду колебаний шаров определяет энергия, которую сообщает шарам источник.

Ответы на вопросы к § 44

1(4). Длина волны — расстояние, на которое распространяется волна за время, равное одному периоду. Длина волны — это кратчайшее расстояние между точками, колеблющимися в фазе.

2(5). Скорость волны и длина волны связаны следующим соотношением: $\lambda = vT$.

3(6). Расстояние между соседними шарами равно $1/12$ длины волны. Разность фаз колебаний шаров, находящихся на расстоянии, равном длине волны, равна 2π . Следовательно, разность фаз соседних шаров равна $\pi/6$.

Ответы на вопросы к § 47

1. Волны, волновыми поверхностями которых являются плоскости, называются плоскими волнами. Волны, волновыми поверхностями которых являются сферы, называются сферическими волнами.

2. В газах и жидкостях не возникают силы, препятствующие деформации сдвига, поэтому в них не могут возникнуть поперечные волны.

3. Акустическими волнами называются механические волны, частоты которых находятся в пределах от 16 до 20 000 Гц. Такие волны вызывают в человеческом ухе ощущение звука.

4. Скорость звука в воздухе зависит от температуры воздуха.

 Решение задач из упражнения 6

Задача 1(2).

Дано:
 $s = 1060$ м
 $\tau = 3$ с
 $v = 330$ м/с
 $v_{\text{ст}} — ?$

Решение:

Время, через которое наблюдатель услышит звук от удара молотка, распространяющийся по воздуху, $t_1 = \frac{s}{v}$, а распространяющийся по стальному рельсу, $t_2 = \frac{s}{v_{\text{ст}}}$.

По воздуху звук распространяется медленнее, чем в твёрдом теле, поэтому $\tau = t_1 - t_2 = \frac{s}{v} - \frac{s}{v_{\text{ст}}}$.

Из этого уравнения найдём

$$v_{\text{ст}} = \frac{vs}{s - v\tau} = \frac{330 \cdot 1060}{1060 - 330 \cdot 3} \text{ (м/с)} \approx 5000 \text{ м/с.}$$

Ответ: ≈ 5000 м/с.

Задача 2(4).

Дано:
 $s = 25$ см
 $v = 680$ Гц
 $v = 340$ м/с
 $\Delta\varphi — ?$

Решение:

Длина звуковой волны $\lambda = vT = v \frac{1}{v}$.

Разность фаз колебаний в точках, находящихся на расстоянии, равном длине волны, равна 2π . Разность фаз колебаний в точках, находящихся на расстоянии s , равна $\Delta\varphi$.

Составим пропорцию и найдём разность фаз:

$$\begin{aligned} \lambda &— 2\pi, \\ s &— \Delta\varphi, \end{aligned} \quad \Delta\varphi = 2\pi \frac{s}{\lambda} = 2\pi \frac{sv}{v} = 2\pi \frac{0,25 \cdot 680}{340} = \pi.$$

Ответ: π .

Задача 3(5).

Дано:
 $v_1 = 1435$ м/с
 $v_2 = 340$ м/с
 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} — ?$

Решение:

При переходе волны из одной среды в другую не изменяется период возбуждаемых ею колебаний, а изменяется скорость распространения.

Длина звуковой волны $\lambda = vT$, тогда

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1 T}{v_2 T} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{1435}{340} \approx 4,2.$$

Ответ: увеличится приблизительно в 4,2 раза.

📖 Ответы на вопросы к § 48

1. Векторы $\vec{E}$, $\vec{B}$ и $\vec{c}$ направлены перпендикулярно друг другу (рис. 7.1(120) учебника). При этом если вращать буравчик от вектора $\vec{E}$ к вектору $\vec{B}$, то поступательное движение буравчика совпадает с направлением скорости $\vec{c}$ распространения электромагнитной волны.

2. Частица, движущаяся с ускорением, излучает электромагнитные волны. Колеблющиеся заряженные частицы, электрон, попадающий в ускоряющее или задерживающее его поле, излучают электромагнитные волны.

📖 Ответы на вопросы к § 49

1. Закрытый колебательный контур — это система с сосредоточенными параметрами. В ней индуктивность всего контура равна индуктивности катушки, ёмкостью обладает только конденсатор. Соответственно магнитное поле существует только вблизи катушки индуктивности, а электрическое поле — между пластинами конденсатора, т. е. электрические и магнитные поля разнесены в пространстве и во времени.

В контуре поля локализованы, излучение электромагнитных волн очень слабое. Поэтому закрытый колебательный контур нельзя использовать для излучения и регистрации электромагнитных волн.

2. Скорость электромагнитных волн (распространения электромагнитных возмущений) в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

3. Колебания не возникнут. Вибратор излучает волны, в которых вектор напряжённости электрического поля принадлежит оси вибратора. Максимальная интенсивность излучения — в направлении, перпендикулярном этой оси. Если второй вибратор перпендикулярен первому, излучающему волны, то проекция напряжённости электрического поля на ось второго вибратора равна нулю, поэтому в нём колебания не возникнут.

📖 Ответы на вопросы к § 50

1. Плотность потока излучения равна произведению плотности электромагнитной энергии на скорость её распространения. Плотность потока излучения определяется энергией, передаваемой за время Δt через поверхность единичной площади в направлении, перпендикулярном этой поверхности: $I = \frac{\Delta W}{S \Delta t}$.

2. Точечный источник излучения — это источник, размеры которого малы по сравнению с рассматриваемыми расстояниями. Фронт волн, излучаемых этим источником, имеет форму сферической поверхности.

3. Интенсивность излучения зависит от частоты колебаний, $I \sim \omega^4$, частота колебаний переменного тока невелика, поэтому и интенсивность излучения переменного тока мала.

Ответы на вопросы к § 52

1. Модулирование нужно для передачи информации, так как электромагнитные волны низкой (звуковой) частоты имеют малую интенсивность. Пусть, например, передаётся сигнал (рис. 2.3, а). При модулировании можно изменить амплитуду высокочастотных колебаний (рис. 2.3, б) со звуковой частотой (амплитудная модуляция, рис. 2.3, в), а можно изменить частоту (частотная модуляция, рис. 2.3, г).

2. При детектировании из высокочастотных колебаний выделяются низкочастотные колебания, таким образом, полученный в приёмнике сигнал соответствует тому сигналу, который воспринимал микрофон передатчика.

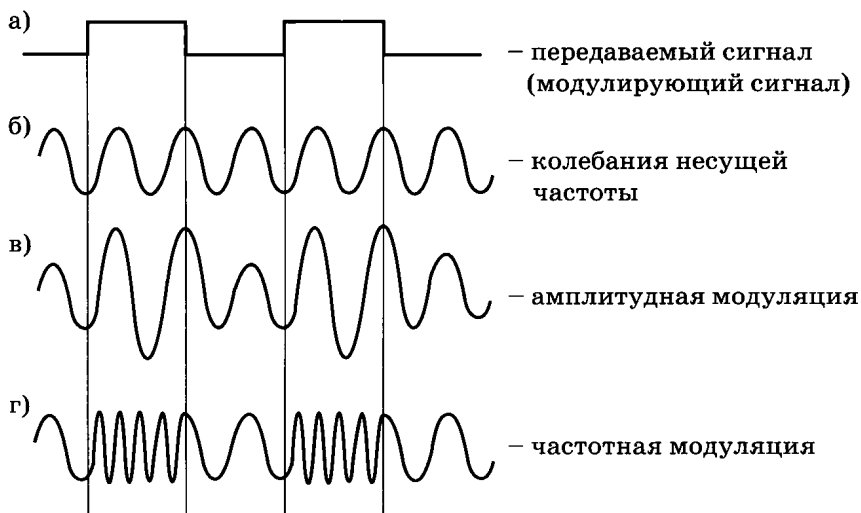


Рис. 2.3

Ответы на вопросы к § 53

1. Амплитуда автоколебаний зависит от энергии, поступающей за период от источника в контур. Энергия, в свою очередь, тем больше, чем больше напряжение на контуре генератора.

2. Детекторный приёмник состоит из колебательного контура, на котором колебания возбуждаются антенной, и цепи из детектора, конденсатора и микрофона (рис. 2.4). Детектором может служить полупро-

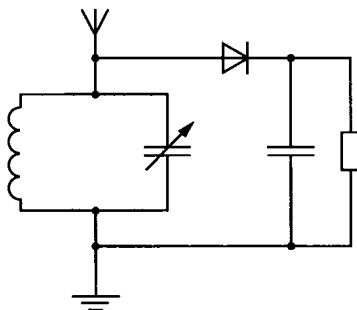


Рис. 2.4

водниковый диод, пропускающий ток только в одном направлении. Подключённый конденсатор сглаживает пульсации тока. В результате через катушку микрофона идёт ток звуковой частоты.

📖 Ответы на вопросы к § 54

1. 1) Электромагнитная волна — поперечная. Векторы $\vec{E}$, $\vec{B}$, $\vec{v}$ взаимно перпендикулярны и составляют правовинтовую тройку векторов. Ещё раз подчеркнём, что источником этого поля является переменное магнитное поле, а не положительные и отрицательные заряды. Электрическое поле в электромагнитной волне — вихревое, силовые линии этого вихревого поля лежат в плоскостях, перпендикулярных вектору $\vec{B}$.

2) Скорость электромагнитных волн в вакууме $v = c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и совпадает со скоростью света. В среде $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$, где ϵ и μ — диэлектрическая и магнитная проницаемости среды.

Напряжённость электрического поля $\vec{E}$ и индукция магнитного поля $\vec{B}$ изменяются в фазе:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right), \quad \vec{B} = \vec{B}_0 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right).$$

3) Электромагнитные волны переносят энергию.

4) Электромагнитные волны отражаются от проводящих поверхностей и преломляются на границе двух диэлектриков.

5) Электромагнитные волны оказывают давление на тела.

Если электромагнитная волна оказывает давление на тело, т. е. сообщает ему импульс, следовательно, она также обладает импульсом.

6) Наблюдается дифракция, интерференция и поляризация электромагнитных волн.

2. Если вектор напряжённости в электромагнитной волне принадлежит всё время одной плоскости, то такая волна называется плоскополяризованной. На рисунке 2.5 показан мгновенный снимок неполяризованной волны, мы видим, что вектор $\vec{B}$ имеет случайное направление. На рисунке 2.6 показан мгновенный снимок плоскополяризованной волны. Вектор $\vec{E}$ принадлежит одной плоскости.

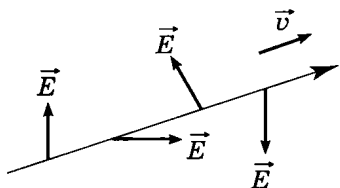


Рис. 2.5

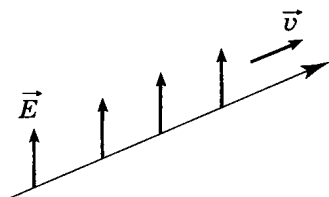


Рис. 2.6

Ответ на вопрос к § 56

Радиолокационные системы были созданы для определения положения движущихся объектов (самолётов, судов) в условиях плохой видимости.

Принцип работы радиолокатора состоит в следующем. Мощный генератор передатчика вырабатывает очень короткий импульс радиоволн. После этого система переходит в ожидание отражённого импульса — эха от движущихся объектов. В случае, когда объект находится в данном направлении, вычисляется интервал времени между излучённым и принятым импульсом — t_3 . При этом можно рассчитать расстояние до объекта по формуле $L = \frac{ct_3}{2}$.

Зная углы поворота антенны и расстояние до объекта, можно определить его координаты. В настоящее время радиолокация является основным инструментом для управления движением и посадкой летающих аппаратов.

Для навигационных целей летающие аппараты (самолёты и спутники) оборудуются системами, позволяющими получать радиолокационную карту местности. На них устанавливается неподвижная антенна, излучающая радиоволны таким образом, что они образуют на местности вытянутое пятно, расположенное по одну сторону от самолёта. Изучая запаздывание сигналов, пришедших после излучения короткого импульса, можно восстановить форму предметов, попавших в зону облучения. При движении самолёта на экране радиолокатора формируется карта местности, над которой пролетел самолёт или спутник.

Решение задач из упражнения 7

Задача 1.

Дано:

$$L = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$$

$$C_{\max} = 450 \text{ пФ} = 4,5 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$$

$$C_{\min} = 12 \text{ пФ} = 1,2 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}$$

$$\lambda_{\min} < \lambda < \lambda_{\max} \text{ — ?}$$

Решение:

Длина волны $\lambda = cT$, где T — период собственных колебаний в колебательном контуре, $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

Следовательно,

$$\lambda_{\min} = c2\pi\sqrt{LC_{\min}} = 3 \cdot 10^8 \cdot 6,28 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-4} \cdot 1,2 \cdot 10^{-11}} \text{ (м)} \approx 92 \text{ м,}$$

$$\lambda_{\max} = c2\pi\sqrt{LC_{\max}} = 3 \cdot 10^8 \cdot 6,28 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-4} \cdot 4,5 \cdot 10^{-10}} \text{ (м)} \approx 565 \text{ м.}$$

Ответ: от ≈ 92 м до ≈ 565 м.

Задача 2.

Решение. Для приёма сигналов необходимо, чтобы вектор напряжённости электрического поля электромагнитной волны, принимаемой антенной, был ей параллелен, тогда в антенне возникает переменный ток. Вектор магнитной индукции перпендикулярен

вектору напряжённости $\vec{E}$. На рисунке 2.7 показано одно из возможных расположений вектора магнитной индукции и для этого случая направление распространения (направление скорости) электромагнитной волны, падающей на антенну.

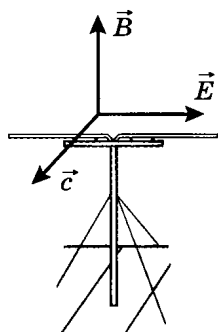


Рис. 2.7

Задача 3.

Решение. На распространение радиоволн существенное влияние оказывает ионосфера, т. е. слой ионизированного газа, расположенные на высоте 100—300 км над поверхностью Земли. Ионосфера отражает радиоволны, что позволяет передавать сигналы на большие расстояния.

На Луне нет ионосферы, поэтому коротковолновые сигналы могут распространяться в пределах прямой видимости, а волны большей длины волны могут, как и на Земле, осуществлять связь на большие расстояния за счёт дифракции (огибания волнами лунной поверхности).

ОПТИКА

СВЕТОВЫЕ ВОЛНЫ (глава 8)

Законы отражения света:

1. Падающий и отражённый лучи и нормаль к отражающей поверхности, восстановленная в точке падения, лежат в одной плоскости.

2. Угол падения α равен углу отражения β , где α — угол между падающим лучом и нормалью, β — угол между отражённым лучом и нормалью.

Законы преломления света:

1. Падающий и преломлённый лучи и нормаль к границе раздела сред в точке падения лежат в одной плоскости.

2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для данных двух сред есть величина постоянная и равная относительному показателю преломления второй среды относительно первой: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$, где α — угол между падающим лучом и нор-

малью к границе двух сред в точке падения луча, β — угол между преломлённым лучом и нормалью к границе раздела двух сред в точке падения луча.

Относительный показатель преломления $n = \frac{v_1}{v_2}$.

Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Абсолютный показатель преломления $n = \frac{c}{v}$.

Относительный показатель преломления $n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$.

Предельный угол полного отражения $\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$.

Формула линзы в общем случае: $\pm \frac{1}{F} = \pm \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f}$, где F — фокусное расстояние, d — расстояние от предмета до линзы, f — расстояние от изображения до линзы.

Слева знак «+» берём в случае собирающей, знак «-» — в случае рассеивающей линзы. При первом члене в правой части равенства знак «+» берём в случае действительного источника, знак «-» — в случае, когда на линзу падает сходящийся пучок лучей, который пересёкся бы в некоторой точке S за линзой на расстоянии d от неё, если бы линзы не было. Такой источник можно трактовать как мнимый, поэтому в этом случае в формуле линзы берём $-\frac{1}{d}$. При втором слагаемом знак «+» берём в случае

действительного изображения, знак «-» — в случае мнимого.

Оптическая сила линзы $D = \pm \frac{1}{F}$.

$D > 0$ — собирающая линза, $D < 0$ — рассеивающая линза.

Скорость распространения волны в среде с показателем преломления n $v = \frac{c}{n}$.

Длина волны λ , скорость v , частота ν и период T электромагнитной волны в среде с показателем преломления n связаны соотношением $\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{n\nu} = \frac{cT}{n} = \frac{\lambda_0}{n}$, где λ_0 — длина волны в вакууме.

Если лучи распространяются в различных средах с показателями преломления n_1 и n_2 и проходят расстояния l_1 и l_2 , то оптическая разность хода волн $\Delta = n_1 l_1 - n_2 l_2$. Если разность хода волн монохроматического света равна чётному числу длин полуволн или целому числу длин волн $\Delta = \pm k \lambda$, то в этих точках пространства наблюдаются интерференционные максимумы (яркие полосы). Если же разность хода волн равна нечётному числу длин полуволн $\Delta = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$, где $k = 0, 1, 2, \dots$, то в этих точках пространства наблюдаются интерференционные минимумы (тёмные полосы).

Координаты на экране интерференционных максимумов определяются формулой $x_k = \pm k \frac{\lambda L}{d}$, где λ — расстояние от экрана до щелей, d — расстояние между щелями, $k = 0, 1, 2, \dots$.

Из условия наблюдения интерференционных минимумов следует: $\frac{x d}{L} = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$, и координаты интерференционных минимумов определяются формулой $x_k = \pm (2k + 1) \frac{\lambda L}{2d}$.

Расстояние между двумя соседними максимумами

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = (k+1) \frac{\lambda L}{d} - k \frac{\lambda L}{d} = \frac{\lambda L}{d}.$$

Период дифракционной решётки $d = a + b$, где a — ширина прозрачных щелей, b — ширина непрозрачных промежутков.

Условие наблюдения главных максимумов: $d \sin \varphi = \pm k \lambda$, где $k = 0, 1, 2, \dots$ — порядок спектра, $-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$.

📖 Ответ на вопрос к § 59

Основная трудность при измерении скорости света связана с очень большим её значением. В вакууме скорость света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

📖 Ответы на вопросы к § 60

1. Построим изображение в плоском зеркале. Пусть точечный источник света S находится на расстоянии h от плоского зеркала (рис. 3.1). Выберем два луча от источника света S . Один из лучей падает перпендикулярно зеркалу. Тогда, отразившись, он распространяется по той же прямой SO . Второй луч падает под некоторым углом α . Отразившись под углом $\beta = \alpha$, он не пересекается с первым отражённым лучом. Но продолжения этих лучей пересекутся в точке S' . Точка S' будет *мнимым изображением* точечного источника. Треугольник $S'AS$ — равнобедренный, и OA — его высота, следовательно, $SO = S'O$ и $h = h'$. Если наблюдатель видит отражённый зеркалом поток, то ему будет казаться, что источник находится в точке S' .

2. Плоское зеркало нельзя использовать в качестве экрана, так как мы увидим изображение плёнки в проекционном фонаре на расстоянии, в 2 раза большем, чем расстояние от плёнки до экрана.

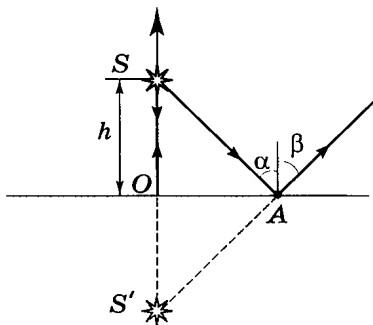


Рис. 3.1

📖 Ответы на вопросы к § 61

1. Показатель преломления определяет, во сколько раз скорость света в вакууме больше скорости света в среде.

2. Относительный показатель преломления n равен отношению скорости света в первой среде к скорости света во второй среде, т. е. он определяет отношение скоростей света в двух граничащих средах: $n = \frac{v_1}{v_2}$.

Абсолютный показатель преломления показывает отношение скоростей в вакууме или в воздухе к скорости в данной среде:

$n = \frac{c}{v}$. Абсолютный показатель преломления всегда больше единицы, а относительный в зависимости от направления распространения света может быть больше или меньше единицы.

📖 Ответы на вопросы к § 62

1. Предельный угол полного отражения определяется из формулы $\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}$, где n — относительный показатель преломления при падении луча из оптически более плотной среды в оптически менее плотную.

В данном случае, так как луч падает на границу с воздухом, $n = 2,42$ (показатель преломления алмаза). Тогда $\alpha_0 \approx 24^\circ$.

2. Телевизионная связь, основанная на явлении полного отражения, называется волоконно-оптической связью.

✍ Решение задач из упражнения 8

Задача 1(2).

Решение. На рисунке 3.2 показано, как отражённые от деревьев и других предметов лучи попадают через отверстие в ставне на стену. Ясно, что на стене изображение получается в перевёрнутом виде.

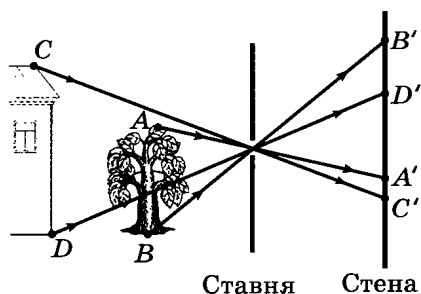


Рис. 3.2

Задача 2(3).

Решение. Тень от ног человека более чёткая, так как ноги загораживают поток, идущий от фонаря, и полутень, как мы видим из рисунка 3.3, а, мала. Тень от головы большая, и также достаточно большая полутень, поэтому тень от головы более расплывчатая. Наличие тени и полутени объясняется протяжённостью источника. На рисунке 3.3, б показаны тени от точечного источника, мы видим, что и от ног и от головы наблюдаются две чёткие тени.

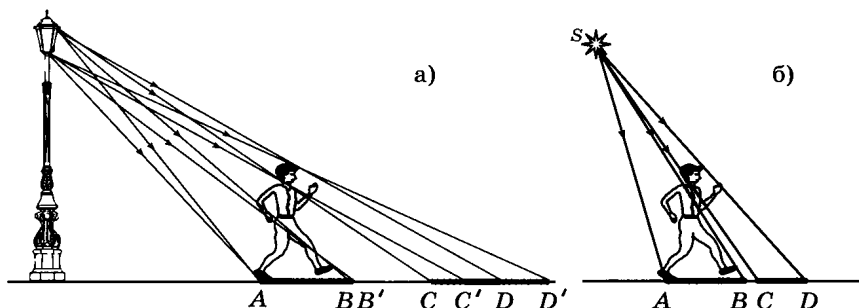


Рис. 3.3

Задача 3(4).

Дано:

$$\begin{aligned} L &= 71 \text{ км} = \\ &= 7,1 \cdot 10^4 \text{ м} \\ c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \\ v &= ? \end{aligned}$$

Решение:

За то время, когда луч пройдёт расстояние до зеркала, от которого он отразится в первый раз, до зеркала, от которого он должен отразиться во второй раз, призма должна повернуться на такой угол, чтобы при втором отражении луч попал в зрительную трубу. Для этого минимальный угол поворота, как мы видим из рисунка, должен быть равен $4\pi/8$, т. е. призма должна повернуться на $1/8$ полного оборота.

Составим уравнение: $\frac{L}{c} = \frac{1/8}{v}$.

Окончательно число оборотов в секунду

$$v = \frac{(1/8)c}{L} = \frac{(1/8) \cdot 3 \cdot 10^8}{7,1 \cdot 10^4} \text{ (об/с)} = 528 \text{ об/с}.$$

Очевидно, что если призма сделает 2, 3 и т. д. восьмьх оборота за время движения луча от призмы и обратно, то луч после второго отражения также попадёт в зрительную трубу.

Поэтому ответ надо записать в виде $v = 528k$ об/с, при этом k имеет любое целое значение 1, 2, 3, ...

Ответ: $v = 528k$ об/с.

Задача 4(6).

Дано:

$$\begin{aligned} \alpha &= 30^\circ \\ l &= 10 \text{ см} \\ d &= ? \end{aligned}$$

Решение:

Изображения предмета, находящегося в точке A , в плоских зеркалах мнимые и находятся на том же расстоянии от зеркал, что и предмет

(рис. 3.4). Обозначим изображения буквами B и C . Как видно из рисунка, треугольник ABC равнобедренный, при этом углы у основания равны соответственно углу DOA как углы между двумя перпендикулярными сторонами и равны $\alpha/2$.

$AB = 2DA$, а из треугольника ADO сторона DA равна $l \sin \frac{\alpha}{2}$.

Таким образом, $d = 2 \cdot 2l \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2} = 2l \sin \alpha = 10 \text{ см}$.

