

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика С. П. КОРОЛЕВА

ЗАДАНИЯ ПО ФИЗИКЕ
ДЛЯ СЛУШАТЕЛЕЙ ЗАОЧНЫХ
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ КУРСОВ СГАУ

[Ч. 2]: Основы электродинамики.
Электромагнитные колебания и волны.
Оптика. Элементы теории
относительности. Квантовая физика

Составители: Г. И. Карханина, Н. М. Рогачев

УДК 530(075)

Задания по физике для слушателей заочных подготовительных курсов: Часть 2. Метод. указания для абитуриентов / Самарский гос. аэрокосмич. ун-т. Сост. Г. И. Карханина, Н. М. Рогачев, Самара, 1996. 66 с.

Методические указания составлены в соответствии с программой вступительных экзаменов в СГАУ и отражают основные материалы разделов: «Основы электродинамики. Электромагнитные колебания и волны. Оптика. Элементы теории относительности. Квантовая физика». Представлены задания контрольных работ № 4 и № 5. Задания сопровождаются краткой теорией и примерами решения типовых задач.

Предназначены для слушателей заочных подготовительных курсов СГАУ. Они могут быть полезны учащимся старших классов средних школ, лицеев, колледжей и гимназий. Подготовлены на кафедре физики.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королёва.

Рецензент Т. С. Соломина

3. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Контрольная работа № 4

3.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ

3.1.1. Электростатика

Электрический заряд — это физическая величина, характеризующая способность тел (или частиц) вступать в электромагнитные взаимодействия. Электрические заряды q состоят из целого числа элементарных зарядов: $q = \pm ne$, где $n = 1, 2, 3, \dots$ — последовательный ряд целых чисел, а $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — заряд элементарной частицы (протона или электрона). Единица заряда в СИ — кулон (Кл) — заряд, протекающий через поперечное сечение проводника за 1 с при силе тока 1 А: [Кл = А · с].

Закон сохранения электрического заряда. В замкнутой системе полный электрический заряд, т. е. алгебраическая сумма зарядов всех частиц, остается постоянным:

$$\sum_{i=1}^n q_i = \text{const}. \quad (3.1)$$

Закон Кулона. Сила взаимодействия F_0 двух точечных неподвижных зарядов q_1 и q_2 в вакууме прямо пропорциональна произведению модулей этих зарядов, обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними и направлена по прямой, соединяющей заряды:

$$F_0 = k |q_1| \cdot |q_2| / r^2, \quad (3.2)$$

где

$$k = 1/4 \pi \epsilon_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ Нм}^2/\text{Кл}^2, \quad (3.3)$$

$\epsilon_0 = 1/4 \pi k = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/\text{Нм}^2$ — электрическая постоянная. Физическая величина, равная отношению силы F_0 взаимодействия зарядов в вакууме к силе F взаимодействия этих же заря-

дов в диэлектрике, называется диэлектрической проницаемостью среды

$$\varepsilon = F_0/F,$$

откуда

$$F = F_0/\varepsilon. \quad (3.4)$$

Подставив уравнения (3.2) и (3.3) в (3.4), получим формулу, выражающую закон Кулона для взаимодействия зарядов в веществе:

$$F = |q_1| \cdot |q_2|/4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2. \quad (3.5)$$

Электрическое поле — это материальная среда, существующая вокруг неподвижных электрических зарядов, посредством которой осуществляется взаимодействие между зарядами.

Количественными характеристиками электрического поля являются напряженность и потенциал. Напряженность электрического поля \vec{E} — физическая величина, равная отношению силы \vec{F} , с которой электрическое поле действует на заряд q , помещенный в данную точку поля, к величине этого заряда:

$$\vec{E} = \vec{F}/q, \quad (3.6)$$

$$[E] = [Н/Кл] = [В/м].$$

Направление вектора напряженности \vec{E} совпадает с направлением силы, действующей на положительный заряд.

Электрическое поле, напряженность которого во всех точках одинакова ($\vec{E} = \text{const}$), называют однородным. Однородное поле действует на заряд q с постоянной силой

$$\vec{F} = q\vec{E}. \quad (3.7)$$

Любое заряженное тело, взаимодействуя с электрическим полем, обладает в нем потенциальной энергией, называемой электрической. Работа электрического поля A при перемещении заряда равна изменению потенциальной энергии заряда, взятому с противоположным знаком:

$$A = - (W_{p2} - W_{p1}) = - \Delta W_p, \quad (3.8)$$

где W_{p1} и W_{p2} — значения потенциальной энергии заряда в начальном и конечном положениях.

Потенциалом электростатического поля называется физическая величина, равная отношению потенциальной энергии заряда W_p в поле к величине этого заряда q :

$$\varphi = W_p/q. \quad (3.9)$$

Потенциал φ — скаляр, это энергетическая характеристика поля,

С учетом уравнения (3.9) выражение (3.8) может быть переписано:

$$A = -q(\varphi_2 - \varphi_1) = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU. \quad (3.10)$$

Здесь $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ — разность потенциалов двух точек поля или напряжение между ними.

Из уравнения (3.10)

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = A/q. \quad (3.11)$$

Разность потенциалов измеряют в вольтах. 1 вольт (В) — это разность потенциалов между такими точками электростатического поля, при перемещении между которыми заряда в 1 Кл поле совершает работу в 1 Дж: $[1 \text{ В}] = [1 \text{ Дж}/1 \text{ Кл}]$.