Ответ: 10 см.

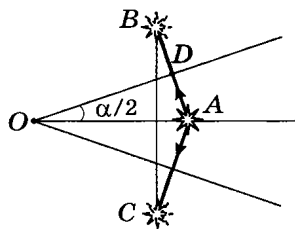


Рис. 3.4

Задача 5(7).

Решение. 1) Если продлить луч AB и отметить на нём точку S_2 , симметричную точке S , как показано на рисунке 3.5, то получим равнобедренный треугольник SAS_2 с основанием SS_2 . Перпендикуляр AA_1 является высотой

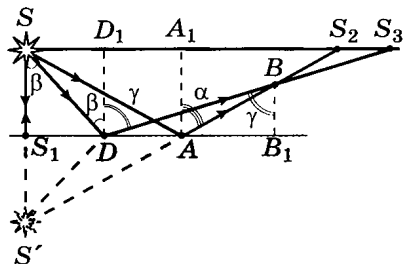


Рис. 3.5

этого треугольника и биссектрисой угла SAS_2 . Построим аналогично треугольник SDS_3 . Перпендикуляр DD_1 , восстановленный к зеркалу в точке D , являясь высотой треугольника SDS_3 , не является биссектрисой угла SDS_3 , так как стороны SD и DS_3 не равны между собой. Следовательно, угол падения не равен углу отражения: $\beta \neq \gamma$.

2) Построим изображение S' источника S в зеркале. Проведём два луча: SS_1 и SA . После отражения от зеркала получим лучи S_1S и AS_2 , продолжения которых пересекутся в точке S' и дадут мнимое изображение источника.

Предположим, что луч SD после отражения также проходит через точку B , а его продолжение через точку S' . Очевидно, что в этом случае линия $S'DB$ — ломаная. Любая ломаная, соединяющая две точки, всегда длиннее прямой, соединяющей эти же две точки.

Таким образом, путь $S'AB$, равный пути SAB , является минимальным и будет пройден светом за меньшее время, чем путь SDB .

Замечание. Ответ на второй вопрос можно получить другим способом без построения изображения S' источника S в зеркале. Обозначим путь, пройденный лучом от точки S до точки B , через L . Тогда путь $L = SDB$. Как следует из рисунка, $L = \frac{SS_1}{\cos \beta} + \frac{BS_1}{\cos \gamma}$, где BS_1

и SS_1 — постоянные по условию задачи величины, а углы β и γ изменяются в зависимости от точки падения луча.

Путь L зависит от угла падения β , т. е. является функцией $L(\beta)$.

Исследовав эту функцию на экстремум, получим, что $\frac{\sin \beta}{\sin \gamma} = 1$.

Следовательно, минимальный путь будет при условии, когда $\sin \beta = \sin \gamma$ и, соответственно, когда выполняется закон отражения, а именно угол падения равен углу отражения.

Таким образом, путь SAB является минимальным. Путь SDB больше пути SAB и будет пройден светом за большее время, чем путь SAB .

Задача 6(8).

Решение. Человек видит лучи, отражённые от зеркала и попадающие ему в глаза.

Согласно построению (рис. 3.6) очевидно, что высота зеркала должна быть равна $H/2$.

Ответ: $H/2$.

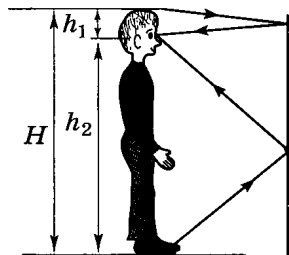


Рис. 3.6

Задача 7(9).

Решение. По условию задачи первой средой является алмаз ($n_1 = 2,42$), а второй — вода ($n_2 = 1,33$). Относительный показатель преломления воды относительно алмаза $n = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,33}{2,42} \approx 0,55$.

Во втором случае свет идёт из льда ($n_1 = 1,31$) в сероуглерод ($n_2 = 1,63$), поэтому $n = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,63}{1,31} \approx 1,24$.

Ответ: $\approx 0,55$; $\approx 1,24$.

Задача 8(13).

Решение. Угол падения на границу призма — воздух преломлённого в призме луча не должен превышать предельный угол полного отражения.

Максимальный угол падения луча на границу призма — воздух будет при условии, что луч скользит по грани призмы (рис. 3.7). В этом случае угол падения равен предельному углу $\alpha_0 = 30^\circ$.

Показатель преломления связан с предельным углом соотношением $\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}$.

$$\text{Тогда } n = \frac{1}{\sin \alpha_0} = \frac{1}{\sin 30^\circ} = 2.$$

Ответ: 2.

Задача 9(14).

Решение. Угол у основания равнобедренной прямоугольной призмы 45° . Показатель преломления стекла, из которого сделана призма, считаем равным 1,5.

Тогда предельный угол полного отражения на границе стекло — воздух определится из выражения $\sin \alpha_0 = \frac{1}{n} = \frac{1}{1,5} = 0,67$.

Отсюда получим $\alpha_0 \approx 42^\circ$.

Угол падения луча в случае «а» на эту границу с воздухом равен 45° . Очевидно, что луч отразится на границе и затем покинет призму через грань BC . Призма повернёт луч на 90° (рис. 3.8, а).

В случае «б» луч преломится на границе воздух — стекло. Угол преломления найдём из закона преломления света: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$. Угол

β равен 28° . Угол, под которым луч падает на границу AB стекло — воздух (рис. 3.8, б), равен 62° и больше α_0 . Поэтому он испытывает полное отражение от границы и затем упадёт на границу BC стекло — воздух под углом β .

Угол преломления этого луча, очевидно, равен 45° . Луч не изменяет направления распространения при падении на призму.

Если призма погружена в воду, то предельный угол отражения определится из выражения

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n} = \frac{1,33}{1,5} = 0,87. \text{ В этом}$$

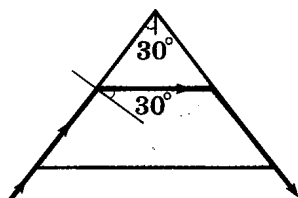


Рис. 3.7

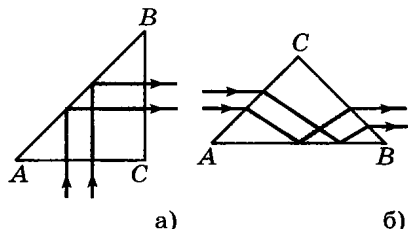


Рис. 3.8

случае $\alpha_0 \approx 60^\circ$. В случае «а» угол падения луча на границу стекло — вода, равный 45° , меньше предельного угла, и луч выйдет за пределы этой границы (рис. 3.9, а).

В случае «б» угол преломления луча равен 39° . На границу стекло — вода он падает под углом 51° . Луч выйдет, преломившись, через основание призмы (рис. 3.9, б).

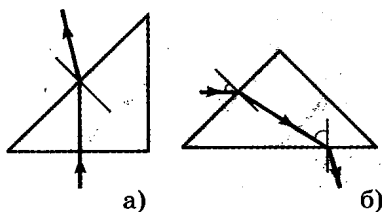


Рис. 3.9

Ответы на вопросы к § 65

1. Линза считается тонкой, если её толщина существенно меньше радиусов сферических поверхностей линзы и расстояния от предмета до линзы.

В тонкой линзе можно не рассматривать ход лучей, а, зная расстояние от предмета до линзы и фокусное расстояние, определить положение изображения.

2. Точка, в которой после преломления собираются лучи, падающие на линзу и параллельные главной оптической оси, называется главным фокусом линзы.

3 (4). Для построения изображения предмета в линзе удобно пользоваться лучом, параллельным главной оптической оси, лучом, проходящим через оптический центр линзы, и лучом, проходящим через фокус, а затем после преломления идущим параллельно главной оптической оси (рис. 8.37(190) учебника).

Для построения изображения точечного источника, находящегося на главной оптической оси (рис. 8.38(191) учебника), проводим луч под углом к оси, затем побочную оптическую ось, находим пересечение побочной оптической оси с фокальной плоскостью линзы. Через эту точку проводим преломлённый луч до пересечения с главной оптической осью. Эта точка пересечения — изображение точечного источника.

4(5). Отношение линейных размеров изображения к линейному размеру предмета называется линейным увеличением линзы.

Решение задач из упражнения 9

Задача 1(2).

Решение. Как видно из рисунка 3.10, если закрыть верхнюю половину линзы, то положение изображения не изменится. Однако яркость его уменьшится, так как в 2 раза уменьшится световой поток через линзу.

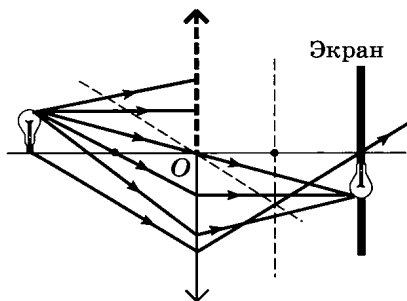


Рис. 3.10

Задача 2(3).

Решение. Как видно из рисунка 3.11, если на плёнке фотоаппарата получается чёткое изображение лица, то изображение дерева будет расплывчатым. Изображение, например, точки A дерева находится перед плёнкой, а на плёнке будет пятно.

Чтобы изображение леса стало чётким, надо к нему приблизить объектив фотоаппарата, тогда изображение лица станет расплывчатым.

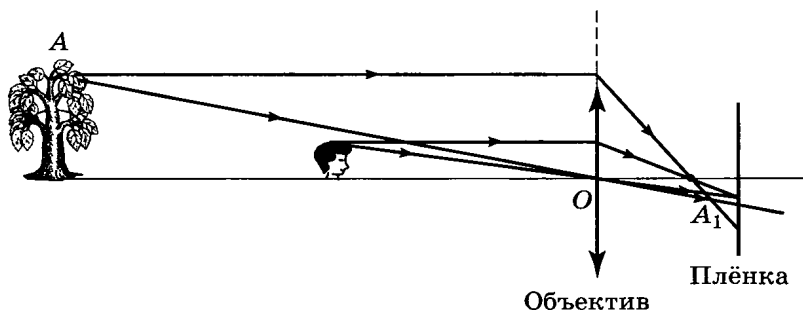


Рис. 3.11

Задача 3(4). См. ответ в учебнике.

Задача 4(5).

Решение. На рисунке 3.12, а—г показано построение изображений предмета во всех перечисленных случаях.

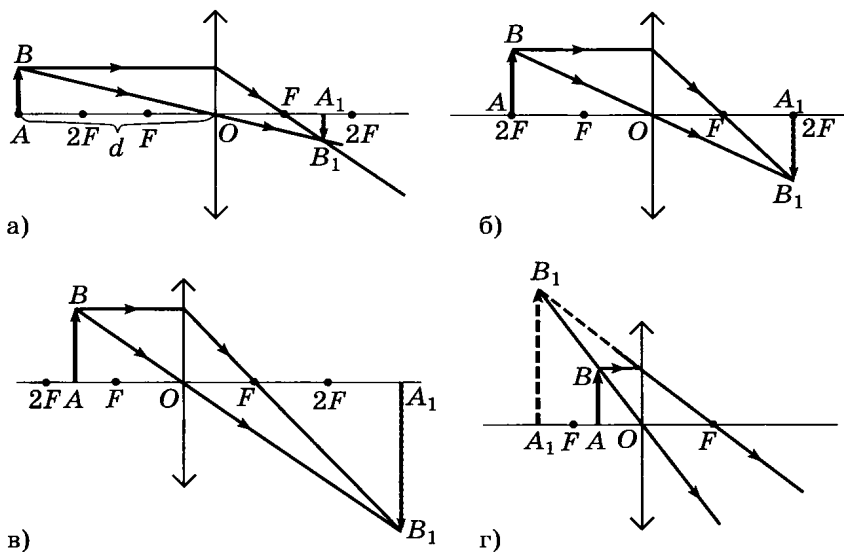


Рис. 3.12

Задача 5(6).

Решение. На рисунке 3.13 показано нахождение положения главных фокусов линзы.



Рис. 3.13

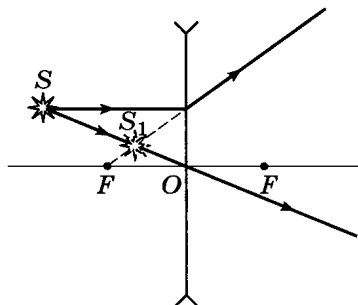


Рис. 3.14

Задача 6(9).

Решение. Проводим первый луч, параллельный главной оптической оси (рис. 3.14). При преломлении в рассеивающей линзе его продолжение пройдет через фокус. Второй луч проведем через оптический центр линзы. Точка пересечения этих лучей даст мнимое изображение. Третий луч можно не проводить.

Задача 7(10).

Решение. Из рисунка 3.15 очевидно, что $SAOC$ — параллелограмм, точка пересечения его диагоналей находится на их серединах, следовательно, расстояние от изображения до линзы $f = \frac{F}{2}$.

Ответ: $F/2$.

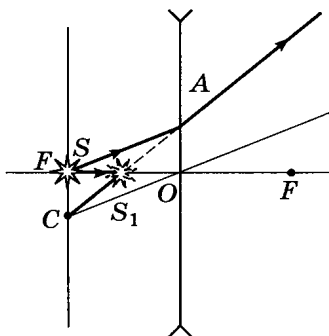


Рис. 3.15

📖 Ответы на вопросы к § 66

1. Если красное стекло поднести к записи красным карандашом, то она не будет видна, так как стекло пропускает только красные лучи и весь фон будет красным. Если же рассматривать записку красным карандашом через зелёное стекло, то на зелёном фоне мы увидим слово «отлично», написанное чёрными буквами, так как красные лучи света зелёное стекло не пропускает.

2. У широкого пучка дисперсионные спектры соседних тонких пучков накладываются друг на друга, и в результате получается белый свет. На краях это наложение не происходит, поэтому края оказываются окрашенными. Узкий пучок разделяется на тонкие цветные пучки вследствие разных показателей преломления для каждого цвета. Эти цветные пучки пространственно разделены.

3. Зависимость показателя преломления среды от частоты световой волны называется дисперсией света.

📖 Ответы на вопросы к § 67

1. Источники волн, вызывающих в пространстве колебания, разность фаз которых не зависит от времени, называются когерентными источниками. Необходимым условием когерентности источников является равенство частот излучаемых ими волн.

2. Интерференция — явление наложения волн, в результате которого образуется постоянное во времени распределение в пространстве амплитуд колебаний частиц среды. В некоторых точках колебания происходят с максимальной амплитудой (интерференционные максимумы), в некоторых — с минимальной (интерференционные минимумы). Между максимумами и минимумами амплитуда колебаний плавно уменьшается.

📖 Ответы на вопросы к § 68

1. Поток от одного источника разделяют на два потока, которые идут по разным путям, а затем соединяют в некоторой области пространства, называемой областью интерференции. Волны, образующие интерференционную картину в этом случае, когерентны, так как разность фаз колебаний, которые они возбуждают, зависит только от разности их хода и не зависит от времени. На рисунке 3.16 показаны бизеркала Френеля, с помощью которых можно наблюдать интерференционную картину, S_1 и S_2 — мнимые когерентные источники.

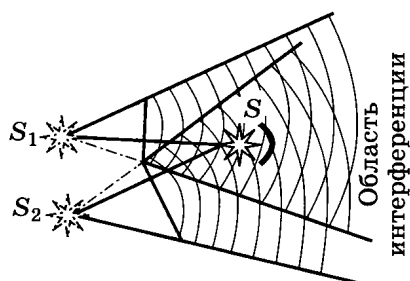


Рис. 3.16

2. Интерференция света — это явление наложения световых волн, в результате которого наблюдается устойчивая во времени картина максимумов и минимумов интенсивности света в различных точках пространства.

3. Различие в цвете связано с различием в длине волны (или частоте) световых волн.

4. При ударе отслаиваются тонкие слои льда. Свет, падая, отражается от верхней поверхности и от поверхности трещины. Две отражённые волны когерентны. В зависимости от разности хода выполняются условия максимума для разных длин волн. Мы наблюдаем интерференционную картину в тонкой плёнке, которая представляет собой чередование разноцветных полос.

5. Длина волны света уменьшается в воде, однако частота световой волны остаётся прежней, и ныряльщик видит под водой предметы в естественном свете. Обратим внимание на то, что показатель преломления воды приблизительно равен показателю преломления хрусталика глаза, поэтому его оптическая сила уменьшается, фокусное расстояние увеличивается, глаз становится дальнозорким. Так как длина волны в воде и в глазе изменяется одинаково, то окружающие предметы он видит в естественном свете.

Ответы на вопросы к § 70

1. Открывая окно, мы слышим шум от объектов, находящихся в разных местах, часть из которых находится вне поля зрения. От шума нельзя избавиться, даже если окно чуть-чуть приоткрыто. Благодаря дифракции звуковые волны огибают края щели и распространяются по всей комнате.

Мы слышим голос человека, стоящего к нам спиной. Благодаря дифракции звуковые волны огибают его голову и попадают к нам в ухо.

При шторме на море волны возбуждают колебания на всей поверхности залива, с которым море соединено узким проливом.

2. Дифракция проявляется отчётливо, если размеры препятствия соизмеримы с длиной волны. Если считать скорость звука в воздухе равной 330 м/с, то размеры препятствий, на которых мы наблюдаем дифракцию звуковых волн, могут быть от 1,65 см до 20 м (частота звуковых волн изменяется в пределах от 16 до 20 000 Гц).

Ответы на вопросы к § 71

1(–). Явление огибания световыми волнами препятствия и падения света в область геометрической тени называется дифракцией.

2(–). Условием наблюдения дифракции является соизмеримость препятствия с длиной волны. Длины световых волн очень малы ($\sim 10^{-7}$ м), а звуковых волн порядка метра, поэтому дифракцию механических волн наблюдать легче.

3(1). Нельзя наблюдать в микроскоп атом, так как размеры атома очень малы и световые волны его огибают, не отражаясь.

4. Законы геометрической оптики справедливы в том случае, если размеры препятствий (предметов) много больше длины световой волны.

Ответы на вопросы к § 72

1. Положение максимумов от числа щелей не зависит, от числа щелей зависит чёткость дифракционного спектра. Чем больше число щелей, тем уже дифракционные полосы.

2. Перо представляет собой дифракционную решётку, поэтому если мы посмотрим на электрическую лампочку сквозь перо, то увидим радужные цвета.

3. В призме мы наблюдаем один спектр. При замене призмы дифракционной решёткой мы будем наблюдать спектры разных порядков.

В дисперсионном спектре ширина спектральных линий различна, в дифракционном спектре одного порядка ширина спектральных линий приблизительно одинакова.

Ответ на вопрос к § 73

В естественном свете векторы напряжённости и магнитной индукции имеют разные направления, оставаясь при этом перпендикулярными друг другу и скорости света. В поляризованном свете векторы $\vec{E}$ и $\vec{B}$ имеют определённое направление. В плоскополяризованном свете они всё время принадлежат одним и тем же взаимно перпендикулярным плоскостям.

Решение задач из упражнения 10

Задача 1.

Дано:
 $\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$
 $d = 0,3 \text{ см}$
 $L = 9 \text{ м}$

Максимум или минимум
 в точке А — ?

Решение:

Условие наблюдения интерференционного максимума — разность хода должна быть равна целому числу длин волн:

$$\Delta = \pm k\lambda.$$

Определим разность хода волн от источников до точки А.

Обозначим расстояния от источников до точки А через l_1 и l_2 .

Треугольник AS_1S_2 — прямоугольный. Поэтому $l_2^2 - l_1^2 = d^2$,
 $(l_2 - l_1)(l_2 + l_1) = d^2$.

$l_2 - l_1$ — разность хода волн Δ , так как d мало по сравнению с L , то можно считать, что $l_2 + l_1 \approx 2L$.

Тогда $\Delta = \frac{d^2}{2L}$.

Если $\Delta = \frac{d^2}{2L} = \pm k\lambda$, то наблюдаем максимум.

Произведём расчёт: $\frac{9 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 9} (\text{м}) = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м} = \lambda$. Таким образом, в точке А наблюдается максимум.

Ответ: максимум.

Задача 2(4).

Дано:
 $d = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ см}$
 $\Delta\varphi = 2^\circ 30'$
 λ — ?

Решение:

Условие дифракционного максимума в спектре дифракционной решётки: $d \sin \varphi = \pm k\lambda$.

Для спектра второго порядка имеем $d \sin \varphi_2 = \pm 2\lambda$, для спектра третьего порядка $d \sin \varphi_3 = \pm 3\lambda$. Так как углы дифракции для спектров второго и третьего порядков малы, то можно записать:
 $\Delta\varphi = \varphi_3 - \varphi_2 = (3 - 2) \frac{\lambda}{d} = \frac{\lambda}{d}$.

Таким образом, $\lambda = d\Delta\varphi = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{2,5^\circ}{180^\circ} \cdot 3,14 (\text{м}) \approx 5,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

Ответ: $\approx 5,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

Ответы на вопросы к § 76

1. В основе специальной теории относительности лежат два постулата:

1) Все процессы протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчёта.

2) Скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчёта и не зависит ни от скорости приёмника светового сигнала, ни от скорости источника света.

2. Принцип относительности Галилея в механике гласит: все законы механики выглядят одинаково во всех инерциальных системах отсчёта. Принцип относительности в теории относительности утверждает, что не только механические процессы, но и все физические процессы протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчёта.

Ответ на вопрос к § 77

События, происшедшие в одно и то же время при одинаковых показаниях синхронизированных часов, являются одновременными.

Ответы на вопросы к § 78

1. При скоростях, много меньших скорости света, релятивистский закон сложения скоростей переходит в классический закон сложения скоростей: $\vec{v}_a = \vec{v}_{отн} + \vec{v}_{пер}$, где $\vec{v}_a$ — скорость тела в неподвижной системе отсчёта, $\vec{v}_{отн}$ — скорость тела в подвижной системе отсчёта, $\vec{v}_{пер}$ — скорость подвижной системы отсчёта относительно неподвижной.

2. Скорость движения тел зависит от системы отсчёта, относительно которой рассматривается движение тела, а скорость света во всех инерциальных системах отсчёта одинакова.

Ответы на вопросы к § 79

1(–). При переходе от одной инерциальной системы отсчёта к другой не меняются масса тела, скорость света, значение $E^2 - p^2 c^2$.

2(–). Фотоны, нейтрино.

3(–). Принцип соответствия утверждает, что любая более сложная и более общая теория, дающая более глубокое описание процессов и имеющая более широкую область применения, чем старая, должна включать последнюю как предельный случай. Так, например, принцип Галилея — предельный случай специальной теории относительности при скоростях, много меньших скорости света.

Решение задач из упражнения 11

Задача 1.

Решение. Скорость света не зависит от выбора системы отсчёта. Поэтому если оба наблюдателя находились от точек A и B на одинаковых расстояниях в моменты наблюдения ударов молний и если движущемуся наблюдателю показалось, что они ударили одновременно, то с точки зрения неподвижного наблюдателя молния сзади (в точке B) ударила раньше, чем спереди (в точке A), так как наблюдатель в поезде удалялся от сигнала в точке B и приближался к сигналу в точке A .

Ответ: в точке B .

Задача 2(-).

Дано: $E_1 = 2mc^2$ $U = ?$		Решение: Энергия электрона, ускоренного электрическим полем, $E_1 = 2mc^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.
--	--	--

Работа электростатического поля определяется выражением $A = |q_e| U$.

Следовательно, $2mc^2 = |q_e| U$.

$$\text{Тогда } U = \frac{2mc^2}{|q_e|} = \frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ (В)} \approx 10^6 \text{ В.}$$

Ответ: $\approx 10^6$ В.

Задача 3(-).

Решение. Не может, так как скорость света в данной среде — максимально возможная скорость, с которой движутся безмассовые частицы.

ИЗЛУЧЕНИЕ И СПЕКТРЫ (глава 10)

Ответы на вопросы к § 80 (§ 81)

1. Источники

теплого излучения — Солнце, лампы накаливания;

катодолумinesцентного — электронно-лучевая трубка телевизора;

электролюминесцентного — лампы рекламы, дневного света;

хемилумinesцентного — светлячки;

фотолумinesцентного — ёлочные игрушки, покрытые специальной краской, циферблаты часов.

2. Обычно в течение дня на человека действует тепловое излучение от Солнца и ламп накаливания; электролюминесцентное, если в доме есть лампы дневного света; катодолумinesцентное, если он смотрит телевизор, в котором есть электронно-лучевая трубка.

Ответы на вопросы к § 81 (§ 82)

1(–). Если использовать призму, то можно взять зрительную трубу с небольшим углом перемещения. В спектро스코пе, в котором используется дифракционная решётка, необходимо измерять угол.

2(–). Интенсивность излучения в видимой части спектра уменьшается при увеличении частоты.

Ответы на вопросы к § 82 (§ 83)

1. В лампе излучателем является раскалённая спираль. Твёрдое тело излучает сплошной спектр. Следовательно, лампа излучает сплошной спектр.

2. Линейчатый спектр состоит из линий различной яркости и цвета, разделённых тёмными полосами. Полосатый спектр состоит из полос, разделённых тёмными промежутками. Непрерывный спектр представляет собой сплошную разноцветную линию. Сплошной спектр излучают нагретые тела, жидкости и газы при очень высоком давлении. Линейчатые спектры излучаются атомами газообразного вещества, находящегося в атомарном состоянии.

Ответы на вопросы к § 83 (§ 84)

1. Для того чтобы узнать химический состав вещества, его необходимо перевести в газообразное атомарное состояние.

2. По линиям спектра поглощения исследовался химический состав глубинных слоёв Солнца.

Ответы на вопросы к § 84 (§ 85)

1. Стекло не пропускает ультрафиолетовые лучи, а именно они вызывают загар.

2. Источниками ультрафиолетового излучения являются ртутные, ксеноновые и другие газоразрядные лампы. Часть спектра накаливаемых до 3000 К твёрдых тел находится в ультрафиолетовом диапазоне. Звёзды, Солнце также излучают ультрафиолетовое излучение.

Ответы на вопросы к § 85 (§ 86)

1. Рентгеновская трубка состоит из катода, испускающего электроны, цилиндра, фокусирующего поток электронов, и анода, с которым сталкиваются электроны. При столкновении электроны резко изменяют скорость, т. е. движутся с большим ускорением. Частица, движущаяся с ускорением, излучает. Так как ускорение велико, то происходит излучение волн с большой частотой — рентгеновское излучение. Кроме этого, рентгеновское излучение происходит за счёт переходов электронов на внутренних оболочках атомов.

2. В устройстве микроскопа используются короткофокусные линзы. Невозможно создать линзы, которые фокусировали бы рентгеновские лучи. Дело в том, что рентгеновские лучи имеют очень маленькую длину волны, и благодаря этому мы получаем

дифракционную картину, по которой можно определить структуру молекул, расположение атомов в кристаллах и т. д. А в линзах лучи отклоняются не вследствие взаимодействия их с атомами, а вследствие изменения скорости распространения волн в среде.

Ответы на вопросы к § 86 (§ 87)

1. Радиоволны регистрируются антеннами, подключёнными к приёмным устройствам. Излучения оптического диапазона — оптическими приборами, в частности глазом. Рентгеновские лучи так же, как и радиоволны, не видны, они регистрируются фотоплёнками.

2(–). Излучения различных длин волн отличаются друг от друга по поглощению их веществом. Рентгеновские лучи и γ -лучи слабо поглощаются веществом и имеют большую проникающую способность, в то же время волны оптического диапазона задерживаются листом бумаги.

Также от длины волны зависит коэффициент отражения волн.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

СВЕТОВЫЕ КВАНТЫ (глава 11)

Энергия кванта

$$E = h\nu,$$

где h — постоянная Планка; $h = (6,62172 \pm 0,000036) \cdot 10^{-34}$ Дж · с, в расчётах $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

Скорость фотона равна скорости света c .

Масса покоя фотона равна нулю.

Энергия фотона $E = h\nu = mc^2$.

Импульс фотона $p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$.

Уравнение Эйнштейна $h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}$, где $A_{\text{вых}}$ — работа выхода электрона из металла, $\frac{mv^2}{2}$ — кинетическая энергия выбитого электрона.

Красная граница фотоэффекта $\nu_{\text{кр}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}$; $\lambda_{\text{кр}} = \frac{c}{\nu_{\text{кр}}} = \frac{ch}{A_{\text{вых}}}$.

Ответы на вопросы к § 87 (§ 88)

1. Энергия фотона прямо пропорциональна частоте излучения:

$$E = h\nu.$$

Коэффициент пропорциональности $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с называется постоянной Планка.

2. Известны три закона фотоэффекта, сформулированные А. Г. Столетовым.

Первый закон: фототок насыщения прямо пропорционален падающему световому потоку.

Второй закон: максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов увеличивается с частотой падающего светового потока по линейному закону и не зависит от его интенсивности.

Третий закон: для каждого вещества есть максимальная длина волны, при которой фотоэффект ещё наблюдается. При длинах волн, больших максимальной, фотоэффекта нет.

Ответы на вопросы к § 88 (§ 89)

1. Наличие красной границы фотоэффекта доказывает, что свет поглощается порциями — квантами. Изучение законов теплового излучения показало, что свет излучается порциями. Это доказывает корпускулярную природу света.

2. Красная граница фотоэффекта — это максимальная длина волны, при которой фотоэффект наблюдается. Название «красная граница» было дано по аналогии со спектром белого света, максимальная длина волны которого соответствует красному цвету.

Ответы на вопросы к § 89 (§ 90)

1. Зная частоту световой волны, можно определить энергию фотона $E = h\nu$, массу фотона $m = \frac{h\nu}{c^2}$ и его импульс $p = \frac{h\nu}{c}$.

2. Основные вопросы физики: что такое свет и какова его природа? Сложность ответов на эти вопросы состоит в том, что при рассмотрении таких явлений, как интерференция, дифракция, свет проявляет свою волновую природу, т. е. эти явления можно объяснить, считая, что свет — *электромагнитная волна*. В то же время при изучении таких явлений, как тепловое излучение, фотоэффект, было обнаружено, что свет проявляет себя как поток частиц (корпускул или квантов). При этом свойства света рассматриваются в рамках квантовой теории света. В классической физике такая двойственность свойств, или, как говорят, дуализм волновых и корпускулярных свойств света, объяснена быть не может. Распространение волны и движение частицы в классической физике считаются совершенно разными процессами, а волна и частица — разными физическими объектами, хотя бы потому, что частица занимает определённую часть пространства (локализована в пространстве), мы можем говорить о размерах частицы, её массе; волна же нелокализованный физический объект, можно говорить о размерах пространства, в котором наблюдаются колебания, и эти размеры изменяются во времени. Сходство состоит в том, что и волна, и частица переносят энергию.

Волной передаётся энергия от одной точки пространства к другой, но не переносится масса, при движении частицы как раз переносится масса и соответственно энергия, которой она обладает.

Впоследствии было выяснено, что дуализм присущ не только свету, но и всем микрочастицам. Волновые свойства были обнаружены у электронов, нейтронов и т. д.

 Решение задач из упражнения 12

Задача 1.

Решение. Перепишем формулу Эйнштейна в виде $E_k = h\nu - A$. На рисунке 4.1 показана эта зависимость. Тангенс угла наклона прямой численно равен постоянной Планка.

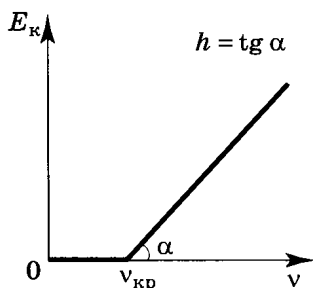


Рис. 4.1

Задача 2.

Дано:

$$E = 4,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$\lambda = 3,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$n = ?$

Решение:

Абсолютный показатель преломления равен отношению скорости света в вакууме к скорости света в среде: $n = \frac{c}{v}$.

Энергия фотона $E = h\nu$. Из этого выражения находим $\nu = \frac{E}{h}$.

Длина волны $\lambda = \nu T = \frac{v}{\nu}$. Отсюда $v = \lambda \nu = \lambda \frac{E}{h}$.

$$\text{Тогда } n = \frac{ch}{\lambda E} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{3 \cdot 10^{-7} \cdot 4,4 \cdot 10^{-19}} \approx 1,5.$$

Ответ: $\approx 1,5$.

Задача 3.

Дано:

$$\lambda = 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$E = ?$

Решение:

Энергия фотона $E = h\nu$.

$$\text{Частота } \nu = \frac{c}{\lambda}.$$

Тогда

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-7}} \text{ (Дж)} \approx 4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Ответ: $\approx 4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$

Задача 4.

Дано:

$$W_k = 4,5 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

$$A = 7,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$\lambda = ?$

Решение:

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта имеет вид $h\nu = A + W_k$.

$$\nu = \frac{c}{\lambda}.$$

Из написанных выражений получим

$$\lambda = \frac{hc}{A + W_k} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{7,6 \cdot 10^{-19} + 4,5 \cdot 10^{-20}} \text{ (м)} \approx 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Ответ: $\approx 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$

АТОМНАЯ ФИЗИКА (глава 12)

Энергия испускаемого (поглощаемого) фотона $h\nu = W_2 - W_1$, где h — постоянная Планка, $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с, ν — частота испускаемого (поглощаемого) фотона.

Условие стационарности n -й орбиты (условие квантования орбит) по Бору: $mv_n r_n = n \cdot \hbar$, где $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,0545887 \cdot 10^{-34}$ Дж · с;

v_n и r_n — скорость и радиус электрона на n -й орбите, n — положительное число, называемое *главным квантовым числом*.

Радиусы возможных орбит электронов в водородоподобном атоме, т. е. атоме, потерявшем все электроны, кроме одного,

$$r_n = 4\pi\epsilon_0 \frac{\hbar^2 n^2}{mZq_e^2}.$$

Радиус первой орбиты атома водорода $r_1 = 0,529 \cdot 10^{-10}$ м, радиус n орбиты $r_n = r_1 \cdot n^2$.

Энергия электрона в атоме $W_n = -\frac{Zq_e^4 m}{32\pi^2 \epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2}$, где $n = 1, 2,$

3, ...

Полная энергия электрона, движущегося по первой боровской орбите, $W_1 = -2,17 \cdot 10^{-18}$ Дж = -13,6 эВ.

Энергия фотона при переходе электрона с k -й орбиты на n -ю:

$$h\nu = W_n - W_k = \left(\frac{Z^2 q_e^4 m}{32\pi^2 \epsilon_0^2 h^2} \right) \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

Энергия низшего энергетического уровня атома водорода

$$W_1 = -\frac{Z^2 q_e^4 m}{32\pi^2 \epsilon_0^2 h^2} = -13,6 \text{ эВ}.$$

Значения энергии для второго и последующих энергетических

уровней $W_2 = \frac{W_1}{2^2}$, $W_3 = \frac{W_1}{3^2}$, ...

Длины волн излучения атома $\frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = \frac{Z^2 q_e^4 m}{32\pi^2 \epsilon_0^2 h^3 c} \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$.

Энергия ионизации атома $\Delta W = W_\infty - W_1 = -W_1$.

Энергия ионизации атома водорода равна 13,6 эВ.

Ответы на вопросы к § 93 (§ 94)

1. Столкновение α -частицы с электроном в атоме, а также их кулоновское взаимодействие не могут вызвать существенное отклонение α -частицы, так как масса электрона в 8000 раз меньше массы α -частицы и движется она с очень большой скоростью (около $2 \cdot 10^7$ м/с).

2. Если бы положительный заряд был равномерно распределён по атому, то напряжённость электрического поля в атоме при рав-

номерном распределении заряда увеличивалась бы к периферии атома и на положительную частицу, оказавшуюся в атоме, действовали бы слабые кулоновские силы. Кроме этого, масса ядра была бы распределена по атому и его плотность была бы невелика. α -Частица при этом могла бы пройти сквозь атом, не испытывая большого сопротивления.

α -Частица может отклоняться на большие углы только в том случае, если заряд и масса сконцентрированы в очень малом объёме.

3. Согласно теории Максвелла частицы, движущиеся с ускорением, излучают электромагнитные волны и в результате непрерывно теряют энергию. Поэтому электрон, вращающийся вокруг ядра, за время, равное 10^{-8} с, как показали расчёты, должен упасть на ядро. Однако атомы в невозбуждённом состоянии энергию не излучают и существуют бесконечно долго.

Кроме этого, электрон, двигаясь вокруг ядра по орбите всё меньшего радиуса, непрерывно излучает энергию, следовательно, спектр излучения атома должен быть непрерывным. Из опытов известно, что спектр излучения атома состоит из отдельных линий, разделённых тёмными полосами, т. е. он является линейчатым спектром.

Ответы на вопросы к § 94 (§ 95)

1. Согласно законам классической электродинамики электроны, движущиеся с центростремительным ускорением вокруг ядра атома, должны излучать энергию. Таким образом, стационарных орбит и стационарных состояний не может существовать, что противоречит реальности.

2(–). Спектральные линии излучения при переходе электрона на второй энергетический уровень в атоме водорода находятся в видимой части спектра и составляют серию Бальмера.

Ответы на вопросы к § 96 (§ 97)

1. Излучение лазера монохроматическое, атомы излучают согласованно, так как их излучение индуцированное. Лазерный луч имеет малый угол расхождения.

Излучение лампы накаливания даёт сплошной спектр, излучение атомов происходит случайно, независимо друг от друга. Лампа накаливания излучает приблизительно равномерно во все стороны.

2. Лазеры используются: 1) для связи; 2) в медицине; 3) для записи информации; 4) в лабораториях для научных исследований, например для изучения новых химических реакций; 5) в голографии для получения объёмных изображений; 6) в технологических процессах (сварка, плавление, резка металлов); 7) для реализации термоядерного синтеза; 8) в спектроскопии для наблюдения спектров отдельных атомов.

 Решение задач из упражнения 13

Задача 1.

Дано:

$$r_0 = \frac{h^2}{kme^2} =$$

$$= \frac{h^2}{(2\pi)^2 kme^2}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

v, a — ?

Решение:

Согласно модели Бора на электрон в атоме водорода действует сила Кулона.

Запишем для электрона на основании второго закона Ньютона уравнение: $ma = k \frac{e^2}{r_0^2}$.

Подставив данное в условии выражение для радиуса орбиты электрона, получим

$$ma = k \frac{e^2 k^2 m^2 e^4 (2\pi)^4}{h^4} = \frac{k^3 e^6 m^2 (2\pi)^4}{h^4}.$$

Отсюда найдём ускорение электрона:

$$a = \frac{k^3 e^6 m (2\pi)^4}{h^4} = \frac{(9 \cdot 10^9)^3 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^6 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} (2\pi)^4}{(6,63 \cdot 10^{-34})^4} \text{ (м/с}^2\text{)} \approx$$

$$\approx 10^{23} \text{ м/с}^2.$$

Центростремительное ускорение $a = \frac{v^2}{r_0}$, отсюда

$$v = \sqrt{ar_0} = \sqrt{\frac{k^3 e^6 m h^2 (2\pi)^2}{h^4 k m e^2}} = \frac{k e^2 2\pi}{h} =$$

$$= \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot 2 \cdot 3,14}{6,63 \cdot 10^{-34}} \text{ (м/с)} \approx 2 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

Ответ: $\approx 2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$; $\approx 10^{23} \text{ м/с}^2$.

Задача 2(3).

Дано:

$$E_4 = -0,85 \text{ эВ}$$

$$E_2 = -3,4 \text{ эВ}$$

λ — ?

Решение:

Энергия излучаемого атомом фотона при переходе атома из одного стационарного состояния в другое согласно модели атома Бора

$$h\nu = E_4 - E_2.$$

Частота излучения связана с длиной волны выражением $\nu = \frac{c}{\lambda}$.

Тогда длина волны

$$\lambda = \frac{hc}{E_4 - E_2} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{(-0,85 - (-3,4)) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ (м)} \approx 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

Подставляя числовые данные, мы все значения переводим в СИ. При расчётах мы учли, что $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$, т. е. он равен энергии, которую приобретает электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов в 1 В.

Ответ: $\approx 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА (глава 13)

Масса протона $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$ кг = 1,007276 а. е. м.

Масса нейтрона $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ кг = 1,008665 а. е. м.

1 а. е. м. = $1,6606 \cdot 10^{-27}$ кг = $931,5 \frac{\text{МэВ}}{c^2}$, 1 атомная единица

массы равна 931,5 МэВ, делённых на скорость света в квадрате.

Заряд нейтрона $q_n = 0$.

Заряд протона $q_p = +1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Радиус ядра $r_{\text{я}} = 1,3 \cdot 10^{-15} \cdot A^{\frac{1}{3}}$ м, где A — массовое число,
 $A = N + Z$, где N — число нейтронов, Z — число протонов в ядре.

Дефект масс $\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}$.

Энергия связи ядра $E_{\text{св}} = \Delta m \cdot c^2 = [Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}] c^2$.

Закон радиоактивного распада $N = \frac{N_0}{2^n}$, где n — число полурас-

падов, равное $\frac{t}{T}$.

Ответы на вопросы к § 97 (§ 98)

1. В камере Вильсона невозможна регистрация нейтронов. Нейтрон не ионизирует вещество. Именно поэтому нейтроны обладают большой проникающей способностью. Однако время жизни свободного нейтрона мало, он распадается на протон и электрон, которые уже могут вызвать конденсацию перенасыщенного пара с образованием капелек воды.

2. Преимущество пузырьковой камеры состоит в том, что в ней рабочим веществом является жидкость, вещество более плотное, чем пар в камере Вильсона, поэтому длина пробега частиц, имеющих даже большую энергию, достаточно короткая и частицы остаются в камере, что позволяет наблюдать серию последовательных превращений частиц.

Ответ на вопрос к § 99 (§ 100)

Трудность выяснения природы α -частиц состояла в том, что они слабее отклоняются магнитными полями, чем β -частицы, в связи с тем, что их масса существенно больше.

Ответ на вопрос к § 100 (§ 101)

При всех ядерных превращениях и, в частности, при радиоактивных распадах выполняются все известные законы сохранения: энергии, импульса, момента импульса, заряда, а также закон сохранения нуклонов.

Ответ на вопрос к § 101 (§ 102)

Нет, не происходит, так как невозможно предсказать, когда произойдёт распад. Интервалы времени срабатывания счётчика разные. Если бы интенсивность препарата была большой, то это

означало бы, что в препарате много атомов. Счётчик регистрировал бы среднее время жизни большого числа атомов, а это время жизни — постоянная величина, и счётчик срабатывал бы через одинаковые интервалы времени.

Ответ на вопрос к § 102 (§ 103)

Существуют, так как значение относительной массы — не целое число. У бария 2 изотопа.

Ответ на вопрос к § 103 (§ 104)

Так как массы протона и нейтрона приблизительно равны, то при центральном ударе частицы обмениваются скоростями. Если протон был неподвижен, то при упругом столкновении нейтрон полностью теряет энергию. Масса ядра азота в 14 раз больше массы нейтрона, и поэтому после столкновения нейтрон отталкивается от тяжёлой частицы и движется в другом направлении с меньшей скоростью, так как часть энергии он передаёт ядру азота.

Ответ на вопрос к § 104 (§ 105)

Ядерные силы:

- 1) короткодействующие, они проявляются на расстояниях порядка размеров ядра (10^{-14} — 10^{-15} м);
- 2) не зависят от заряда нуклона, нейтрон взаимодействует в ядре как с протоном, так и с нейтроном;
- 3) ядерное взаимодействие — самое сильное взаимодействие из всех взаимодействий, существующих в природе.

Ответы на вопросы к § 105 (§ 106)

1. Энергия связи — это энергия, необходимая для того, чтобы разделить ядро на составляющие его частицы:

$$E_{\text{св}} = \Delta mc^2 = [Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}]c^2.$$

2. У ядра меди удельная энергия связи больше, чем у ядра урана. У тяжёлых элементов энергия связи убывает из-за отталкивания протонов.

Ответы на вопросы к § 106 (§ 107)

1. Суммарная энергия покоя ядер лития и водорода $5,2 \cdot 6 + 1 \cdot 2 = 13,2$ МэВ. Суммарная энергия покоя изотопов гелия меньше и приблизительно равна $2,5 \cdot 4 = 10$ МэВ. Следовательно, энергия выделяется.

2. Энергетическим выходом ядерной реакции называется разность суммарной энергии покоя ядер и частиц, вступивших в реакцию, и суммарной энергии покоя ядер и частиц, возникающих в результате реакции.

3. Ядерные реакции на нейтронах реализовать легче, так как нейтроны не имеют заряда и без препятствий проникают в атомные ядра. Для реализации ядерной реакции, вызываемой заря-

женной частицей, необходимо частицу разогнать, чтобы она смогла преодолеть силы отталкивания положительного ядра.

Ответы на вопросы к § 108 (§ 109)

1. Коэффициент размножения определяется четырьмя факторами:

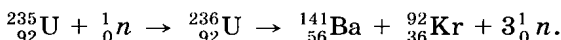
1) захватом медленных нейтронов ядрами ${}_{92}^{235}\text{U}$ с последующим делением и захватом быстрых нейтронов ядрами ${}_{92}^{238}\text{U}$ и ${}_{92}^{235}\text{U}$ с последующим делением;

2) захватом нейтронов ядрами урана без последующего деления;

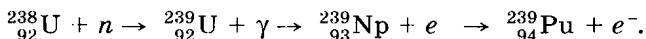
3) вылетом нейтронов из объёма вещества;

4) наличием замедлителя реакции, т. е. элементов, захватывающих нейтроны.

2. ${}_{92}^{235}\text{U}$ — реакция деления на медленных нейтронах:



${}_{92}^{238}\text{U}$ — реакция деления на быстрых нейтронах:



Ответы на вопросы к § 109 (§ 110)

1. Критическая масса — это наименьшая масса делящегося вещества, при которой может протекать цепная ядерная реакция.

2. Замедлитель нейтронов необходим для управления ядерным реактором. Если вдвигать стержни в активную зону реактора, реакция замедляется.

Ответы на вопросы к § 110 (§ 111)

1. Для слияния ядер необходимо, чтобы положительные ядра преодолели силы кулоновского отталкивания и сблизилась на расстояние порядка размера ядер. Для этого они должны обладать большой кинетической энергией, которая возможна при очень высокой температуре (около 10^8 K). Температура — мера кинетической энергии движения частиц. Такие температуры можно получить, например предварительно использовав ядерный реактор или с помощью лазерных лучей.

2. Независимо от вида реакции энергия сохраняется. Если суммарная энергия покоя частиц, вступающих в реакцию, больше, чем суммарная энергия покоя частиц, образовавшихся в результате реакции, то энергия выделяется. Исчезнуть энергия не может.

Ответ на вопрос к § 112 (§ 113)

Радиоактивные изотопы — это изотопы, обладающие радиоактивностью, т. е. испытывающие радиоактивный распад, при котором они превращаются в ядра других элементов.

Радиоактивные изотопы используются в медицине для уточнения диагноза и для лечения, в промышленности для исследова-

ния износа двигателя, процессов диффузии в твёрдом теле, в сельском хозяйстве для повышения урожайности и в борьбе с вредителями, в археологии для исследования возраста предметов. Основным принципом использования является внедрение радиоактивных изотопов в организм, растение или предмет с последующим исследованием этих объектов.

Ответы на вопросы к § 113 (§ 114)

1. Доза поглощённого излучения — отношение энергии излучения, поглощённой облучаемым телом, к массе этого тела:

$$D = \frac{E}{m}.$$

2. При естественном радиоактивном фоне эквивалентная доза поглощённого излучения равна 2 мЗв в год, что соответствует 0,2 Р.

3. Предельно допустимая доза поглощённого излучения для лиц, работающих с радиоактивными препаратами, приблизительно равна 14 мЗв, что соответствует 1,4 Р.

Решения задач из упражнения 14

Задача 1.

Решение. При ядерных превращениях выполняются законы сохранения массовых и зарядовых чисел. При β -превращениях происходит излучение электронов. Масса электронов очень мала по сравнению с α -частицами, поэтому по изменению массы можно судить о числе α -превращений: $\frac{A_2 - A_1}{4} = \frac{238 - 206}{4} = 8$.

Следовательно, уран испытал восемь α -превращений, при этом зарядовое число уменьшилось на $2 \cdot 8 = 16$ и должно было стать равным 76.

Однако изменение зарядового числа $92 - 82 = 10$.

При β -превращениях зарядовое число увеличивается на единицу.

Общая схема β -превращений: ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e + {}_0^0\bar{\nu}$. (При β -превращениях образуется, помимо электрона, антинейтрино.)

Таким образом, для выполнения закона сохранения зарядового числа очевидно, что произошло шесть β -превращений.

Ответ: восемь α - и шесть β -превращений.

Задача 2.

Дано:
 $T = 1600$ лет
 $\frac{N_0}{N} = 4$
 $t = ?$

Решение:

Закон радиоактивного распада имеет вид

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}.$$

Отсюда $\frac{N_0}{N} = 2^{\frac{t}{T}} = 4$.

Очевидно, что $t/T = 2$. Окончательно искомое время равно 3200 лет.

Ответ: 3200 лет.

Задача 3.

Дано:

$$t = 1,91 \text{ сут.}$$

$$T = 3,82 \text{ сут.}$$

$$\frac{N_0}{N} = ?$$

Решение:

Уменьшение числа атомов за время t равно

$$\frac{N_0}{N} = 2^{\frac{t}{T}} \text{ (см. решение предыдущей задачи). Под-}$$

ставив данные задачи, получим $\frac{N_0}{N} = \sqrt{2}$.

Ответ: в $\sqrt{2}$ раз.

Задача 4. Составим таблицу.

Элемент	Число протонов $P = Z$	Число нейтронов $N = A - Z$
Фтор ${}^{19}_9\text{F}$	9	10
Аргон ${}^{40}_{18}\text{Ar}$	18	22
Бром ${}^{80}_{35}\text{Br}$	35	45
Цезий ${}^{133}_{55}\text{Cs}$	55	78
Золото ${}^{197}_{79}\text{Au}$	79	118

Задача 5.

Дано:

$$m_D = 2,01355 \text{ а. е. м.}$$

$$m_p = 1,00728 \text{ а. е. м.}$$

$$m_n = 1,00866 \text{ а. е. м.}$$

$$m_C = 1,995 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$$

$$E_{\text{св}} = ?$$

Решение:

Дейтрон — ядро изотопа водорода, со-
держит один протон и один нейтрон — ${}^2_1\text{H}$.

Посчитаем дефект масс.

Сумма масс нейтрона и протона

$$1,00866 + 1,00728 = 2,01594 \text{ а. е. м.}$$

Дефект масс

$$\Delta m = 2,01594 - 2,01355 \text{ (а. е. м.)} = 0,00239 \text{ а. е. м.}$$

$$\text{Энергия связи } E_{\text{св}} = \Delta m c^2. \quad 1 \text{ а. е. м.} = \frac{1}{12} m_C.$$

Таким образом,

$$E_{\text{св}} = \Delta m \frac{m_C}{12} c^2 = 0,00239 \cdot \frac{1,995 \cdot 10^{-26}}{12} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \text{ (Дж)} =$$

$$= 3,58 \cdot 10^{-12} \text{ Дж} \approx 2,2 \text{ МэВ.}$$

Напомним, что в ядерной физике энергия измеряется в электронвольтах: $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$, а масса — в атомных единицах массы: $1 \text{ а. е. м.} = 1,6606 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 931,5 \text{ МэВ}/c^2$, где c — скорость света.

Тогда, умножив дефект масс на последнее число, можно было бы сразу же получить искомую энергию связи.

Ответ: $\approx 2,2 \text{ МэВ}$.

Задача 6.

Решение. Запишем ядерную реакцию: ${}^{11}_5\text{B} \rightarrow {}^8_4\text{Be} + {}^4_Z\text{X}$, где

${}^A_Z\text{X}$ — искомое ядро.

Согласно законам сохранения массового и зарядового чисел при ядерных реакциях $11 = 8 + A$; $5 = 4 + Z$.

Получим $A = 3$, а $Z = 1$. Это третий ${}^3_1\text{H}$ — изотоп водорода.

Задача 7.

Дано:

$E_{\text{св}}(\text{Ba}) = 8,38 \text{ МэВ/нуклон}$

$E_{\text{св}}(\text{Kr}) = 8,55 \text{ МэВ/нуклон}$

$E_{\text{св}}(\text{U}) = 7,59 \text{ МэВ/нуклон}$

$E = ?$

Решение:

Суммарная энергия покоя ядер бария и криптона равна

$$142 \cdot 8,38 + 91 \cdot 8,55 \text{ (МэВ)} = 1968,01 \text{ МэВ.}$$

Суммарная энергия покоя урана и нейтрона равна

$$235 \cdot 7,59 + 939,57 \text{ (МэВ)} = 2723,22 \text{ МэВ.}$$

Следовательно, энергия, выделяющаяся при делении ядра урана,

$$2723,22 - 1968,01 \text{ (МэВ)} \approx 755 \text{ МэВ.}$$

Ответ: $\approx 755 \text{ МэВ}$.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ (глава 14)

📖 Ответы на вопросы к § 115 (§ 116)

1. На первом этапе, выясняя, из чего состоит материя, было определено, что она состоит из атомов. Затем оказалось, что атом имеет сложное строение. Найденные частицы, из которых состоит атом, электрон, протон и нейтрон, считались неделимыми — кирпичиками мироздания.

На втором этапе выяснилось, что неизменных частиц не существует, основное свойство элементарных частиц — взаимопревращаемость.

На третьем этапе была создана теория кварков. Число кварков равно 6. Экспериментально кварки не обнаружены.

На первых двух этапах основную роль играл эксперимент. На третьем этапе была предложена модель структуры элементарных частиц.

2. Фотон и нейтрино не имеют заряда, поэтому данное превращение запрещено законом сохранения заряда в замкнутой системе.

3. Стабильными частицами являются электрон, протон, фотон и нейтрино.

4. Частоту γ -кванта можно найти из закона сохранения энергии: сумма энергий покоя электрона и позитрона равна энергии γ -кванта.

$$2m_e c^2 = h\nu,$$

$$\nu = \frac{2m_e c^2}{h} = \frac{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2}{6,63 \cdot 10^{-34}} \text{ (с}^{-1}\text{)} \approx 2,5 \cdot 10^{20} \text{ с}^{-1}.$$

5. Частицы, время жизни которых порядка 10^{-23} с , называются резонансами. Время их жизни настолько мало, что они не успевают пройти достаточное расстояние, чтобы их обнаружить до того, как они распадутся. Однако удаётся зафиксировать продукты их распада.

6. Кварки истинно элементарные частицы, участвующие в сильном взаимодействии. Кварки имеют заряд, равный $1/3$ и $2/3$ заряда электрона. В настоящее время фундаментальными частицами, из которых состоит материя, считаются кварки и лептоны.

АСТРОНОМИЯ

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА (глава 15)

Ответы на вопросы к § 116(—)

1. Небесный экватор — проекция земного экватора на небесную сферу.

2. Круг, по которому движется Солнце, проходящий через определённые созвездия, называется эклиптической.

3. Согласно геоцентрической системе мира в центре Вселенной находится Земля, вокруг которой движутся небесные светила. Согласно гелиоцентрической системе в центре находится Солнце и вокруг Солнца движется Земля и другие планеты.

4. Парсек — единица измерения расстояния в астрономии.
 $1 \text{ пк} = 3 \cdot 10^{13} \text{ км}$.

Ответы на вопросы к § 117 (—)

1. Планеты движутся вокруг Солнца по эллипсам. Ближайшая к Солнцу точка орбиты называется перигелием, самая удалённая — афелием. Вектор, проведённый из некоторой точки эллипса в фокус, называется радиус-вектором. Отношение расстояния между фокусами к длине большой оси эллипса называется эксцентриситетом.

2. Квадраты периодов обращения двух планет относятся как кубы средних расстояний до Солнца.

3. Под действием силы притяжения одно небесное тело движется в поле тяготения другого небесного тела по одному из конических сечений — кругу, эллипсу, параболе или гиперболе.

4. Третий закон Кеплера:
$$\frac{a^3}{T^2(M_1 + M_2)} = \frac{G}{4\pi^2}, \text{ где } M_1 \text{ и}$$

M_2 — массы притягивающихся тел, a — среднее расстояние между телами, T — период обращения одного тела относительно другого, G — гравитационная постоянная.

Ответы на вопросы к § 119(—)

1. Планеты-гиганты состоят из лёгких химических элементов.

2. Высокая температура Венеры обусловлена парниковым эффектом: атмосфера Венеры пропускает солнечные лучи, которые нагревают её поверхность. Нагретая поверхность испускает инфракрасное излучение, которое задерживается углекислым газом и водяным паром, содержащимися в атмосфере Венеры. Кроме этого, это излуче-

ние задерживает покров Венеры. В результате этих факторов тепловое равновесие устанавливается при более высокой температуре.

3. Астероиды — небольшие бесформенные тела, движущиеся по орбитам вокруг Солнца.

4. Ядро кометы состоит из льда, замёрзших газов, пыли и металлических частиц. Только при приближении к Солнцу ядро кометы прогревается, из него выделяются газы и пыль, которые и образуют хвост кометы.

5. Метеоры — это явление вспышки мельчайшей частицы вещества, влетающей в атмосферу Земли с большой скоростью. Взаимодействуя с молекулами воздуха, метеорное тело нагревается, вокруг него образуется облако раскалённого газа, оно постепенно испаряется. Пролетая в атмосфере, метеорное тело ионизирует молекулы воздуха, поэтому за ним виден светящийся след (падающая звезда). Метеорные тела не долетают до Земли.

Обломки астероидов, попавшие в земную атмосферу и упавшие на Землю, называются метеоритами.

СОЛНЦЕ И ЗВЁЗДЫ (глава 16)

Ответы на вопросы к § 120(—)

1. На поверхность Земли площадью 1 м^2 , расположенную перпендикулярно солнечным лучам, каждую секунду падает поток, энергия которого равна 1370 Дж.

2. Фотосфера — самый глубокий слой атмосферы Солнца. В фотосфере видна зернистая структура, называемая грануляцией. Гранулы находятся в непрерывном движении и изменении. Один из видов движения — вертикальный подъём и опускание вещества. Эти колебания связаны с конвекцией. Гранулы являются верхушками конвективных потоков, проникающих в фотосферу.

3. Период солнечной активности около 11 лет. На Солнце периодически изменяется число пятен. Максимальное число пятен соответствует максимальной солнечной активности. Во время солнечной активности на Солнце происходят вспышки и выделяется огромная энергия.

Ответы на вопросы к § 121(—)

1. Четыре группы звёзд: сверхгиганты, гиганты, главная последовательность, белые карлики.

2. Звёзды одного спектрального класса, но принадлежащие разным группам, могут отличаться размером, массой, светимостью.

Ответы на вопросы к § 122(—)

1. Энергия, выделяемая в ядре, переносится к поверхности Солнца конвекцией (движением нагретых масс) и излучением, т. е. в Солнце происходят два вида теплопередачи.

2. Источником энергии Солнца и звёзд являются термоядерные реакции, которые могут происходить благодаря огромной температуре.

3. В красных гигантах в зависимости от слоя происходят разные виды реакций: у поверхности из водорода в результате реакции образуется гелий, в более глубоком слое из гелия — углерод, в следующем слое из углерода — кислород, и в самых глубоких слоях результатом термоядерных реакций является железо.

4. Пульсары — это космические объекты, периодически испускающие радиоизлучение.

Ответы на вопросы к § 123(—)

1. Время жизни звезды главной последовательности пропорционально её массе и обратно пропорционально светимости, которая определяет быстроту расхода горючего. Время жизни массивных звёзд, массы которых во много раз больше массы Солнца, — несколько миллионов лет, а у звёзд, аналогичных Солнцу, — миллиарды лет.

2. Солнце станет белым карликом.

3. Сверхновые звёзды — это взрывающиеся звёзды. При взрывах выделяется огромная энергия, может выбрасываться вещество с колоссальной скоростью порядка тысяч километров в секунду. Остатки оболочек, сбрасываемых сверхновыми звёздами, выглядят как расширяющиеся туманности.

4. Массивная звезда может превратиться в нейтронную звезду или чёрную дыру.

СТРОЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ (глава 17)

Ответы на вопросы к § 124(—)

1. Солнце совершает один оборот вокруг центра Галактики почти за 200 млн лет.

2. В центре Галактики расположено ядро, в котором большое скопление звёзд.

Ответы на вопросы к § 125(—)

1. Типы галактик: эллиптические, спиральные и неправильные.

2. Красное смещение — это экспериментально обнаруженное смещение спектральных линий к красному концу спектра.

3. Объяснение явления красного смещения основывается на эффекте Доплера. Если источник движется от наблюдателя, то с точки зрения наблюдателя длина волны, излучаемая источником, увеличивается.

4. Скорости удаления галактик возрастают прямо пропорционально расстоянию до них: $v = Hr$, где H — постоянная Хаббла.

Решение задач из упражнения 15(—)

Задача 1.

Дано:
 $a = 23\,000$ км
 $T = 1,26$ сут.

M_1 — ?

Решение:

Согласно третьему закону Кеплера

$$\frac{a^3}{T^2 (M_1 + M_2)} = \frac{G}{4\pi^2}.$$

Масса Деймоса M_2 существенно меньше массы Марса M_1 , поэтому формулу можно упростить: $\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM_1}{4\pi^2}$.

Таким образом,

$$M_1 = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot (2,3 \cdot 10^7)^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot (1,26 \cdot 24 \cdot 3600)^2} \text{ (кг)} \approx 6 \cdot 10^{23} \text{ кг.}$$

Ответ: $\approx 6 \cdot 10^{23}$ кг.

Задача 2.

Дано:

$$\alpha = 23''$$

$$r = 0,4 \text{ а. е.}$$

$$1 \text{ а. е.} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ км}$$

$$1 \text{ рад} = 206 \ 265''$$

$$D = ?$$

Решение:

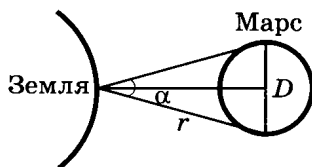


Рис. 5.1

Из рисунка 5.1 очевидно, что

$$D = 2r \frac{\tan \alpha}{2} \approx r\alpha = 1,5 \cdot 10^8 \cdot 0,4 \cdot \frac{23}{206 \ 265} \text{ (км)} \approx 6690 \text{ км.}$$

Ответ: ≈ 6690 км.

Задача 3.

Дано:

$$\omega_1 = 61' \text{ в сутки}$$

$$\omega_2 = 57' \text{ в сутки}$$

$$e = ?$$

Решение:

Эксцентриситет — отношение расстояния между фокусами к большой полуоси: $e = \frac{2c}{2a} = \frac{c}{a}$.

Согласно второму закону Кеплера радиус-вектор планеты за равные промежутки времени описывает (замечает) равные площади.

В перигелии площадь, замеченная за 1 сутки, $S = \frac{(a-c)^2 \omega_1}{2}$;
в афелии $S = \frac{(a+c)^2 \omega_2}{2}$.

Приравняв правые части равенств, получаем

$$\frac{(a-c)^2 \omega_1}{2} = \frac{(a+c)^2 \omega_2}{2}.$$

Выполняя несложные преобразования, имеем $1+e = (1-e) \frac{\omega_1}{\omega_2}$,
откуда $e = \frac{(\omega_1/\omega_2) - 1}{(\omega_1/\omega_2) + 1} \approx 0,017$.

Ответ: $\approx 0,017$.

Задача 4.

Дано:

$$v = 1000 \text{ км/с}$$

$$t = ?$$

Решение:

Среднее расстояние от Земли до Солнца
 $L = 1,496 \cdot 10^8 \text{ км.}$

Время, когда облако плазмы достигнет Земли:

$$t = \frac{L}{v} = \frac{1,496 \cdot 10^8}{10^3} = 1,496 \cdot 10^5 \text{ (с)} = \frac{1,496 \cdot 10^5}{24 \cdot 3600} \text{ сут.} = 1,7 \text{ сут.}$$

Ответ: 1,7 сут.

Сборник задач по физике. 10—11 классы.

Н. А. Парфентьева

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ (продолжение)

Задача 594.

Дано:

$$B = 10 \text{ мТл} = 0,01 \text{ Тл}$$

$$I = 10 \text{ мА} = 0,01 \text{ А}$$

$$a = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$M = ?$

Решение:

На стороны рамки AC и DE (рис. 1) действуют силы Ампера.

Под действием этих двух сил рамка начнёт вращаться относительно оси OO' . Максимальный момент сил, действующих на рамку,

$$\begin{aligned} M &= F_1 \frac{a}{2} + F_2 \frac{a}{2} = I B a a = \\ &= I a^2 B = 10^{-2} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-2} \text{ (Н} \cdot \text{м)} = \\ &= 4 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м.} \end{aligned}$$

Ответ: $4 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м.}$

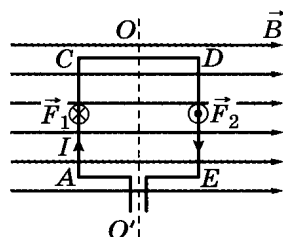


Рис. 1

Задача 595.

Дано:

$$B = 10 \text{ мТл} = 0,01 \text{ Тл}$$

$$I = 10 \text{ мА} = 0,01 \text{ А}$$

$$a = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$M = \frac{M_{\max}}{2}$$

$\alpha = ?$

Решение:

При повороте рамки относительно оси OO' (рис. 2) плечо сил уменьшается, следовательно, уменьшается и момент сил. Рассмотрим рамку сверху, как показано на рисунке. По стороне AC ток идёт к нам, по стороне DE — от нас. При повороте рамки на угол α плечо d силы $\vec{F}_2$, а также плечо силы $\vec{F}_1$ становится равным $d = \frac{a}{2} \cos \alpha$.

Таким образом,

$$\begin{aligned} M &= F_1 \frac{a}{2} \cos \alpha + F_2 \frac{a}{2} \cos \alpha = \\ &= F_1 a \cos \alpha = I B a^2 \cos \alpha = M_{\max} \cos \alpha. \end{aligned}$$

Вращательный момент по условию задачи уменьшается в 2 раза, отсюда

$$\cos \alpha = \frac{1}{2}; \quad \alpha = \frac{\pi}{3}.$$

Ответ: $\pi/3$.

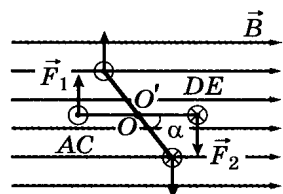


Рис. 2

Задача 596.

Дано:

$$m = 0,2 \text{ кг}$$

$$l = 40 \text{ см} = 0,4 \text{ м}$$

$$B = 40 \text{ мТл} = 0,04 \text{ Тл}$$

$$\mu = 0,01$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

I — ?

Решение:

Для того чтобы стержень (рис. 3) начал двигаться, необходимо, чтобы сила Ампера, действующая на него, стала равна или больше силы трения скольжения.

На стержень действуют две силы трения со стороны рельсов:

$$F_{\text{тр}1} = F_{\text{тр}2} = \mu N_1 = \mu N_2.$$

Суммарная сила трения

$$F_{\text{тр}} = 2F_{\text{тр}1} = 2\mu N_1 = \mu N = \mu mg.$$

Минимальная сила тока соответствует равномерному движению проводника, отсюда $F_A = F_{\text{тр}}$ или $IBl = \mu mg$.

Тогда

$$I = \frac{\mu mg}{Bl} = \frac{0,01 \cdot 0,2 \cdot 9,8}{0,04 \cdot 0,4} \text{ (А)} \approx 1,2 \text{ А}.$$

Ответ: $\approx 1,2 \text{ А}$.

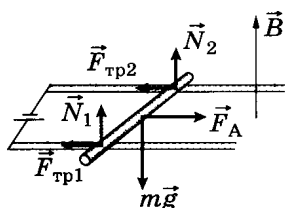


Рис. 3

Задача 599.

Дано:

$$m = 0,2 \text{ кг}$$

$$l = 60 \text{ см} = 0,6 \text{ м}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$B = 80 \text{ мТл} = 0,08 \text{ Тл}$$

$$\mu = 0,7$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

I_1, I_2 — ?

Решение:

Для того чтобы стержень начал двигаться равномерно, необходимо, чтобы сумма сил, действующих на него, была равна нулю, причём сила трения должна быть равна силе трения скольжения.

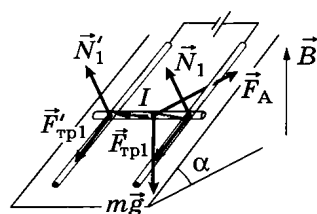
Рассмотрим первый случай.

На рисунке 4, а показаны рельсы, присоединённые к источнику тока, стержень замыкает цепь, по которой идёт ток. На стержень действуют сила тяжести, две силы нормальной реакции, две силы трения скольжения и сила Ампера.

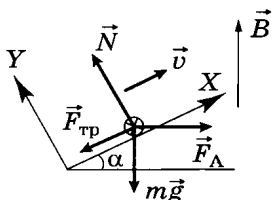
Силы трения со стороны рельсов $F_{\text{тр}1} = F'_{\text{тр}1} = \mu N_1 = \mu N'_1$.

Суммарная сила трения $F_{\text{тр}} = 2F_{\text{тр}1} = 2\mu N_1 = \mu N$.

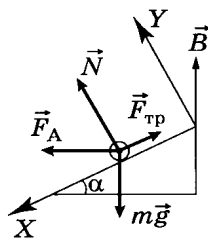
Направление сил станет более очевидным, если мы посмотрим на систему сбоку (рис. 4, б).



а)



б)



в)

Рис. 4

При равномерном движении стержня векторная сумма всех сил, действующих на него, должна быть равна нулю:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{F}_A = 0. \quad (1)$$

Запишем уравнение (1) в проекциях на оси X и Y :

$$F_A \cos \alpha - mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = 0; \quad N - mg \cos \alpha - F_A \sin \alpha = 0.$$

Выразим силу Ампера из последних двух уравнений, при этом учтём, что $F_{\text{тр}} = \mu N$: $F_A = \frac{mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}$.

Сила Ампера $F_A = IBl$, тогда $\frac{mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} = IBl$.

Таким образом,

$$I_1 = \frac{mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{Bl(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)} = \frac{0,2 \cdot 9,8 \cdot (0,5 + 0,7 \cdot 0,87)}{0,08 \cdot 0,6 \cdot (0,87 - 0,7 \cdot 0,5)} \text{ (А)} \approx 89 \text{ А}.$$

Во втором случае при движении проводника вниз изменяется направление силы трения и силы Ампера (рис. 4, в).

При равномерном движении проводника $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{F}_A = 0$.

Записав уравнение в проекциях на оси X и Y , выразив из них силу Ампера, получим окончательное выражение для силы тока:

$$I_2 = \frac{mg(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)}{Bl(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)} = \frac{0,2 \cdot 9,8 \cdot (0,7 \cdot 0,87 - 0,5)}{0,08 \cdot 0,6 \cdot (0,87 + 0,7 \cdot 0,5)} \text{ (А)} \approx 3,6 \text{ А}.$$

Ответ: $\approx 89 \text{ А}$; $\approx 3,6 \text{ А}$.

Задача 602.

Дано:

$$\alpha = 30^\circ$$

$$d = 3 \text{ мм} =$$

$$= 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\beta = 60^\circ$$

$$v = 10^6 \text{ м/с}$$

$$B = ?$$

Решение:

На электрон в магнитном поле действует сила Лоренца, направленная перпендикулярно скорости.

$$\text{Согласно второму закону Ньютона } \frac{mv^2}{R} = qvB,$$

отсюда радиус окружности, по которой движется электрон (рис. 5), $R = \frac{mv}{qB}$.

Углы CAO и EDO равны соответственно углам α и β как углы между взаимно перпендикулярными сторонами (скорости перпендикулярны радиусам окружности).

Ширина области магнитного поля

$$d = R \cos \alpha + R \cos \beta =$$

$$= \frac{mv}{qB} (\cos \alpha + \cos \beta).$$

Таким образом,

$$B = \frac{mv}{qd} (\cos \alpha + \cos \beta).$$

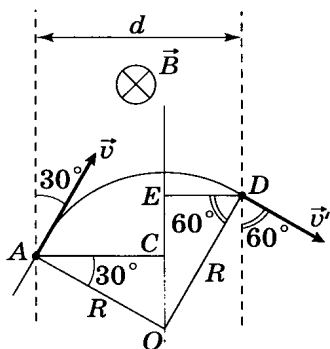


Рис. 5

Проверим размерность:

$$[B] = \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}}{\text{Кл} \cdot \text{м}} \right] = \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{м} \cdot \text{с}} \right] = \left[\frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \right] = [\text{Тл}].$$

Произведём расчёт:

$$B = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot 10^{-3}} \cdot (0,867 + 0,5) (\text{Тл}) \approx \\ \approx 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} \approx 2,6 \text{ мТл}.$$

Ответ: $\approx 2,6 \text{ мТл}$.

Задача 606.

Дано:

$$\alpha = 30^\circ$$

$$v = 10^4 \text{ м/с}$$

$$d = 40 \text{ см} =$$

$$= 0,4 \text{ м}$$

$$B = 10^{-4} \text{ Тл}$$

$$N - ?$$

Решение:

На электрон в магнитном поле действует сила Лоренца. Согласно закону независимости движений рассмотрим движение электрона вдоль линий магнитной индукции и в плоскости, перпендикулярной им (рис. 6). Скорость электрона вдоль линий магнитной индукции не изменяется: $v_z = v \cos \alpha$.

В плоскости, перпендикулярной оси Z , электрон движется по окружности радиусом $R = \frac{mv_1}{qB}$

(см. решение задачи 602).

Период обращения электрона относительно оси Z

$$T = \frac{2\pi R}{v_1} = \frac{2\pi m}{qB}.$$

Время движения электрона вдоль от начального положения до экрана

$$t = \frac{d}{v_z}.$$

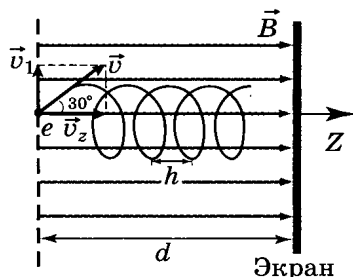


Рис. 6

Число оборотов, которое успевает сделать электрон за это время:

$$N = \frac{t}{T} = \frac{qdB}{v_z 2\pi m} = \frac{qdB}{2\pi m v \cos \alpha} = \\ = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,4 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^4 \cdot 0,867} = 129 \text{ об.} \quad (1)$$

Можно найти число оборотов, определив шаг винтовой линии,

$$h = v_z T = \frac{v_z 2\pi m}{qB}.$$

Число оборотов $N = \frac{d}{h}$ определится по той же формуле (1).

Ответ: 129 об.

Задача 612.

Дано:

$$C = 10 \text{ мкФ} = 10^{-5} \text{ Ф}$$

$$R = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$B = B_0 + kt$$

$$k = 0,005 \text{ Тл/с}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$q = ?$

Решение:

Поток через площадь, ограниченную витком, $\Phi = BS \cos \alpha = (B_0 + kt) S \cos \alpha$.

ЭДС, возникающая в контуре вследствие изменения магнитного потока со временем, вызывает появление индукционного тока (рис. 7), направленного по часовой стрелке (по правилу Ленца, так как магнитный поток увеличивается, индукционный ток должен вызвать магнитное поле, вектор индукции которого направлен вниз).

Этот ток будет идти до тех пор, пока возникающая разность потенциалов между пластинами конденсатора не станет равной ЭДС индукции.

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{инд}} &= -\frac{d\Phi}{dt} = -kS \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = \\ &= -k\pi R^2 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right). \end{aligned}$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} q &= C\mathcal{E}_{\text{инд}} = Ck\pi R^2 \cos 60^\circ = \\ &= 10^{-5} \cdot 0,005 \cdot 3,14 \cdot 0,04 \cdot 0,5 \text{ (Кл)} = \\ &= 3,14 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}. \end{aligned}$$

Ответ: $3,14 \cdot 10^{-9}$ Кл.

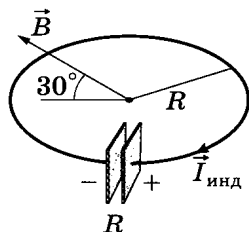


Рис. 7

Задача 615.

Дано:

$$l_1 = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$l_2 = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$n = 2 \text{ об/с}$$

$$B = 0,2 \text{ мТл} =$$

$$= 2 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$$

$\Delta\phi = ?$

Решение:

Максимальная разность потенциалов между концами прута возникает при максимальном изменении магнитного потока. В данном случае максимальное изменение магнитного потока будет тогда, когда плоскость, в которой вращается прут, перпендикулярна горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли (рис. 8).

При смещении прута на верёвке на угол $\Delta\alpha$ за время Δt поток, «заметнённый» прутком, $\Delta\Phi = B(\Delta S_1 - \Delta S_2)$, где ΔS_1 — площадь сектора ACO , равная $\Delta S_1 = \frac{\Delta\alpha(l_1 + l_2)^2}{2}$, ΔS_2 — площадь сектора EDO , равная $\Delta S_2 = \frac{\Delta\alpha l_1^2}{2}$.

Таким образом,

$$\Delta\Phi = B \frac{\Delta\alpha(l_2^2 + 2l_1l_2)}{2}. \quad (1)$$

Угол поворота $\Delta\alpha = \omega\Delta t = 2\pi n\Delta t$.

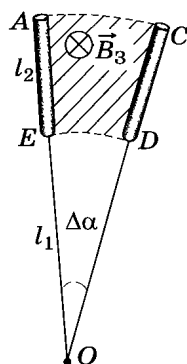


Рис. 8

Подставив это выражение в формулу (1), получим

$$\Delta\Phi = B \frac{2\pi n l_2 (l_2 + 2l_1)}{2} \Delta t.$$

Окончательно разность потенциалов между концами прута равна:

$$\Delta\varphi = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} = B \frac{2\pi n l_2 (l_2 + 2l_1)}{2} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 0,1 \cdot (0,1 + 0,4)}{2} \text{ (В)} = 62,8 \text{ мкВ}.$$

Ответ: 62,8 мкВ.

Задача 618.

Дано:

При деформации проволоки изменяется магнитный поток через поверхность, ограниченную проволочным контуром. По проволоке согласно закону электромагнитной индукции идёт ток (рис. 9):

$$I = \frac{\mathcal{E}_{\text{инд}}}{R}, \text{ где } \mathcal{E}_{\text{инд}} = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}.$$

Тогда заряд, прошедший по проводнику,

$$q = I\Delta t = \frac{1}{R} \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} \Delta t = \frac{|\Phi_2 - \Phi_1|}{R}.$$

Изменение магнитного потока

$$|\Phi_2 - \Phi_1| = |B(S_2 - S_1)| = \left| B \left(2 \frac{l^2}{16\pi} - \frac{l^2}{4\pi} \right) \right| = \frac{Bl^2}{8\pi}.$$

Сопротивление проволоки

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Таким образом,

$$q = \frac{Bl^2 S}{8\pi \rho l} = \frac{BlS}{8\pi \rho}.$$

Проверим размерность полученного результата:

$$[q] = \left[\frac{\text{Тл} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2}{\text{Ом} \cdot \text{м}} \right] = \left[\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{м} \cdot \text{Ом}} \right] = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{В}} \right] = [\text{Кл}].$$

Ответ: $\frac{BlS}{8\pi \rho}$.

Задача 622.

Дано:

$R = 20 \text{ Ом}$

$L = 0,01 \text{ Гн}$

$\Delta\Phi = 10^{-3} \text{ Вб}$

$\Delta I = 0,05 \text{ А}$

$q = ?$

Решение:

Сила тока, идущего по цепи, определяется ЭДС индукции и ЭДС самоиндукции. При возрастании магнитного потока через катушку возникает индукционный ток самоиндукции, препятствующий увеличению тока.

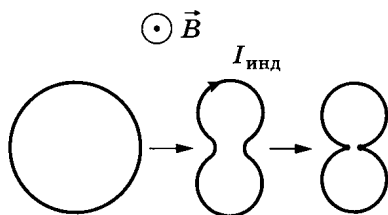


Рис. 9

Таким образом, суммарная ЭДС $\mathcal{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} - L \frac{\Delta I}{\Delta t}$.

Сила тока, идущего по контуру, определится выражением

$$I = \frac{\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} - L \frac{\Delta I}{\Delta t}}{R}.$$

Заряд, прошедший по контуру,

$$\begin{aligned} q = I\Delta t &= \frac{\Delta\Phi - L\Delta I}{R} = \frac{10^{-3} - 0,01 \cdot 0,05}{20} \text{ (Кл)} = \\ &= \frac{10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}}{20} \text{ (Кл)} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ Кл.} \end{aligned}$$

Ответ: $2,5 \cdot 10^{-5}$ Кл.

Задача 623.

Дано:
 $\tau = 0,01 \text{ с}$
 $I_1 = 1 \text{ А}$
 $I_2 = 2 \text{ А}$
 $\mathcal{E} = 20 \text{ В}$
 $L, \Delta\Phi - ?$

Решение:

Магнитный поток, сцеплённый с контуром,
 $\Phi = LI$.

Изменение магнитного потока при увеличении
 силы тока на ΔI :

$$\Delta\Phi = L(I_2 - I_1). \quad (1)$$

При изменении силы тока в контуре в нём возникает ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{si} = L \frac{\Delta I}{\tau}$.

Из последнего выражения найдём индуктивность катушки:

$$L = \frac{\mathcal{E}_{si} \tau}{\Delta I} = \frac{20 \cdot 0,01}{1} \text{ (Гн)} = 0,2 \text{ Гн.}$$

Подставив найденное выражение для индуктивности в формулу (1), получим для определения изменения магнитного потока следующую формулу: $\Delta\Phi = \mathcal{E}_{si} \tau = 20 \cdot 0,01 \text{ (В} \cdot \text{с)} = 0,2 \text{ Вб}$.

Убедимся, что $1 \text{ В} \cdot \text{с} = 1 \text{ Вб}$.

Магнитный поток, по определению, равен произведению нормальной к поверхности составляющей вектора индукции магнитного поля на площадь этой поверхности: $\Phi = B_n S$. Тогда

$$[\Phi] = [\text{Тл} \cdot \text{м}^2] = \left[\frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \text{ м}^2 \right] = \left[\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}} \right] = \left[\frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{А} \cdot \text{с}} \right] = \left[\left(\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \right) \text{с} \right] = [\text{В} \cdot \text{с}].$$

Ответ: 0,2 Гн; 0,2 Вб.

Задача 625.

Дано:
 $\mathcal{E} = 8 \text{ В}$
 $L = 5 \cdot 10^{-2} \text{ Гн}$
 $R = 2 \text{ Ом}$
 $Q - ?$

Решение:

При подключённом источнике ток идёт через катушку, так как по условию её сопротивление во много раз меньше сопротивления лампы.

Как только источник отключают, по цепи, состоящей из катушки и лампы, продолжает идти ток согласно явлению самоиндукции. При этом тепло выделяется в основном в электролампе, так как согласно закону

Джоуля — Ленца количество выделяемой теплоты пропорционально сопротивлению.

По закону сохранения энергии количество теплоты равно энергии магнитного поля катушки.

Запишем математические выражения.

Сила тока, идущего через катушку, $I = \mathcal{E}/R$.

Энергия магнитного поля $W = \frac{LI^2}{2} = \frac{L\mathcal{E}^2}{2R^2}$.

Таким образом, количество теплоты

$$Q = W = \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 8^2}{2 \cdot 2^2} \text{ (Дж)} = 0,4 \text{ Дж.}$$

Ответ: 0,4 Дж.

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Задача 633.

Дано:	Решение:
$T = 12 \text{ с}$	Уравнение движения тела имеет вид
Δt_1 ,	$x = A \sin \omega t$, где $\omega = 2\pi/T$.
$\Delta t_2 = ?$	При $x = A/2$ значение $\sin \omega t$ равно $1/2$, откуда $\omega t = \pi/6$.

Следовательно, $2\pi\Delta t_1/T = \pi/6$. Таким образом, $\Delta t_1 = T/12 = 1 \text{ с}$.

Отклонение маятника от положения равновесия до максимального смещения происходит за время, равное четверти периода, т. е. за 3 с, отсюда $\Delta t_2 = 2 \text{ с}$.

Ответ: 1 с; 2 с.

Задача 634.

Дано:	Решение:
$m = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг}$	Шарик на пружине совершает гармонические колебания.
$k = 1,6 \text{ Н/м}$	Уравнение гармонических колебаний имеет вид $x = A \sin (\omega t + \varphi_0)$.
$v_0 = 0,04 \text{ м/с}$	Следовательно, для написания уравнения
$x(t) = ?$	нам надо найти амплитуду A , циклическую частоту ω и начальную фазу φ_0 колебаний.

Циклическая частота колебаний $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$. Скорость шарика

$$v_x = x' = \omega A \cos (\omega t + \varphi_0).$$

Максимальную скорость или амплитудное значение скорости определим из выражения $v_0 = \omega A$, отсюда амплитуда колебаний

$$\text{шарика } A = \frac{v_0}{\sqrt{\frac{k}{m}}}.$$

По условию задачи в начальный момент времени скорость шарика была направлена против положительного направления оси OX , поэтому $\varphi_0 = \pi$.

Тогда уравнение колебаний шарика можем записать в виде

$$x = \frac{v_0}{\sqrt{\frac{k}{m}}} \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} t + \pi\right).$$

Подставив значения, получим

$$\omega = \sqrt{\frac{1,6}{0,1}} \text{ (рад/с)} = 4 \text{ рад/с}, \quad A = \frac{0,04}{\sqrt{\frac{1,6}{0,1}}} \text{ (м)} = 0,01 \text{ м}.$$

Тогда $x = 0,01 \sin(4t + \pi)$ (м).

Ответ: $x = 0,01 \sin(4t + \pi)$ м.

Задача 635.

Дано:

$$x_1 = 4 \text{ см} = 0,04 \text{ м}$$

$$x_2 = 6 \text{ см} = 0,06 \text{ м}$$

$T = ?$

Решение:

При отклонении груза от положения равновесия на x (рис. 10) правая пружина сжимается, левая растягивается и на грузик действуют две силы упругости, направленные в одну сторону. Согласно второму закону Ньютона запишем:

$$ma_x = -(k_1 + k_2)x, \text{ или } a_x = -\frac{k_1 + k_2}{m}x.$$

Уравнение гармонических колебаний имеет вид $a_x = -\omega^2 x$.

Из сравнения этих двух уравнений очевидно, что частота колебаний

$$\text{грузика } \omega = \sqrt{\frac{k_1 + k_2}{m}}.$$

Период колебаний

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_1 + k_2}}.$$

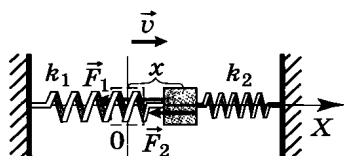


Рис. 10

При подвешивании груза происходит деформация пружин: $mg = k_1 x_1$; $mg = k_2 x_2$.

Из этих выражений определим жёсткости пружин:

$$k_1 = \frac{mg}{x_1}; \quad k_2 = \frac{mg}{x_2}.$$

Таким образом, для периода колебаний получим

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\frac{g}{x_1} + \frac{g}{x_2}}} = 2\pi \sqrt{\frac{x_1 x_2}{g(x_1 + x_2)}} = 6,28 \cdot \sqrt{\frac{0,04 \cdot 0,06}{9,8 \cdot (0,04 + 0,06)}} \text{ (с)} \approx 0,31 \text{ с}.$$

Ответ: $\approx 0,31$ с.

Задача 636.

Дано:

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$A = 0,02 \text{ м}$$

$$a_{\max} = 0,3 \text{ м/с}^2$$

$$W = ?$$

Решение:

Полная механическая энергия при колебаниях

$$W = \frac{m\omega^2 A^2}{2}. \quad (1)$$

Максимальное ускорение определится выражением $a_{\max} = \omega^2 A$.

Подставив последнее выражение в формулу (1), получим

$$W = \frac{ma_{\max} A}{2} = \frac{1 \cdot 0,3 \cdot 0,02}{2} \text{ (Дж)} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Ответ: $3 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$

Задача 639.

Дано:

$$k$$

$$m$$

$$v_0$$

$$\alpha$$

$$m_0, m \gg m_0$$

$$W,$$

$$x = f(t) - ?$$

Решение:

Взаимодействие бруска и пули абсолютно неупругое (рис. 11). Запишем закон сохранения импульса для системы брусок—пуля (проекция на ось X):

$$m_0 v_0 \cos \alpha = (m_0 + m) v.$$

Таким образом, полная механическая энергия системы, равная кинетической энергии в положении равновесия, определится выражением

$$W = \frac{(m + m_0) v^2}{2} = \frac{(m + m_0)}{2} \left(\frac{m_0 v_0 \cos \alpha}{m + m_0} \right)^2 \approx \frac{m_0^2 v_0^2 \cos^2 \alpha}{2m}$$

$$(m \gg m_0).$$

Частота колебаний

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m + m_0}} \approx \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

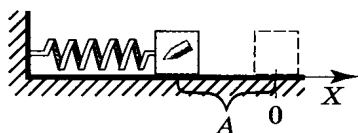


Рис. 11

Максимальная кинетическая энергия при колебаниях равна максимальной потенциальной энергии деформированной пружины:

$$\frac{m_0^2 v_0^2 \cos^2 \alpha}{2m} = \frac{kA^2}{2}.$$

Из этого выражения определим амплитуду колебаний:

$$A = \sqrt{\frac{m_0^2 v_0^2 \cos^2 \alpha}{km}} = m_0 v_0 \frac{1}{\sqrt{km}} \cos \alpha.$$

Уравнение колебаний имеет вид $x = m_0 v_0 \frac{1}{\sqrt{km}} \cos \alpha \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t$.

Ответ: $\frac{m_0^2 v_0^2 \cos^2 \alpha}{2m}$; $x = m_0 v_0 \frac{1}{\sqrt{km}} \cos \alpha \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t$.

Задача 642.

Дано:

$$m = 20 \text{ г} = 0,02 \text{ кг}$$

$$E = 20 \text{ В/м}$$

$$1) T_2 = 1,2 T_1$$

$$2) T_1 = 1,2 T_3$$

$q = ?$

Решение:

Если шарик не заряжен, то период колебаний определяет лишь однородное поле сил тяжести. Как только мы заряжаем шарик, то на него начинает действовать дополнительно электростатическая сила, направление которой зависит от заряда шарика. Если заряд шарика положителен, то период становится больше. Это означает, что электростатическая сила направлена в сторону, противоположную силе тяжести (рис. 12, а).

На шарик действуют сила тяжести, сила натяжения и электростатическая сила.

При отклонении нити согласно второму закону Ньютона можно записать:

$$ma_x = -(mg - qE) \sin \varphi, \quad (1)$$

$$\sin \varphi = \frac{x}{l}.$$

При малых углах отклонения

$$\sin \varphi \approx \tan \varphi \approx \varphi.$$

Подставив последние выражения в уравнение (1), получим уравнение гармонических колебаний

$$a_x = -\left(g - \frac{qE}{m}\right) \frac{x}{l}, \text{ или}$$

$$a_x + \left(g - \frac{qE}{m}\right) \frac{1}{l} x = 0.$$

Сравнив полученное уравнение с уравнением $a_x = \omega^2 x = 0$, запишем выражение для циклической частоты колебаний:

$$\omega = \sqrt{\left(g - \frac{qE}{m}\right) \frac{1}{l}}.$$

Тогда период колебаний

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{\left(g - \frac{qE}{m}\right)}}. \quad (2)$$

Период колебаний незаряженного шарика

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (3)$$

Разделив почленно уравнение (2) на уравнение (3), получим

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{g}{g - \frac{qE}{m}}}.$$

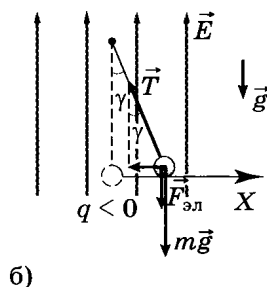
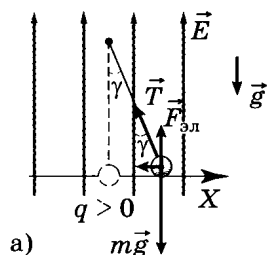


Рис. 12

Из последнего выражения получим

$$q = \frac{mg}{E} \left(1 - \frac{T_1^2}{T_2^2} \right) = \frac{0,02 \cdot 9,8}{20} \left(1 - \frac{1}{1,2^2} \right) (\text{Кл}) \approx 3 \text{ мКл.}$$

При отрицательном заряде шарика электростатическая сила направлена вниз (рис. 12, б).

По аналогии с формулой (2) можно записать:

$$T_3 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{\left(g + \frac{qE}{m} \right)}}. \quad (4)$$

Из формул (4) и (3) получим $\frac{T_3}{T_1} = \sqrt{\frac{g}{g + \frac{qE}{m}}}.$

Тогда для заряда имеем

$$q = \frac{mg}{E} \left(\frac{T_1^2}{T_3^2} - 1 \right) = \frac{0,02 \cdot 9,8}{20} (1,2^2 - 1) (\text{Кл}) \approx 4,3 \text{ мКл.}$$

Ответ: $\approx 3 \text{ мКл}; \approx 4,3 \text{ мКл.}$

Задача 643.

Дано:
 $g_M = 3,7 \text{ м/с}^2$
 $(T_1/T_2)_{\text{мат}},$
 $(T_1/T_2)_{\text{пр}} - ?$

Решение:

Период колебаний математического маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \text{ Следовательно, период определяется ус-}$$

корением свободного падения на данной планете.

$$\text{Таким образом, } (T_1/T_2)_{\text{мат}} = \sqrt{\frac{l g_3}{l g_M}} = \sqrt{\frac{g_3}{g_M}} = \sqrt{\frac{9,8}{3,7}} = 1,63.$$

Период пружинного маятника определяется только жёсткостью пружины и массой подвешенного груза: $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$. Ускорение свободного падения определяет только положение равновесия, около которого совершаются колебания.

На Марсе $mg_M = kx_M$; на Земле $mg_3 = kx_3$. $(T_1/T_2)_{\text{пр}} = 1$.

Ответ: 1,63; 1.

Задача 648.

Дано:
 $T_1 = 3 \text{ с}$
 $T_2 = 4 \text{ с}$
 $T_3 - ?$

Решение:

Периоды колебаний в колебательном контуре при подключении конденсаторов поочерёдно согласно формуле Томсона

$$T_1 = 2\pi \sqrt{LC_1}; \quad T_2 = 2\pi \sqrt{LC_2}. \quad (1)$$

При параллельном подключении этих конденсаторов в колебательный контур период

$$T_3 = 2\pi \sqrt{L(C_1 + C_2)}. \quad (2)$$

Выразив C_1 и C_2 из формул (1) и подставив в формулу (2), получим

$$T_3 = \sqrt{T_1^2 + T_2^2} = 5 \text{ с.}$$

Ответ: 5 с.

Задача 651.

Дано:

$$L = 2 \text{ Гн}$$

$$C = 1,5 \text{ мкФ}$$

$$q_0 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$q = 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$I = ?$$

Решение:

В идеальном колебательном контуре энергия электромагнитного поля сохраняется. Энергия электрического поля конденсатора переходит в энергию магнитного поля катушки индуктивности.

Сумма энергий электрического и магнитного полей остаётся постоянной и равной максимальной энергии электрического поля или максимальной энергии магнитного поля.

Таким образом, $\frac{q_0^2}{2C} = \frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2}$. Окончательно $I = \sqrt{\frac{q_0^2 - q^2}{CL}}$.

Проверим размерность:

$$[I] = \left[\sqrt{\frac{\text{Кл}^2}{\text{Ф} \cdot \text{Гн}}} \right] = \left[\sqrt{\frac{\text{Кл} \cdot \text{В}}{\text{Гн}}} \right] = \left[\sqrt{\frac{\text{Кл} \cdot \text{В}}{\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}}}} \right] = \left[\sqrt{\frac{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{В}}{\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}}}} \right] = [\text{А}].$$

Произведём расчёт: $I = \sqrt{\frac{(4 - 1) \cdot 10^{-12}}{1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 2}} \text{ (А)} = 1 \text{ мА.}$

Ответ: 1 мА.

Задача 652.

Дано:

$$L = 0,4 \text{ Гн}$$

$$C = 10 \text{ мкФ}$$

$$q = 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$I = 10^{-3} \text{ А}$$

$$Q = ?$$

Решение:

При затухании колебаний энергия электрического и магнитного полей колебательного контура переходит в тепло. Тогда для количества теплоты можно записать:

$$Q = \frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = \frac{10^{-12}}{2 \cdot 10^{-5}} + \frac{0,4 \cdot 10^{-6}}{2} \text{ (Дж)} = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ Дж.}$$

Ответ: $2,5 \cdot 10^{-7}$ Дж.

Задача 653.

Дано:

$$L_1 = 2,5 \text{ мГн}$$

$$L_2 = 4,9 \text{ мГн}$$

$$C = 0,25 \text{ мкФ}$$

$$T = ?$$

Решение:

Полупроводниковые диоды пропускают ток только в одном направлении. Когда при колебаниях ток идёт по часовой стрелке, его пропускает диод в участке цепи с катушкой L_2 ; когда ток идёт против часовой стрелки, его пропускает диод в участке цепи с катушкой L_1 .

Поэтому период колебаний складывается из половин периодов двух разных колебательных контуров с индуктивностями L_1 и L_2 :

$$\begin{aligned} T_1 &= 2\pi\sqrt{L_1 C}; \quad T_2 = 2\pi\sqrt{L_2 C}; \\ T &= \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{2\pi}{2}\sqrt{C}(\sqrt{L_1} + \sqrt{L_2}) = \\ &= 3,14 \cdot 5 \cdot 10^{-4} (0,05 + 0,07) (\text{с}) \approx 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ с.} \end{aligned}$$

Ответ: $\approx 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$

Задача 655.

Дано:

График зависимости $I(t)$

$U_{\text{эфф}} - ?$

Решение:

Действующее или эффективное значение силы переменного тока — это такая сила тока, при которой на активном сопротивлении выделяется такое же количество теплоты, что и при переменном токе.

Период изменения тока согласно графику равен 4 с.

Количество теплоты, выделившейся в проводнике за это время, $Q = I_1^2 R \frac{T}{2} + I_2^2 R \frac{T}{2}$.

В данном случае $I_2 = 2I_1 = 20 \text{ А}$, тогда $Q = 5I_1^2 R \frac{T}{2} = I_{\text{эфф}}^2 RT$.

В результате получим $I_{\text{эфф}} = \sqrt{\frac{5}{2}} I_1 \approx 15,8 \text{ А}$.

Ответ: $\approx 15,8 \text{ А}$.

Задача 658.

Дано:

$R = 440 \text{ Ом}$

$U_0 = 220 \text{ В}$

$t = 2 \text{ мин} = 120 \text{ с}$

$Q - ?$

Решение:

Мощность переменного тока $N = \frac{U_{\text{эфф}}^2}{R}$.

Количество теплоты, выделяющейся в печи за время t :

$$Q = Nt = \frac{U_{\text{эфф}}^2}{R} t = \frac{U_0^2}{2R} t = \frac{220^2}{2 \cdot 440} \cdot 120 (\text{Дж}) = 6,6 \cdot 10^3 \text{ Дж.}$$

Ответ: $6,6 \cdot 10^3 \text{ Дж}$.

Задача 663.

Дано:

$L = 2,53 \text{ мГн} =$

$= 2,53 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$

$C = 10 \text{ мкФ}$

$\nu = 10^3 \text{ Гц}$

$I - ?$

Решение:

Определим индуктивное и ёмкостное сопротивления цепи:

$$\begin{aligned} \omega L &= 2\pi\nu L = 2 \cdot 3,14 \cdot 10^3 \cdot 2,53 \cdot 10^{-3} (\text{Ом}) \approx \\ &\approx 15,9 \text{ Ом}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\omega C} &= \frac{1}{2\pi\nu C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} (\text{Ом}) \approx \\ &\approx 15,9 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Мы получили, что индуктивное сопротивление цепи равно ёмкостному сопротивлению: $\omega L = \frac{1}{\omega C}$.

Таким образом, амплитуды сил токов, идущих через эти элементы цепи, равны. Однако на катушке индуктивности ток отстает от напряжения на $\frac{\pi}{2}$, а на конденсаторе ток опережает напряжение также на $\frac{\pi}{2}$, разность фаз колебаний токов равна π , т. е. изменение силы тока происходит в противофазе. Следовательно, ток через резистор не идет.

Ответ: 0.

Задача 665.

Дано:

$$R = 5 \text{ Ом}$$

$$U_0 = 100 \text{ В}$$

$$I_0 = ?$$

Решение:

Вспомним, почему происходит резонанс в механической колебательной системе. Если частота вынуждающей силы не совпадает с собственной частотой колебаний, то работа этой силы в какие-то моменты времени положительна, а в какие-то отрицательна. При совпадении частот вынуждающая сила всё время совершает положительную работу. Следовательно, механическая энергия системы непрерывно увеличивается, и соответственно увеличивается амплитуда колебаний. Если бы не было сил сопротивления, то амплитуда могла бы увеличиться до бесконечности.

Работа силы сопротивления всегда отрицательна, и амплитуда при резонансе устанавливается тогда, когда сумма работ равна нулю или когда работа вынуждающей силы становится равна модулю работы силы сопротивления. При резонансе в контуре происходит то же самое. При совпадении частот переменная ЭДС направлена так, что направление тока, который она вызывает, совпадает с направлением тока в контуре в любой момент времени. Следовательно, ток в контуре всё время увеличивается. Если бы не было активного сопротивления, то ток увеличивался бы до бесконечности.

Амплитуда силы тока устанавливается тогда, когда работа источника за период равна количеству теплоты, выделяющейся в активном сопротивлении: $IUT = I^2 RT$, где $I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$ — действующее значение силы переменного тока; $U = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$ — действующее значение переменного напряжения.

$$\text{Тогда } \frac{I_0 U_0}{2} = \frac{I_0^2 R}{2}.$$

$$\text{Окончательно } I_0 = \frac{U_0}{R} = \frac{100}{5} \text{ (А)} = 20 \text{ А.}$$

Ответ: 20 А.

Задача 667.

Дано:
 $C = 10 \text{ мкФ} = 10^{-5} \text{ Ф}$
 $L = 0,1 \text{ Гн}$
 $\nu - ?$

Решение:

Максимальная сила тока в колебательном контуре достигается при резонансе, когда собственная частота колебаний равна частоте ЭДС источника.

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{6,28 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 10^{-5}}} \text{ (Гц)} \approx 160 \text{ Гц.}$$

Ответ: $\approx 160 \text{ Гц.}$ **Задача 670.**

Дано:
 $N_1 = 2000$
 $U_1 = 220 \text{ В}$
 $U_{\text{л}} = 10 \text{ В}$
 $I = 0,5 \text{ А}$
 $R = 2 \text{ Ом}$
 $N_2 - ?$

Решение:

Напряжение во вторичной обмотке должно быть равно сумме падений напряжения на самой обмотке и на электролампе: $U_2 = U_{\text{л}} = IR$.

Как известно, отношение напряжений на обмотках трансформатора равно отношению числа витков:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1},$$

$$\text{отсюда } N_2 = N_1 \frac{U_2}{U_1} = N_1 \frac{U_{\text{л}} + IR}{U_1} = 2000 \cdot \frac{10 + 0,5 \cdot 2}{220} = 100.$$

Ответ: 100.**Задача 675.**

Дано:
 $N = 10$
 $U_1 = 220 \text{ В}$
 $U = 1,1 \text{ В}$
 $N_1 - ?$

Решение:

Снимаемое напряжение с обмотки тем больше, чем больше число витков обмотки, поэтому

$$\frac{U_1}{U} = \frac{N_1}{N}.$$

$$\text{Тогда } N_1 = N \frac{U_1}{U} = 10 \cdot \frac{220}{1,1} = 1000.$$

Ответ: 1000.**Задача 680.**

Дано:
 $t = 5 \text{ с}$
 $v = 330 \text{ м/с}$
 $h - ?$

Решение:

$$\text{Время падения камня } t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Время, за которое звук от падения камня дойдёт до наблюдателя, $t_2 = \frac{h}{v}$.

$$\text{Таким образом, } t = t_1 + t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}} + \frac{h}{v}.$$

$$\text{Преобразуем выражение } t - \frac{h}{v} = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Возведя в квадрат левую и правую части равенства, получим квадратное уравнение относительно h :

$$h^2 - \left(2vt + \frac{2v^2}{g} \right) h + (vt)^2 = 0.$$

Решая его, получаем $h = 110$ м.

Ответ: 110 м.

Задача 685.

Дано:

$$s = 0,1 \sin \pi t$$

$$v = 100 \text{ м/с}$$

$$l = 180 \text{ м}$$

$$t_1 = 2 \text{ с}$$

$$s(t), s_1, v_1,$$

$$a_1 - ?$$

Решение:

Частота возбуждаемых в среде колебаний
 $\omega = 5\pi \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$

$$\text{Длина волны } \lambda = vT = v \frac{2\pi}{\omega}.$$

Запишем уравнение волны:

$$s(t) = A \sin \left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda} \right) = 0,1 \sin 5\pi \left(t - \frac{x}{v} \right) = 0,1 \sin 5\pi \left(t - \frac{x}{100} \right).$$

Уравнение волны позволяет определить смещение в любой точке среды в любой момент времени.

Подставим в написанное уравнение значения времени и расстояния от источника, данные в условии задачи:

$$s_1 = 0,1 \sin 5\pi \left(2 - \frac{180}{100} \right) = 0,1 \sin (5\pi \cdot 0,2) = 0,1 \sin \pi = 0.$$

Скорость колебаний определим из выражения

$$v = s' = 0,1 \cdot 5\pi \cos 5\pi \left(t - \frac{x}{v} \right) = 0,1 \cdot 5\pi \cos \pi = -0,5\pi = -1,57 \text{ м/с}.$$

Скорость колебаний в заданной точке и в данный момент времени $v_1 = -1,57$ м/с.

Ускорение в этой точке

$$a_1 = v' = -0,5\pi \cdot 5\pi \sin 5\pi \left(t - \frac{x}{v} \right) = 2,5\pi^2 \sin \pi = 0.$$

$$\text{Ответ: } s = 0,1 \sin 5\pi \left(t - \frac{x}{100} \right); \quad 0; \quad -1,57 \text{ м/с}; \quad 0.$$

Задача 689.

Дано:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$v_3 = 330 \text{ м/с}$$

$$t = 5 \text{ с}$$

$$s - ?$$

Решение:

Время, за которое свет доходит от вспышки молнии до наблюдателя, $t_1 = \frac{s}{c}.$

Время, за которое доходит звук, $t_2 = \frac{s}{v_3}.$

Промежуток времени между вспышкой и громом

$$t = t_1 + t_2 = s \left(\frac{1}{v_3} - \frac{1}{c} \right) = s \left(\frac{c - v_3}{v_3 c} \right) = s \left(\frac{1 - \frac{v_3}{c}}{v_3} \right).$$

Так как $\frac{v_3}{c} \ll 1$, то $s \approx v_3 t = 330 \cdot 5 \text{ (м)} \approx 1650 \text{ м.}$

Ответ: $\approx 1650 \text{ м.}$

Задача 692.

Дано:

$$v_{\max} = 20\,000 \text{ Гц}$$

$$t_1 = 0^\circ \text{C}$$

$$t_2 = 20^\circ \text{C}$$

$$\Delta v = 12 \text{ м/с}$$

$$v_3 = 330 \text{ м/с}$$

$$\Delta \lambda = ?$$

Решение:

Наименьшая длина волны при 0°C

$$\lambda_{\min} = \frac{v_3}{v_{\max}}.$$

При увеличении скорости звука на Δv длина волны увеличивается до $\lambda = \frac{v_3 + \Delta v}{v_{\max}}.$

$$\text{Изменение длины волны } \Delta \lambda = \frac{\Delta v}{v_{\max}} = \frac{12}{2 \cdot 10^4} \text{ (м)} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Ответ: $6 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$

Задача 696.

Дано:

$$\frac{w_1}{w_2} = 100$$

$$w_2$$

$$r_1 = 100 \text{ м}$$

$$r_2 = ?$$

Решение:

Плотность потока излучения — это энергия, переносимая волной через поверхность единичной площади в единицу времени. На расстоянии r_1 плотность потока излучения

$$w_1 = \frac{W}{4\pi r_1^2 \Delta t}; \text{ на расстоянии } r_2 \quad w_2 = \frac{W}{4\pi r_2^2 \Delta t}.$$

$$\text{Тогда } \frac{w_1}{w_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = 100; \quad r_2 = \sqrt{\frac{w_1 r_1^2}{w_2}} = r_1 \sqrt{\frac{w_1}{w_2}} = 10^3 \text{ м.}$$

Ответ: 10^3 м.

Задача 704.

Дано:

$$\lambda = 12 \text{ см}$$

$$n = 5000 \text{ 1/с}$$

$$\tau = 3 \text{ мкс} =$$

$$= 3 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

$$N, L = ?$$

Решение:

Период колебаний, возбуждаемых волной,

$$T = \frac{\lambda}{c}.$$

Таким образом, число колебаний за время одного импульса определится:

$$N = \frac{\tau}{T} = \frac{\tau c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^8}{0,12} = 7500.$$

За время между двумя импульсами сигнал должен дойти до цели и, отразившись, попасть в приёмник локатора, т. е.

$$2L = c \frac{1}{n};$$

$$L = \frac{c}{2n} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 5000} = 3 \cdot 10^4 \text{ (м)} = 30 \text{ км.}$$

Ответ: $7,5 \cdot 10^3$; 30 км.

Задача 708.

Дано:
 $\alpha = 135^\circ$
 $h = 1,6 \text{ м}$
 $v = 2 \text{ м/с}$

u, l — ?

Решение:

На рисунке 13 показано изображение человека в зеркале. Для примера на рисунке построено изображение точки A в зеркале.

Очевидно, что изображение расположено симметрично относительно зеркала, поэтому при перемещении человека к зеркалу также перемещается его изображение.

Следовательно, скорость изображения относительно зеркала равна скорости человека:

$$u = v = 2 \text{ м/с}.$$

Из рисунка также очевидно, что человек начинает видеть своё изображение в зеркале, когда он подойдёт к нему на расстояние, приблизительно равное его росту (пренебрегаем расстоянием от глаз до верхней точки головы):

$$l \approx h \approx 1,6 \text{ м}.$$

Ответ: 2 м/с ; $\approx 1,6 \text{ м}$.

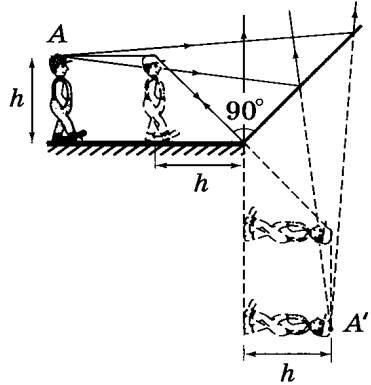


Рис. 13

Задача 711.

Дано:
 ω
 ω_1 — ?

Решение:

Направим луч (рис. 14) на зеркало (положение A), нарисуем отражённый луч I согласно закону отражения света (угол падения равен углу отражения). Повернём зеркало на угол φ и опять нарисуем отражённый луч. Отражённый луч переместится в положение 2 .

Угловое смещение отражённого луча:

$$\gamma = \alpha + \varphi - (\alpha - \varphi) = 2\varphi.$$

Угловая скорость вращения зеркала

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}.$$

Отражённый луч движется со скоростью

$$\omega_1 = \frac{\Delta\gamma}{\Delta t} = \frac{\Delta 2\varphi}{\Delta t} = 2\omega.$$

Ответ: 2ω .

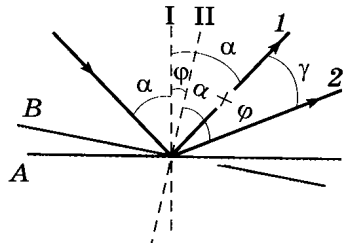


Рис. 14

Задача 716.

Дано:

$$d = 30 \text{ см}$$

$$d_1 = 25 \text{ см}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$n = ?$$

Решение:

На рисунке 15 показано преломление пучка света. Преломлённые лучи идут под углом β .

Показатель преломления среды определим из закона преломления света: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{1}{n}$.

Угол β определим из соотношений

$$d = AB \cos \alpha;$$

$$d_1 = AB \cos \beta.$$

Из написанных уравнений найдём:

$$\cos \beta = \frac{d_1}{d} \cos \alpha. \text{ Отсюда}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \left(\frac{d_1}{d} \cos \alpha \right)^2}.$$

$$n = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{d_1}{d} \cos \alpha \right)^2}}{\sin \alpha} = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{25}{30} \cdot 0,867 \right)^2}}{0,5} \approx 1,4.$$

Ответ: $\approx 1,4$.

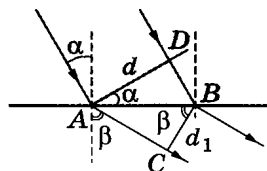


Рис. 15

Задача 718.

Дано:

$$H = 2 \text{ м}$$

$$h = 1 \text{ м}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$n = 1,33$$

$$L = ?$$

Решение:

На рисунке 16 показано преломление падающего луча AB . Луч преломляется под углом β .

Угол β определим из закона преломления света:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n,$$

отсюда

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}.$$

Из условия следует, что длина погружённой в воду части сваи равна h . Тогда длина тени

$$\begin{aligned} L &= DE = DB_1 + B_1E = \\ &= h \operatorname{tg} \alpha + h \operatorname{tg} \beta = \\ &= h (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta) = \\ &= h \left(\operatorname{tg} \alpha + \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) = \\ &= 1 \cdot \left(0,577 + \frac{0,5}{\sqrt{1,33^2 - 0,25}} \right) \approx 0,99 \text{ м.} \end{aligned}$$

Ответ: $\approx 0,99 \text{ м}$.

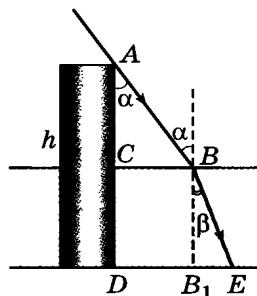


Рис. 16

Задача 721.

Дано:
 $H = 1 \text{ км}$
 $n = 1,33$
 $h = ?$

Решение:

Пусть водолаз находится в точке A' (рис. 17). Ему кажется, что самолёт находится в точке D .

Рассмотрим два треугольника ADB и ACB .

Сторона треугольников $AB = h \operatorname{tg} \alpha = H \operatorname{tg} \beta$.

Из последнего уравнения найдём: $h = H \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha}$.

Так как углы малы, то $\frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} \approx \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = n$, где n — показатель преломления воды.

Таким образом, $h = Hn = 1,33 \text{ км}$.

Ответ: 1,33 км.

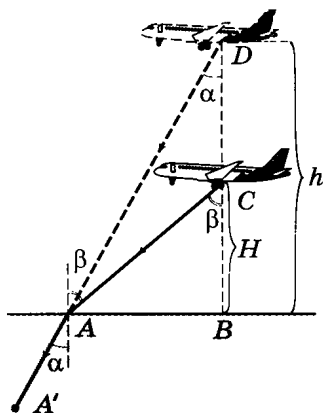


Рис. 17

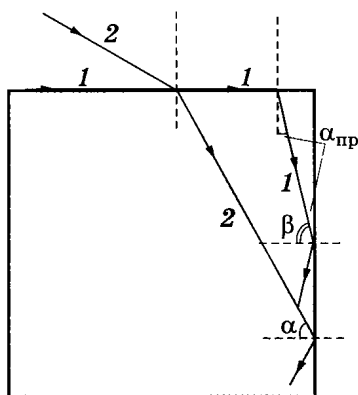


Рис. 18

Задача 723.

Дано:
 $n = 2,42$
 Алмазный кубик в качестве призмы для преломления лучей — ?

Решение:

Предельный угол преломления для границы алмаз — воздух определяем из условия

$$\sin \alpha_{\text{пр}} = 1/n, \text{ т. е. } \alpha_{\text{пр}} = 24^\circ.$$

Самый маленький угол падения на границу алмаз — воздух (боковая грань) будет, если луч при падении на верхнюю грань алмаза практически скользит по этой грани (сравните лучи 1 и 2 на рисунке 18).

В этом случае угол, под которым преломляется луч, равен предельному углу $\alpha_{\text{пр}} = 24^\circ$.

Тогда угол падения на границу алмаз — воздух (боковую грань) равен 66° и больше предельного угла $\alpha_{\text{пр}}$. Таким образом, луч не выйдет через боковую грань и кубик нельзя использовать в качестве призмы.

Ответ: нельзя.

Задача 728.

Дано:

$$\alpha = 60^\circ$$

$n = ?$

Решение:

Наибольшая вероятность выхода за границу жидкости у луча, скользящего вдоль образующей конуса, — луча 1 (рис. 19).

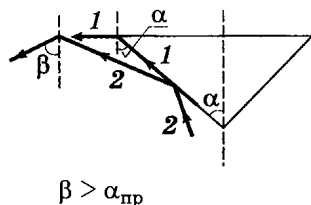
Угол падения на границу раздела жидкости с воздухом любого луча, отражённого от поверхности конуса, будет больше, чем угол падения луча 1, например луча 2.

Предельный угол преломления для границы сред жидкость — воздух определяем из условия $\sin \alpha_{\text{пр}} = 1/n$.

В данном случае $\alpha_{\text{пр}} = \alpha = 60^\circ$.

Таким образом, $n = 1/\sin \alpha \approx 1,15$.

Ответ: $\approx 1,15$.



$$\beta > \alpha_{\text{пр}}$$

Рис. 19

Задача 730.

Дано:

$$R = 10 \text{ см}$$

$$h = 0,6 \text{ м}$$

$$r = 0,18 \text{ м}$$

$$H = 1 \text{ м}$$

$$n = 1,33$$

$h_0 = ?$

Решение:

Радиус пятна (рис. 20)

$$r = AB + B_1C; \quad AB = h_0 \tan \alpha; \quad B_1C = (H - h_0) \tan \beta.$$

$$\text{Тогда} \quad r = h_0 \tan \alpha + (H - h_0) \tan \beta; \quad (1)$$

$$R = h_0 \tan \alpha + (h - h_0) \tan \beta. \quad (2)$$

Согласно закону преломления света

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{1}{n}. \quad (3)$$

Так как углы малы, то можно считать, что

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \approx \frac{\alpha}{\beta} = \frac{1}{n}.$$

Отсюда $\beta = n\alpha$.

Подставив это выражение в формулы (1) и (2), получим

$$r = h_0 \alpha + (H - h_0) n \alpha;$$

$$R = h_0 \alpha + (h - h_0) n \alpha.$$

Разделив r на R , получим

$$\frac{r}{R} = \frac{h_0 + (H - h_0) n}{h_0 + (h - h_0) n}.$$

Из последнего уравнения найдём h_0 :

$$h_0 = \frac{n}{n-1} \frac{HR - hr}{R - r} \approx 0,4 \text{ м}.$$

Ответ: $\approx 0,4 \text{ м}$.

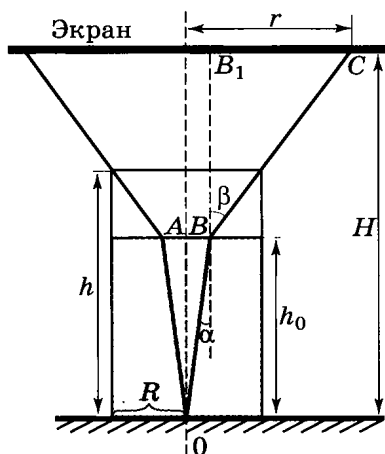


Рис. 20

Задача 733.

Дано:

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\gamma = 30^\circ$$

$n = ?$

Решение:

Из рисунка 21 очевидно, что угол преломления луча $\beta = \alpha + \gamma = 60^\circ$.

Согласно закону преломления света

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{1}{n}, \text{ откуда } n = \sqrt{3}.$$

Ответ: $\sqrt{3}$.

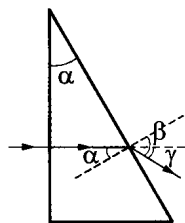


Рис. 21

Задача 741.

Дано:

$$L = 24 \text{ см}$$

$$F = 9 \text{ см}$$

$d_1, d_2 = ?$

Решение:

Поставим линзу между источниками S_1 и S_2 (рис. 22).

Расстояние между источниками

$$L = d_1 + d_2. \quad (1)$$

Чтобы изображения совпали, очевидно, что изображение одного из источников должно быть мнимым. Мнимое изображение получается от второго источника.

Запишем формулы линзы:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F}; \quad (2)$$

$$\frac{1}{d_2} - \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}, \quad (3)$$

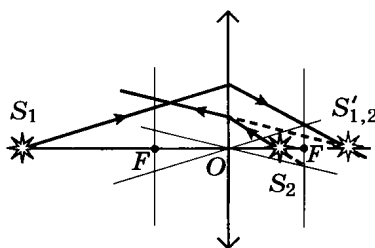


Рис. 22

где d_1 и d_2 — расстояния от источников до линзы, f_1 и f_2 — расстояния от линзы до изображений источников.

Условие совпадения изображений: $f_1 = f_2$.

Из формул (2) и (3) получим

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} = \frac{2}{F}. \quad (4)$$

Уравнения (1) и (4) — система двух уравнений с двумя неизвестными, решение которых имеет вид

$$d_{1,2} = \frac{L}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 - \frac{LF}{2}} = 12 \pm 6 \text{ (см)}; \quad d_1 = 18 \text{ см}; \quad d_2 = 6 \text{ см}.$$

Ответ: 18 см; 6 см.

Задача 743.

Дано:

$$d = 40 \text{ см}$$

$$F = 30 \text{ см}$$

$$D = 4 \text{ см}$$

$$d_0 = 2 \text{ см}$$

$l = ?$

Решение:

$$\text{Запишем формулу линзы: } \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

Из этой формулы получим расстояние от изображения до линзы: $f = \frac{dF}{d - F}$.

Как следует из рисунка 23, при двух положениях экрана возможно получить светлое пятно нужного диаметра.

Рассмотрим два треугольника ABS' и A_1B_1S' .

Эти треугольники подобны.

Отсюда следует: $\frac{D}{d_0} = \frac{f}{f - l_1}$.

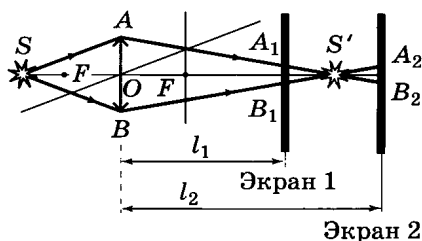


Рис. 23

Из этого выражения получим

$$l_1 = f \left(1 - \frac{d_0}{D} \right) = \frac{dF}{d - f} \left(1 - \frac{d_0}{D} \right) = \frac{40 \cdot 30}{40 - 30} \cdot \left(1 - \frac{2}{4} \right) (\text{см}) = 60 \text{ см.}$$

Рассмотрим два треугольника ABS' и A_2B_2S' .

Из подобия этих треугольников следует: $\frac{D}{d_0} = \frac{f}{l_2 - f}$, откуда

$$l_2 = f \left(1 + \frac{d_0}{D} \right) = \frac{Fd}{d - f} \left(1 + \frac{d_0}{D} \right) = \frac{30 \cdot 40}{40 - 30} \cdot \left(1 + \frac{2}{4} \right) (\text{см}) = 180 \text{ см.}$$

Ответ: 60 см; 180 см.

Задача 744.

Дано:

Линза собирающая, $D > 0$

$(d + f)_{\min} - ?$

Решение:

Расстояние от изображения до оптического центра линзы зависит от расстояния d от источника до оптического центра. Если $d \rightarrow \infty$, то $f \rightarrow F$, если $d \rightarrow F$, то $f \rightarrow \infty$. Следовательно, при каком-то значении d сумма $d + f$ минимальна.

Формула собирающей линзы в случае получения действительного изображения имеет вид $D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$, где $D = \frac{1}{F}$.

Выразим расстояние от изображения до линзы:

$$f = \frac{1}{D - \frac{1}{d}} = \frac{d}{dD - 1}.$$

Сумма расстояний от источника до оптического центра линзы и от изображения до оптического центра линзы

$$x(d) = d + f = d + \frac{d}{dD - 1} = d \frac{dD}{dD - 1}.$$

Исследуем эту функцию на экстремум, т. е. найдём производную по d и приравняем её нулю:

$$\left(d + \frac{d}{dD - 1} \right)' = 1 + \frac{dD - 1 - dD}{(dD - 1)^2} = \frac{(dD - 1)^2 - 1}{(dD - 1)^2} = 0.$$

Решая это уравнение относительно dD , получим два значения: $dD - 1 = \pm 1$.

Очевидно, что физический смысл для d имеет значение $d = 2/D = 2F$.

Таким образом, минимальное значение $d + f = 4F$.

Ответ: $4F$.

Задача 748.

Дано:
 D
 α
 d

 β — ?

Решение:

Так как из линзы по условию задачи выходит пучок расходящихся лучей, то это означает, что изображение источника мнимое. На рисунке 24, а показано изображение источника в этом случае.

Запишем формулу линзы:

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F}. \quad (1)$$

Для угла α справедливо соотношение

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{D}{2f_1}. \quad (2)$$

Из формулы (1) следует, что $f_1 = \frac{dF}{F-d}$. Подставив это выражение

в соотношение (2), получим

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{D(F-d)}{2dF}. \quad (3)$$

На рисунке 24, б показан ход лучей в рассеивающей линзе.

Формула линзы в этом случае имеет вид $\frac{1}{d} - \frac{1}{f_2} = -\frac{1}{F}$, откуда $f_2 = \frac{dF}{d+F}$.

Для угла β запишем:

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{D}{2f_2} = \frac{D(F+d)}{2dF}. \quad (4)$$

Выразив F из формулы (3) и подставив в формулу (4), получим

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{D}{d} - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad \beta = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{D}{d} - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right).$$

Ответ: $2 \operatorname{arctg} \left(\frac{D}{d} - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)$.

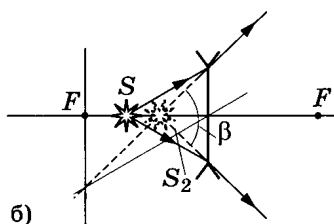
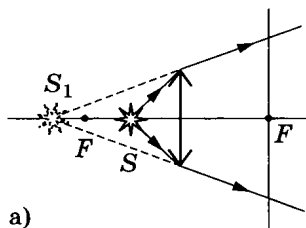


Рис. 24

Задача 749.

Дано:
 $d_1 = \frac{5}{4}F$
 $d_2 = \frac{3}{2}F$

 l'/l — ?

Решение:

Оба конца стержня находятся на расстоянии, большем фокусного расстояния, поэтому в линзе мы получим действительное изображение.

Запишем формулу линзы для определения изображения обоих концов стержня:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F}; \quad \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}.$$

Подставив в эти выражения d_1 и d_2 , получим выражения

$$f_1 = 5F; \quad f_2 = 3F.$$

Тогда длина изображения $l' = f_1 - f_2 = 2F$.

Длина предмета $l = d_2 - d_1 = \frac{1}{4}F$.

При этом заметим, что изображение дальнего от линзы конца стержня ближе к линзе, чем изображение ближнего к линзе конца стержня, т. е. изображение не только увеличивается, но и переворачивается на 180° .

Искомое отношение $l'/l = 8$.

Ответ: 8.

Задача 752.

Дано:

Решение:
При отсутствии пластинки положение изображения S_2 источника (рис. 25, а) определим по формуле линзы:
$$\frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}, \text{ откуда } f_2 = \frac{d_2 F}{d_2 - F} = 2F.$$

Плоскопараллельная пластинка, не меняя направления распространения лучей, смещает их (рис. 25, б). Таким образом, источник как бы смещается на расстояние Δd .

$$\Delta d = \frac{AS'}{\sin \alpha}; AS' = CE = \frac{d}{\cos \beta} \sin(\alpha - \beta) = d \left(\sin \alpha - \frac{\sin \beta \cos \alpha}{\cos \beta} \right).$$

Тогда при учёте малости углов падения и преломления получим

$$\Delta d = d \left(1 - \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \right) = d \left(1 - \frac{1}{n} \right) = \frac{(n-1)d}{n}.$$

Таким образом, формула линзы при смещении источника в положение S' имеет вид

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{2F - \frac{d(n-1)}{n}} + \frac{1}{f_1}.$$

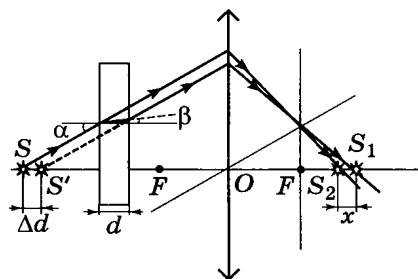
Выразив из последнего уравнения f_1 , получим

$$f_1 = \frac{F(2Fn - d(n-1))}{Fn - d(n-1)}.$$

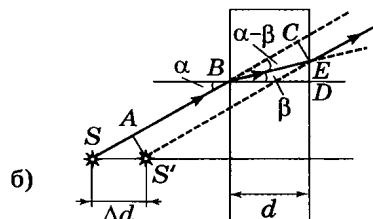
Тогда

$$x = f_1 - f_2 = \frac{Fd(n-1)}{Fn - d(n-1)}.$$

Ответ: $\frac{Fd(n-1)}{Fn - d(n-1)}.$



а)



б)

Рис. 25

Задача 755.

Дано:

$$F_1 = 10 \text{ см}$$

$$F_2 = 20 \text{ см}$$

$$d = 10 \text{ см}$$

$$l = 30 \text{ см}$$

$$f_2 = ?$$

Решение:

На рисунке 26 показано построение изображений, полученных в линзах. Сначала строим изображение в рассеивающей линзе. Проводим луч 1, параллельно проводим побочную оптическую ось через оптический центр рассеивающей линзы, она пересекает фокальную плоскость в точке А, чертим луч через точку А и точку пересечения луча 1 с линзой. Вторым лучом выбираем луч 2, проходящий вдоль оптической оси.

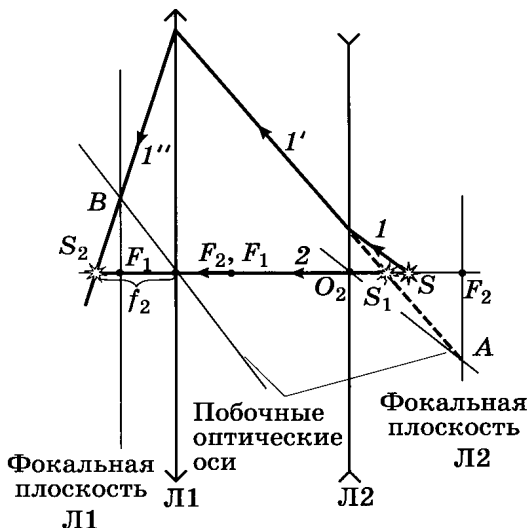


Рис. 26

Эти лучи не могут пересечься, пересекаются только их продолжения, мы получаем мнимое изображение источника S в точке S_1 .

Изображение, полученное в рассеивающей линзе, является источником для собирающей линзы.

Рассмотрим два луча: луч 1' и луч 2, идущий вдоль главной оптической оси.

Проводим побочную оптическую ось через оптический центр собирающей линзы, параллельную лучу 1'. Эта ось пересечёт фокальную плоскость в точке В. Находим преломлённый в линзе L_1 луч 1'', который пересечёт луч, идущий вдоль главной оптической оси, в точке S_2 . Эта точка — окончательное изображение точечного источника S , полученное с помощью двух линз.

Найдём расстояние от собирающей линзы до этого изображения.

Используем формулу линзы для определения положения первого изображения:
$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f_1} = -\frac{1}{F_2}.$$

$$\text{Отсюда } f_1 = \frac{dF_2}{d + F_2}.$$

Расстояние от этого изображения до собирающей линзы

$$d_1 = f_1 + l.$$

Определим по формуле линзы положение изображения, полученного в собирающей линзе:

$$\frac{1}{f_1 + l} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F_1}; f_2 = \frac{F_1(f_1 + l)}{f_1 + l - F_1} = 13,75 \text{ (см)} \approx 14 \text{ см.}$$

Ответ: ≈ 14 см.

Замечание. Если бы линзы были вплотную друг к другу, то мы бы записали: $\frac{1}{d} - \frac{1}{f_1} = -\frac{1}{F_2}$ и $\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F_1}$.

Сложив левые и правые части последних уравнений, мы бы получили $\frac{1}{d} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F_1} - \frac{1}{F_2} = D_1 + D_2$.

Таким образом, если элементы оптической системы расположены близко друг к другу, то оптическая сила системы равна алгебраической сумме оптических сил элементов системы.

Задача 756.

Дано:

$$L = 8 \text{ м}$$

$$\nu = 115 \text{ Гц}$$

$$\nu = 330 \text{ м/с}$$

x — ?

Решение:

Определим, на каком расстоянии от середины отрезка находится человек.

Если он не слышит звук с заданной частотой, то это означает, что он находится в точке интерференционного минимума.

Условие минимума — разность хода равна нечётному числу полуволен: $l_2 - l_1 = (2k + 1) \lambda/2$, где k — целое число.

Так как человеку кажется, что он стоит на середине отрезка между источниками звука, то разность хода волн минимальна и равна $\lambda/2$. Следовательно, от одного источника волна проходит путь на $\lambda/4$ больше, а от другого — на $\lambda/4$ меньше, то есть человек находится от середины отрезка на расстоянии, равном $\lambda/4$.

$$\text{Длина волны } \lambda = \frac{\nu}{v} = \frac{330}{115} \text{ (м)} = 2 \text{ м, следовательно, } x = 0,5 \text{ м.}$$

Ответ: 0,5 м.

Задача 758.

Дано:

$$l_1 = 2,1 \text{ м}$$

$$l_2 = 4,5 \text{ м}$$

$$\nu = 125 \text{ Гц}$$

$$\nu = 300 \text{ м/с}$$

Мах или

min — ?

Решение:

Наблюдатель услышит самый громкий звук, если разность хода волн равна чётному числу полуволен, или целому числу длин волн: $\Delta = \pm k\lambda$. Наблюдатель не услышит звук, если разность хода волн равна нечётному числу полуволен: $\Delta = \pm(2k + 1)\frac{\lambda}{2}$.

$$\text{Длина волны } \lambda = \frac{\nu}{v}.$$

$$\text{Разность хода волн } \Delta = l_2 - l_1.$$

Разделим разность хода на длину волны:

$$k = \frac{l_2 - l_1}{\frac{v}{\lambda}} = \frac{l_2 - l_1}{v} \cdot v = \frac{2,4}{300} \cdot 125 = 1.$$

Следовательно, в точке, где находится наблюдатель, — интерференционный максимум, он услышит громкий звук.

Ответ: услышит громкий звук.

Задача 762.

Дано:

$$d = 525 \text{ нм}$$

$$\lambda = 546 \text{ нм}$$

$$n = 1,31$$

Мах или
мин — ?

Решение:

Просветление оптики состоит в том, что весь световой поток, падающий на объектив, проходит внутрь аппарата, а отражённый поток равен нулю.

Для этого необходимо, чтобы волны 1, отражённые от плёнки, и волны 2, отражённые от объектива (рис. 27), гасили друг друга, т. е. оптическая разность хода была бы равна нечётному числу полуволн.

Подсчитаем, сколько длин волн укладывается на оптической разности хода в этом случае:

$$k = \frac{2nd}{\lambda} = \frac{2 \cdot 1,31 \cdot 525}{546} = 2,5,$$

или можно записать: $\Delta = 5 \frac{\lambda}{2}$.

Это покрытие обеспечивает просветление оптики.

Ответ: обеспечивает.

Задача 764.

Дано:

$$l = 4 \text{ м}$$

$$d = 0,4 \text{ мм}$$

$$\delta = 5 \text{ мм}$$

λ — ?

Решение:

Разность хода волн от щелей S_1 и S_2 (рис. 28)

$$\Delta = l_2 - l_1.$$

Из треугольников S_1M_1M и S_2M_2M получим

$$l_1^2 = l^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2; \quad l_2^2 = l^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2.$$

Сделав вычитание левых и правых частей уравнений и учитывая, что $\Delta = l_2 - l_1$, получим $\Delta \cdot (l_1 + l_2) = 2xd$.

Так как углы падения лучей на экран малы, то $l_1 + l_2 \approx 2l$. Тогда

$$\Delta = \frac{xd}{l}.$$

Условие наблюдения интерференционных максимумов:

$$\Delta = \frac{x_k d}{l} = \pm k\lambda.$$

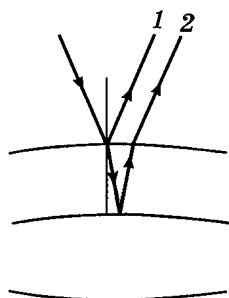


Рис. 27

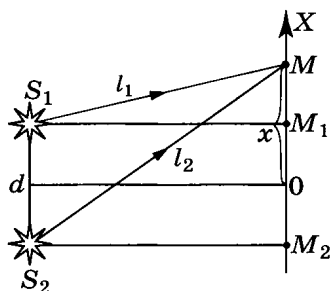


Рис. 28

Из последнего выражения определим координаты максимумов:

$$x_k = \pm k \frac{l\lambda}{d}.$$

Расстояние между соседними максимумами равно

$$\delta = x_{k+1} - x_k = \frac{l\lambda}{d}.$$

Отсюда находим длину волны:

$$\lambda = \frac{d\delta}{l} = \frac{0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{4} \text{ (м)} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 500 \text{ нм}.$$

Ответ: 500 нм.

Задача 766.

Дано:

$$\lambda_1 = 760 \text{ нм}$$

$$\lambda_2 = 400 \text{ нм}$$

Мак или

min — ?

Решение:

Условие наблюдения интерференционных максимумов: $\Delta = \pm k_1 \lambda_1$. k_1 — целое число.

Оценим, сколько длин волн укладывается на этой же разности хода в фиолетовом свете:

$$k_2 = \frac{k_1 \lambda_1}{\lambda_2} = \frac{k_1 760}{400} = 1,9 k_1.$$

Для наблюдения интерференционного минимума число k_2 должно быть полуцелым числом.

Если $k_1 = 5$, то мы увидим интерференционный минимум, так как $k_2 = 9,5$.

Ответ: минимум.

Задача 768.

Дано:

$$n_n = 1,38$$

$$n_{ст} = 1,5$$

$$\lambda = 550 \text{ нм}$$

$d_{\min}$ — ?

Решение:

Для того чтобы свет гасился, необходимо, чтобы оптическая разность хода волн, отражённых от покрытия и от стекла, была равна нечётному числу полуволн.

Отражение в обоих случаях происходит на границе оптически менее плотной среды с оптически более плотной средой, поэтому на обеих границах происходит потеря половины длины волны. Таким образом, эти отражения не изменяют разности фаз колебаний, возбуждаемых в пространстве отражёнными волнами. Разность фаз может измениться только за счёт того, что волна, отражённая от стекла, проходит большее расстояние, чем волна, отражённая от покрытия.

Разность хода волн $\Delta = 2dn$.

Условие интерференционного минимума: $2dn = (2k + 1) \lambda/2$, где k — целое число.

Так как нас интересует минимальная толщина покрытия, то $k = 0$, и $2d_{\min} n = \lambda/2$.

$$\text{Тогда получим } d_{\min} = \frac{\lambda}{4n} = \frac{550}{4 \cdot 1,38} \text{ (нм)} \approx 100 \text{ нм}.$$

Ответ: ≈ 100 нм.

Задача 773.

Дано:

$$N = 100$$

$$l = 1 \text{ мм}$$

$$L = 2 \text{ м}$$

$$\lambda = 400\text{—}760 \text{ нм}$$

$$\Delta x \text{ — ?}$$

Решение:

Период дифракционной решётки

$$d = \frac{l}{N}.$$

Условие наблюдения дифракционного максимума:

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda, \text{ где } k \text{ — порядок спектра.}$$

При $k = 1$ мы наблюдаем спектр первого порядка.

Пусть при самой маленькой длине волны угол дифракции в спектре первого порядка равен φ_1 , тогда можно записать:

$$d \sin \varphi_1 = \lambda_1.$$

Отсюда

$$\sin \varphi_1 = \frac{\lambda_1}{d}.$$

Координата (A) полосы, соответствующей этому максимуму на экране (рис. 29), $x_1 = L \operatorname{tg} \varphi_1$.

Так как угол φ_1 мал, то для x_1 можно записать:

$$x_1 = L \sin \varphi_1 = L \frac{N \lambda_1}{l} = 2 \cdot \frac{100 \cdot 400 \cdot 10^{-9}}{10^{-3}} \text{ (м)} = 0,08 \text{ м.}$$

При самом большом значении длины волны координата (B) полосы:

$$x_2 = L \sin \varphi_2 = L \frac{N \lambda_2}{l} = 2 \cdot \frac{100 \cdot 760 \cdot 10^{-9}}{10^{-3}} \text{ (м)} = 0,152 \text{ м.}$$

$$\text{Длина спектра } \Delta x = x_2 - x_1 = 0,072 \text{ м} = 7,2 \text{ см.}$$

Ответ: 7,2 см.

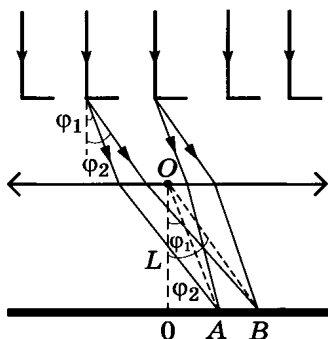


Рис. 29

Задача 774.

Дано:

$$d = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$\lambda = 5,89 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$k_{\max} \text{ — ?}$$

Решение:

Условие наблюдения дифракционного максимума:

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda,$$

где k — порядок спектра.

Чем больше угол дифракции, тем больше порядок спектра.

Максимальный порядок спектра будет при $\varphi = \pi/2$. Тогда

$$k_{\max} = \frac{d}{\lambda} = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{5,89 \cdot 10^{-7}} = 3,3.$$

Так как порядок спектра — целое число, то $k_{\max} = 3$.

Ответ: 3.

Задача 781.

Дано:

$$v = 0,18c$$

$$l_0 = 6 \text{ м}$$

$$L = 6,15 \text{ м}$$

$$l, L_0 - ?$$

Решение:

Относительно неподвижной системы отсчёта, связанной с гонщиком, длина его автомобиля l_0 .

Относительно пассажира микроавтобуса гонщик движется со скоростью v , так что пассажиру микроавтобуса кажется, что длина автомобиля

$$l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = 6 \cdot \sqrt{1 - (0,18)^2} \text{ (м)} = 5,9 \text{ м.}$$

Длина микроавтобуса относительно системы отсчёта, связанной с гонщиком, меньше, чем его длина относительно сидящего в нём пассажира:

$$L_0 = \frac{L}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = 6,25 \text{ м.}$$

Ответ: 5,9 м; 6,25 м.

Задача 783.

Дано:

$$\tau_0 = 2,6 \cdot 10^{-8} \text{ с}$$

$$L = 20 \text{ м}$$

$$v - ?$$

Решение:

Время жизни π -мезона относительно неподвижной системы отсчёта, связанной с Землёй:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Расстояние, которое он пролетает, $L = v\tau = \frac{v\tau_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$

Из последнего выражения определяем скорость π -мезона:

$$v = \frac{c}{\sqrt{1 + \left(\frac{c\tau_0}{L}\right)^2}} = 2,8 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Ответ: $2,8 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$

Задача 786.

Дано:

$$v_1 = 0,6c$$

$$u = 0,6c$$

$$v_2 - ?$$

Решение:

Скорость второй ракеты относительно Земли определим по закону сложения скоростей, при этом неподвижной системой отсчёта считаем Землю, подвижной системой отсчёта — первую ракету. Тогда

$$v_2 = \frac{v_1 + u}{1 + \frac{v_1 u}{c^2}} = \frac{1,2c}{1 + \frac{(0,6)^2 c^2}{c^2}} \approx 0,88c.$$

Ответ: $\approx 0,88c.$

Задача 789.

Дано:

$m = 60 \text{ кг}$

$v = 0,6c$

$p = ?$

Решение:

Так как космический корабль движется со скоростью, соизмеримой со скоростью света, то для определения импульса человека нельзя использовать формулу для импульса в классической механике.

В этом случае импульс (релятивистский импульс) $p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.

Подставив значения, получим $p = \frac{60 \cdot 0,6 \cdot 3 \cdot 10^8}{\sqrt{1 - (0,6)^2}} \text{ (кг} \cdot \text{м/с)} = 1,35 \cdot 10^{10} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$

Ответ: $1,35 \cdot 10^{10} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$

Задача 794.

Дано:

$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$

$E_0 = ?$

Решение:

Собственная энергия электрона равна

$$E_0 = mc^2 = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ (Дж)} = 8,19 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}.$$

Ответ: $8,19 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}.$

Задача 795.

Дано:

$\frac{E}{E_0} = 1,25$

$v = ?$

Решение:

Энергия при движении тела увеличивается:

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \text{ отсюда } 1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 = \left(\frac{E_0}{E}\right)^2 \text{ и}$$

$$v = c \sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E}\right)^2} = 0,6c.$$

Ответ: $0,6c.$

Задача 797.

Дано:

$M = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ кг}$

$W_0 = 1,26 \cdot 10^{34} \text{ Дж/год}$

$t = ?$

Решение:

Энергия, излучаемая Солнцем за время t , $W = W_0 t$.

Согласно связи энергии с массой имеем $W = mc^2$.

По условию задачи $m = \frac{M}{2}$.

Таким образом, $\frac{M}{2} c^2 = W_0 t$.

Следовательно, $t = \frac{Mc^2}{2W_0} = 7,1 \cdot 10^{12} \text{ лет}.$

Ответ: $7,1 \cdot 10^{12} \text{ лет}.$

Задача 798.

Д а н о:
 $m = 2$ кг
 Δm — ?

Р е ш е н и е:

Энергия, получаемая льдом при его таянии,

$$W = Q = \lambda m.$$

Согласно связи энергии с массой имеем

$$W = \Delta m c^2.$$

Из этих выражений следует, что

$$\Delta m = \frac{\lambda m}{c^2} = \frac{3,3 \cdot 10^5 \cdot 2}{9 \cdot 10^{16}} \text{ (кг)} = 7,4 \cdot 10^{-12} \text{ кг}.$$

Ответ: $7,4 \cdot 10^{-12}$ кг.

Задача 800.

Д а н о:
 m
 F
 $v(t)$ — ?

Р е ш е н и е:

Изменение импульса в релятивистской механике

$$\Delta p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = Ft.$$

Преобразуем это выражение и найдём зависимость скорости частицы от времени:

$$(Ft)^2 \left(1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 \right) = (mv)^2;$$

$$\left(\frac{mv}{Ft} \right)^2 = 1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2;$$

$$v^2 \left(\left(\frac{m}{Ft} \right)^2 + \frac{1}{c^2} \right) = 1;$$

$$v^2 = \frac{(Ft)^2 c^2}{m^2 c^2 + (Ft)^2};$$

$$v(t) = \frac{Ftc}{\sqrt{m^2 c^2 + (Ft)^2}}.$$

Для того чтобы показать, что $v \rightarrow c$ при $t \rightarrow \infty$, разделим и числитель и знаменатель дроби на Ft :

$$v = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{m^2 c^2}{F^2 t^2}}}.$$

При $t \rightarrow \infty$ знаменатель дроби стремится к 1, следовательно, скорость $v \rightarrow c$.

Ответ: $v(t) = \frac{Ftc}{\sqrt{m^2 c^2 + (Ft)^2}}.$

Задача 803.

Дано:

$$\lambda_{\max} = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$\lambda = 4,4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$U_3 = ?$$

Решение:

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\max}^2}{2}. \quad (1)$$

$$\text{Работа выхода } A_{\text{вых}} = h \frac{c}{\lambda_{\max}}.$$

Задерживающее напряжение — это напряжение, при котором фототок прекращается. Это означает, что ни один из электронов, покинувших катод в результате фотоэффекта, не достигает анода.

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = qU_3.$$

Подставив написанные выражения в уравнение (1), получим

$$h \frac{c}{\lambda} = h \frac{c}{\lambda_{\max}} + qU_3.$$

Таким образом,

$$U_3 = \frac{hc}{q} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{\max}} \right) = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19}} \left(\frac{1}{4,4 \cdot 10^{-7}} - \frac{1}{5,5 \cdot 10^{-7}} \right) \text{ (В)} \approx 0,56 \text{ В}.$$

Ответ: $\approx 0,56 \text{ В}$.

Задача 808.

Дано:

$$\lambda = 2000 \text{ Å} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$\varphi_{\max} = 3 \text{ В}$$

$$A_{\text{вых}} = ?$$

Решение:

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\max}^2}{2}.$$

$$\text{Отсюда } A_{\text{вых}} = h\nu - \frac{mv_{\max}^2}{2}. \quad (1)$$

Частота с длиной волны связаны соотношением

$$h\nu = h \frac{c}{\lambda}. \quad (2)$$

Электроны под действием облучения вылетают из шарика, который заряжается положительно. Возникает электрическое поле, задерживающее вылетающие электроны. Когда заряд и соответственно потенциал шарика становятся такими, что электроны уже не могут преодолеть поле, создаваемое шариком, и возвращаются назад, потенциал и заряд шарика максимальны, шарик заряжаться дальше не будет.

Запишем это условие. Изменение кинетической энергии электрона равно работе электростатических сил поля шарика:

$$0 - \frac{mv_{\max}^2}{2} = q\varphi_{\max}. \quad (3)$$

Подставив выражения (2) и (3) в формулу (1), получим

$$A_{\text{вых}} = h \frac{c}{\lambda} - |q|\varphi_{\max} = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^{-7}} - 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \text{ (Дж)} \approx \\ \approx 5,14 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 3,2 \text{ эВ.}$$

Ответ: $\approx 3,2$ эВ.

Задача 811.

Дано:

$$\lambda = 200 \text{ нм}$$

$$|U_s| = 1,64 \text{ В}$$

X — ?

Решение:

Работа выхода электронов из металла — табличная величина. Получив значение работы выхода и сравнив его с данными в таблице, можно определить металл.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта имеет вид

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\max}^2}{2}.$$

Задерживающее напряжение — это напряжение между катодом и анодом, при котором ни один электрон, вылетевший из катода, не достигнет анода.

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = |eU_s|.$$

Из уравнения Эйнштейна получим $A_{\text{вых}} = h \frac{c}{\lambda} - |eU_s|.$

Значение работы выхода приведено в таблице в электронвольтах, а $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$

Подставив значения, получим

$$A_{\text{вых}} = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^{-7}} - 1,64 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ (эВ)} \approx 4,6 \text{ эВ.}$$

Это работа выхода вольфрама.

Ответ: вольфрам.

Задача 816.

Дано:

$$\lambda_1 = 800 \text{ нм}$$

$$\lambda_2 = 200 \text{ нм}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = ?$$

Решение:

Энергия фотона

$$E_{\text{ф}} = h\nu = mc^2; \quad \nu = \frac{c}{\lambda}.$$

Из этих выражений следует, что

$$m = \frac{h}{\lambda c}.$$

Таким образом, $\frac{m_1}{m_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = 0,25.$

Ответ: 0,25.

Задача 818.

Дано:

$$P = 1300 \text{ Вт/м}^2$$

$$S = 1 \text{ см}^2$$

$$t = 1 \text{ с}$$

$$\lambda = 550 \text{ нм}$$

$$N - ?$$

Решение:

Энергия, падающая на единичную (1 м^2) площадь поверхности Земли за время t :

$$W_1 = Pt,$$

а на поверхность площадью S :

$$W_2 = PtS. \quad (1)$$

Энергия N фотонов, падающих на поверхность площадью S , $E = NE_0$, где $E_0 = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$ — энергия одного фотона. Тогда

$$E = Nh \frac{c}{\lambda}. \quad (2)$$

Приравняв правые части выражений (1) и (2), получим $PtS = Nh \frac{c}{\lambda}$, откуда

$$N = \frac{PtS\lambda}{hc} = \frac{1300 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \cdot 550 \cdot 10^{-9}}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} \approx 3,6 \cdot 10^{17}.$$

Ответ: $\approx 3,6 \cdot 10^{17}$.

Задача 819.

Дано:

$$\tau = 10^{-3} \text{ с}$$

$$P = 200 \text{ кВт}$$

$$\lambda = 0,7 \text{ мкм}$$

$$k = 10\%$$

$$N - ?$$

Решение:

Энергия кванта света

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}.$$

Энергия, поглощённая кристаллом,

$$\frac{k}{100} P\tau = Nh\nu = Nh \frac{c}{\lambda}, \text{ где } N — \text{число поглощённых кристаллом квантов света.}$$

Следовательно,

$$N = \frac{k}{100} \frac{P\tau\lambda}{hc} = 0,1 \cdot \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 \cdot 10^{-6}}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} = 7 \cdot 10^{19}.$$

Ответ: $7 \cdot 10^{19}$.

Задача 821.

Дано:

$$\lambda = 0,25 \text{ мкм} =$$

$$= 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$\lambda_{\text{кр}} = 0,28 \text{ мкм} =$$

$$= 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$F\Delta t - ?$$

Решение:

Импульс силы, действовавшей на электрон при его вылете из металла, равен изменению импульса электрона:

$$F'\Delta t = mv.$$

По третьему закону Ньютона такой же импульс силы действует со стороны электрона на металл.

Скорость электрона определим из уравнения Эйнштейна:

$$h \frac{c}{\lambda} = h \frac{c}{\lambda_{\text{кр}}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}.$$

$$\text{Отсюда скорость электрона } v_{\max} = \sqrt{\frac{2hc}{m} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{\text{кр}}} \right)}.$$

Таким образом, имеем

$$\begin{aligned} F\Delta t &= m \sqrt{\frac{2hc}{m} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{\text{кр}}} \right)} = \sqrt{2hcm \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{\text{кр}}} \right)} = \\ &= \sqrt{2 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \left(\frac{1}{2,5 \cdot 10^{-7}} - \frac{1}{2,8 \cdot 10^{-7}} \right)} \text{ (Н} \cdot \text{с)} \approx \\ &\approx 4 \cdot 10^{-25} \text{ Н} \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

Ответ: $\approx 4 \cdot 10^{-25} \text{ Н} \cdot \text{с}$.

Задача 823.

Дано:

$$p = 10^{-23} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$\frac{\lambda_{\min}}{\lambda_B} = ?$$

Решение:

$$\text{Длина волны де Бройля } \lambda_B = \frac{h}{p}.$$

Минимальная длина волны в спектре видимого света $\lambda_{\min} = 400 \text{ нм}$.

$$\begin{aligned} \frac{\lambda_{\min}}{\lambda_B} &= \frac{\lambda_{\min} p}{h} = \\ &= \frac{400 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{-23}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 6000. \end{aligned}$$

Ответ: 6000.

Задача 826.

Дано:

$$r_2 = 2,11 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

$$v_2 = ?$$

Решение:

Скорость электрона на орбите мы можем найти двумя способами.

1) Воспользуемся первым постулатом Бора, согласно которому стационарными являются те орбиты, для которых момент импульса кратен приведённой постоянной Планка: $mv_n r_n = n \frac{h}{2\pi}$. Тогда

$$v_2 = 2 \frac{h}{2\pi m r_2} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 2,11 \cdot 10^{-10}} \text{ (м/с)} = 1,1 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

2) По второму закону Ньютона на электрон действует кулоновская сила со стороны ядра: $\frac{mv_2^2}{r_2} = k \frac{q^2}{r_2^2}$, откуда

$$v_2 = \sqrt{\frac{kq^2}{mr}} = q \sqrt{\frac{k}{mr}}.$$

Подставив цифры, получим то же числовое значение для скорости.

Ответ: $1,1 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

Задача 831.

Дано:

$$E_1 = -13,6 \text{ эВ}$$

$$v_{\min} = ?$$

Решение:

В невозбуждённом состоянии энергия электрона на первой боровской орбите

$$E_1 = -13,6 \text{ эВ.}$$

Для того чтобы оторвать электрон от ядра, фотон должен сообщить энергию $E = 0 - E_1$.Таким образом, $h\nu_{\min} = |-E_1|$. Выразим энергию E_1 в джоулях:

$$E_1 = -13,6 \text{ эВ} = -13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

$$\text{Тогда } \nu_{\min} = \frac{|-E_1|}{h} = \frac{13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} \text{ (Гц)} \approx 3,3 \cdot 10^{15} \text{ Гц.}$$

$$\text{Ответ: } \approx 3,3 \cdot 10^{15} \text{ Гц.}$$

Задача 832.

Дано:

$$v_1 = 2,19 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

$$r_1 = ?$$

Решение:

Согласно модели атома Бора электрон в атоме движется по орбите под действием силы притяжения к ядру.

$$\text{Согласно второму закону Ньютона запишем: } \frac{m_e v_1^2}{r_1} = k \frac{q_e^2}{r_1^2}.$$

Скорость на орбите дана в условии задачи, следовательно,

$$r_1 = \frac{k q_e^2}{m_e v_1^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (2,19 \cdot 10^6)^2} \text{ (м)} \approx 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ м.}$$

Проверим размерность полученного результата:

$$[r_1] = \left[\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Кл}^2}{\text{Кл}^2 \cdot \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2}} \right] = \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{кг} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} \right] = [\text{м}].$$

$$\text{Ответ: } \approx 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ м.}$$

Задача 834.

Дано:

$$n = 2$$

$$k = 3$$

$$U = ?$$

Решение:

В стационарном состоянии энергия атома водорода определяется выражением

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2} = \frac{E_1}{n^2}. \quad (1)$$

Энергия атома в основном состоянии ($n = 1$) $E_1 = -13,6 \text{ эВ}$.

Энергия, соответствующая второй орбите, согласно формуле (1),

$$E_2 = -\frac{13,6}{4} \text{ эВ.}$$

Аналогично энергия, соответствующая третьей орбите,

$$E_3 = -\frac{13,6}{9} \text{ эВ.}$$

Энергия, которую надо сообщить атому для перехода электрона со второй орбиты на третью, $\Delta E = -13,6 \left(\frac{1}{9} - \frac{1}{4} \right) (\text{эВ}) = +1,9 \text{ эВ}$.

Следовательно $\Delta E = eU$, отсюда $U = 1,9 \text{ В}$.

Ответ: 1,9 В.

Задача 835.

Дано:

$$L = 0,3 \text{ м}$$

$$\tau = 10^{-3} \text{ с}$$

$$N - ?$$

Решение:

За время жизни атома в возбуждённом состоянии луч пробегает расстояние $s = c\tau$.

Таким образом, число отражений от торцов стержня

$$N = \frac{c\tau}{L} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-3}}{0,3} = 10^6.$$

В связи с многократными отражениями все атомы могут перейти в основное состояние.

Ответ: 10^6 .

Задача 839.

Дано:

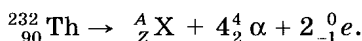
$$N_\alpha = 4$$

$$N_\beta = 2$$

$${}_{90}^{232}\text{Th}$$

$$X - ?$$

Решение:



Согласно законам сохранения массовых и зарядовых чисел

$$232 = A + 16 + 0, \text{ отсюда } A = 216;$$

$$90 = Z + 8 - 2, \text{ отсюда } Z = 84.$$

Таким образом, это элемент полоний — ${}_{84}^{216}\text{Po}$.

Ответ: ${}_{84}^{216}\text{Po}$.

Задача 843.

Дано:

$$T = 1600 \text{ лет}$$

$$t = 3200 \text{ лет}$$

$$N_0 = 10^9$$

$$N_0 - N - ?$$

Решение:

Закон радиоактивного распада имеет вид

$$N = N_0 2^{\frac{t}{T}} = 10^9 \cdot 2^2 = 0,25 \cdot 10^9.$$

$$N_0 - N = 10^9 - 0,25 \cdot 10^9 = 7,5 \cdot 10^8.$$

Ответ: $7,5 \cdot 10^8$.

Задача 844.

Дано:

$$n = 0,19\%$$

$$k = 0,012\%$$

$$T = 1,24 \text{ млрд лет} =$$

$$= 1,63 \cdot 10^{15} \text{ с}$$

$$t = 1 \text{ с}$$

$$m = 50 \text{ кг}$$

$$N - ?$$

Решение:

Закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}},$$

где N — число нераспавшихся ядер к моменту времени t , N_0 — число ядер в начальный момент времени, T — период полураспада.

Число распавшихся ядер в момент времени t

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}} \right).$$

Так как по условию задачи отношение $\frac{t}{T}$ очень мало, то $2^{-\frac{t}{T}} \approx 1 - \frac{t}{T}$, и можно записать: $\Delta N = N_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}} \right) \approx N_0 \frac{t}{T}$.

Число радиоактивных ядер в организме человека в начальный момент времени $N_0 = \frac{m}{M} N_A \frac{n}{100} \frac{k}{100}$, где N_A — число Авогадро.

В результате получим

$$\begin{aligned} \Delta N &= \frac{m}{M} N_A \frac{n}{100} \frac{k}{100} \frac{t}{T} = \\ &= \frac{50}{0,04} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{0,019}{100} \cdot \frac{0,012}{100} \cdot \frac{1}{1,63 \cdot 10^{15}} = 10^4. \end{aligned}$$

Ответ: 10^4 .

Задача 848.

Дано:

$$m_{\text{я}} = 2,014102 \text{ а. е. м.}$$

${}^2_1\text{H}$

$$E_{\text{св. эл}}, E_{\text{св}} — ?$$

Решение:

Радиус первой боровской орбиты

$$r_1 = 0,0529 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Таким образом, потенциальная энергия связи электрона с ядром

$$\begin{aligned} E_{\text{св.эл}} &= k \frac{e^2}{r_1} = -9 \cdot 10^9 \cdot \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{0,529 \cdot 10^{-10}} \text{ (Дж)} = \\ &= -9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{0,529 \cdot 10^{-10}} \text{ (эВ)} = -27 \text{ эВ.} \end{aligned}$$

Определим энергию связи ядра атома дейтерия.

Сумма масс нейтрона и протона в ядре

$$m_p + m_n = 1,007276 + 1,008665 = 2,015941 \text{ а. е. м.}$$

Дефект масс

$$\Delta m = 2,015941 - 2,014102 \text{ (а. е. м.)} = 0,001839 \text{ а. е. м.}$$

Энергия связи $E = \Delta m c^2$.

$$1 \text{ а. е. м.} = 931,5 \text{ МэВ}/c^2.$$

Следовательно, $E_{\text{св}} = 931,5 \cdot 0,001839 \text{ (МэВ)} = 1,71 \text{ МэВ}$.

Расчёт показывает, что энергия связи ядра существенно больше энергии связи электрона с ядром. Чтобы оторвать электрон от ядра, необходима энергия приблизительно в 100 000 раз меньшая, чем энергия, необходимая для разделения ядра на протон и нейтрон.

Задача 850.

Дано:	Решение:
$m = 8 \text{ г}$	В гелии массой 8 г содержится $N = \frac{m}{M} N_A$ атомов и
$E = ?$	соответственно ядер.
	Энергия связи ядра гелия:

$$E_{\text{св}} = (2m_p + 2m_n - m_{\text{He}}) c^2 =$$

$$= (2 (1,007276 + 1,008665) - 4,0026) c^2 = 0,029282 c^2;$$

$$1 \text{ а. е. м.} = 931,5 \text{ МэВ}/c^2;$$

$$E_{\text{св}} = 931,5 \cdot 0,029282 \text{ (МэВ)} = 27,28 \text{ МэВ.}$$

Таким образом, выделенная энергия

$$E = \frac{m}{M} N_A E_{\text{св}} = \frac{8}{4} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 27,28 \text{ (МэВ)} = 3,3 \cdot 10^{25} \text{ МэВ.}$$

Ответ: $3,3 \cdot 10^{25} \text{ МэВ.}$

Задача 854.

Дано:	Решение:
${}^6_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$	Рассчитаем сумму масс ядер, вступивших в реакцию и полученных в результате реакции.
$E = ?$	

$$\text{Масса лития } {}^6_3\text{Li:} \quad 6,01513 \text{ а. е. м.}$$

+

$$\text{Масса водорода } {}^1_1\text{H:} \quad 1,00783 \text{ а. е. м.}$$

$$\text{Сумма:} \quad 7,02296 \text{ а. е. м.}$$

$$\text{Масса гелия } {}^3_2\text{He:} \quad 3,01602 \text{ а. е. м.}$$

+

$$\text{Масса гелия } {}^4_2\text{He:} \quad 4,00260 \text{ а. е. м.}$$

$$\text{Сумма:} \quad 7,01862 \text{ а. е. м.}$$

Вычтем из первой суммы вторую, получим $\Delta m = 0,00434 \text{ а. е. м.}$

Выделившаяся энергия $E = \Delta m c^2$.

$$1 \text{ а. е. м.} = 931,5 \text{ МэВ}/c^2.$$

Следовательно, выделившаяся энергия

$$E = \Delta m c^2 = 0,00434 \cdot 931,5 = 4,043 \text{ МэВ.}$$

Ответ: 4,043 МэВ.

Задача 855.

Дано:	Решение:
${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$	Приведём решение для первой реакции.
${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$	Рассчитаем сумму масс ядер, вступивших в реакцию и полученных в результате реакции.
$E = ?$	

Сумма масс ядер водорода ${}^2_1\text{H}$:

$$2 \cdot 2,01410 \text{ а. е. м.} = 4,02820 \text{ а. е. м.}$$

$$\text{Масса гелия } {}^3_2\text{He} : \quad 3,01602 \text{ а. е. м.}$$

$$\text{Масса нейтрона } {}^1_0n: \quad 1,008665 \text{ а. е. м.}$$

$$\text{Сумма:} \quad 4,024685 \text{ а. е. м.}$$

Вычтем из первой суммы вторую, получим

$$\Delta m = 0,003515 \text{ а. е. м.}$$

Выделившаяся энергия $E = \Delta mc^2$.

$$1 \text{ а. е. м.} = 931,5 \text{ МэВ}/c^2.$$

Следовательно, выделившаяся энергия

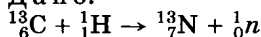
$$E = \Delta mc^2 = 0,003515 \cdot 931,5 = 3,27 \text{ МэВ.}$$

Ход решения для второй реакции аналогичен.

Ответ: 3,27 МэВ; 17,59 МэВ.

Задача 857.

Дано:



$$E = 2 \text{ МэВ}$$

Возможна ли реакция — ?

Решение:

Рассчитаем сумму масс ядер, вступивших в реакцию:

$$\text{масса углерода } {}^{13}_6\text{C}: \quad 13,003355 \text{ а. е. м.}$$

$$\text{масса водорода } {}^1_1\text{H}: \quad 1,00783 \text{ а. е. м.}$$

$$\text{сумма} \quad 14,011185 \text{ а. е. м.}$$

Также рассчитаем сумму ядер, полученных в результате реакции:

$$\text{масса азота } {}^{13}_7\text{N}: \quad 13,005739 \text{ а. е. м.}$$

$$\text{масса нейтрона } {}^1_0n: \quad 1,008665 \text{ а. е. м.}$$

$$\text{сумма} \quad 14,014404 \text{ а. е. м.}$$

Вычтем из первой суммы вторую, получим

$$\Delta m = -0,003255 \text{ а. е. м.}$$

Вспомним, что $1 \text{ а. е. м.} = 931,5 \text{ МэВ}/c^2$. Следовательно, для осуществления этой реакции превращения необходима энергия

$$E = \Delta mc^2 = 0,003255 \cdot 931,5 = 3 \text{ МэВ.}$$

Сравнивая полученное значение со значением, данным в условии, делаем вывод, что приведённая реакция невозможна.

Ответ: невозможна.

Задача 859.

Д а н о:

$$\frac{\Delta D}{\Delta t} = 7 \text{ мкГр/ч}$$

$$D_{\text{max}} = 0,05 \text{ Гр}$$

$$N = 200 \text{ дн}$$

$$t = 6 \text{ ч}$$

$$D > D_{\text{max}}$$

$$\text{или } D < D_{\text{max}} - ?$$

Р е ш е н и е:

Доза, получаемая человеком за год, определяется выражением

$$D = \frac{\Delta D}{\Delta t} N t = 7 \cdot 10^{-6} \cdot 200 \cdot 6 \text{ (Гр)} = 8,4 \text{ мГр.}$$

Допустимая доза для человека равна 50 мГр.

Следовательно, работа не опасна.

Ответ: не опасна.

Содержание

Предисловие	3
Физика. 11 класс.	
Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, В. М. Чаругин	
ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ (продолжение)	4
Магнитное поле (глава 1)	—
Электромагнитная индукция (глава 2).	9
КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ	15
Механические колебания (глава 3)	—
Электромагнитные колебания (глава 4)	19
Производство, передача и использование электрической энергии (глава 5)	26
Механические волны (глава 6).	27
Электромагнитные волны (глава 7).	30
ОПТИКА	34
Световые волны (глава 8)	—
Элементы теории относительности (глава 9)	47
Излучение и спектры (глава 10)	48
КВАНТОВАЯ ФИЗИКА	50
Световые кванты (глава 11)	—
Атомная физика (глава 12).	53
Физика атомного ядра (глава 13).	56
Элементарные частицы (глава 14)	61
АСТРОНОМИЯ	62
Солнечная система (глава 15)	—
Солнце и звёзды (глава 16).	63
Строение Вселенной (глава 17)	64
Сборник задач по физике. 10—11 классы.	
Н. А. Парфентьева	
ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ (продолжение)	66
КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ	73
ОПТИКА	84
КВАНТОВАЯ ФИЗИКА	100

Учебное издание
Серия «Классический курс»

Парфентьева Наталия Андреевна

ФИЗИКА

Решебник

11 класс

Пособие для учителей общеобразовательных учреждений

ЦЕНТР ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Руководитель Центра *В. И. Егудин*

Зам. руководителя Центра *Е. К. Липкина*

Редактор *Г. Н. Федина*

Младший редактор *Т. И. Данилова*

Художник *М. Е. Савельева*

Художественный редактор *Т. В. Глушкова*

Технический редактор и верстальщик *Н. В. Лукина*

Корректоры *Л. С. Александрова, А. К. Райхчин*

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93—953000. Изд. лиц. Серия ИД № 05824 от 12.09.01. Подписано в печать с оригинал-макета 10.09.10. Формат 60 × 90¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 6,5. Тираж 7000 экз. Заказ № 3951.

Открытое акционерное общество «Издательство «Просвещение».
127521, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных издательством материалов в ОАО «Тверской ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинат детской литературы им. 50-летия СССР». 170040, г. Тверь, проспект 50 лет Октября, 46.