При перемещении заряда q из точки 1 в точку 2 по линии напряженности в однородном электрическом поле совершается работа

$$A = qE \Delta d, \quad (3.12)$$

где Δd — расстояние между точками. Эту работу можно выразить через разность потенциалов, воспользовавшись формулой (3.10). Приравняв правые части уравнений (3.10) и (3.12), получим связь напряженности с разностью потенциалов:

$$E = (\varphi_1 - \varphi_2) / \Delta d = U / \Delta d. \quad (3.13)$$

Напряженность поля точечного заряда определяется выражением:

$$E = q / 4\pi\epsilon_0\epsilon r^2, \quad (3.14)$$

а потенциал

$$\varphi = q / 4\pi\epsilon_0\epsilon r. \quad (3.15)$$

Принцип суперпозиций полей. Если поле в данной точке пространства создается системой точечных зарядов, то результирующая напряженность поля в этой точке равна векторной сумме напряженностей \vec{E}_i полей, создаваемых отдельными зарядами:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i, \quad (3.16)$$

а результирующий потенциал поля равен алгебраической сумме потенциалов φ_i полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i. \quad (3.17)$$

Емкость — это физическая величина, характеризующая способность тел накапливать электрический заряд. Емкость C уединенного проводника измеряется отношением заряда q проводника к его потенциалу φ :

$$C = q / \varphi. \quad (3.18)$$

Емкость измеряется в фарадах:

$$[1\text{Ф}] = \left[\frac{1\text{Кл}}{1\text{В}} \right].$$

Фарад—это емкость проводника, потенциал которого изменяется на 1 В при изменении заряда на нем на 1 Кл. Емкость проводника не зависит ни от заряда, ни от потенциала, а зависит от геометрических размеров проводника и диэлектрической проницаемости среды, в которой он находится. Емкость шара радиусом R равна

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R. \quad (3.19)$$

Конденсатором называется устройство, состоящее из двух проводников (пластин), разделенных слоем диэлектрика.

Емкость плоского конденсатора C — есть величина, определяемая отношением заряда q одной из пластин к разности потенциалов ($\varphi_1 - \varphi_2$) между пластинами:

$$C = q/(\varphi_1 - \varphi_2) = q/U. \quad (3.20)$$

Заряд q может быть представлен:

$$q = \sigma \cdot S, \quad (3.21)$$

где σ — поверхностная плотность заряда, равная заряду, приходящемуся на единицу площади S пластины конденсатора, измеряется в Кл/м². Напряженность однородного электрического поля между пластинами конденсатора связана с поверхностной плотностью заряда соотношением.

$$E = \sigma/\epsilon_0\epsilon, \quad (3.22)$$

а с разностью потенциалов:

$$E = U/d, \quad (3.23)$$

где d — расстояние между пластинами. Подставив уравнения (3.22), (3.23) в (3.20), получим

$$C = \epsilon_0\epsilon S/d, \quad (3.24)$$

формулу емкости плоского конденсатора.

Энергия электрического поля конденсатора $W_{эл}$ определяется величиной работы, совершаемой электрическим полем при разряде конденсатора,

$$A = qU_{ср}, \quad (3.25)$$

В процессе разрядки конденсатора напряжение между его обкладками убывает от значения U до нуля, поэтому $U_{ср} = U/2$. Таким образом:

$$W_{эл} = qU/2 = q^2/2C = CU^2/2. \quad (3.26)$$

Используя выражения (3.23) и (3.24), получим

$$W_{\text{эл}} = \epsilon_0 \epsilon S d^2 E^2 / 2d = \epsilon_0 \epsilon E^2 V / 2, \quad (3.27)$$

где $V = Sd$ — объем конденсатора. Энергия поля, приходящаяся на единицу объема, называется плотностью энергии:

$$\omega = \epsilon_0 \epsilon E^2 / 2; \quad [\omega] = [\text{Дж}/\text{м}^3]. \quad (3.28)$$

3.1.2. Законы постоянного тока

Электрическим током называют упорядоченное движение заряженных частиц.

Количественной характеристикой тока является сила тока I — скалярная величина, равная отношению заряда Δq , который переносится через поперечное сечение проводника, к промежутку времени Δt :

$$I = \Delta q / \Delta t. \quad (3.29)$$

Согласно электронной теории металлов (рис. 1)

$$I = q_e n_e v_n \cdot S, \quad (3.30)$$

где n_e , q_e — концентрация и заряд свободных носителей заряда в проводнике, v_n — скорость их направленного движения, S — площадь поперечного сечения проводника. Сила тока измеряется в амперах. Ампер — сила неизменяющегося электрического тока, который, проходя по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызвал бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины.

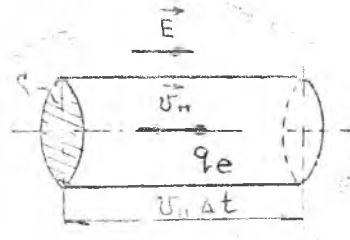


Рис. 1

Плотность тока

$$j = I/S = q_e n_e v_n; \quad [j] = [\text{А}/\text{м}^2]. \quad (3.31)$$

Если к проводнику приложить разность потенциалов ($\varphi_1 - \varphi_2$), то по нему потечет электрический ток.

Закон Ома для участка цепи. Сила тока I в проводнике прямо пропорциональна разности потенциалов (напряжению) на концах проводника и обратно пропорциональна сопротивлению проводника R :

$$I = (\varphi_1 - \varphi_2) / R = U/R. \quad (3.32)$$

Сопротивление линейного проводника зависит от материала и его геометрических размеров:

$$R = \rho l/S, \quad (3.33)$$

где ρ — удельное сопротивление проводника, [Ом · м];

l — длина проводника;

S — площадь поперечного сечения.

С увеличением температуры удельное сопротивление металлических проводников увеличивается по закону:

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T), \quad (3.34)$$

где ρ_0 — удельное сопротивление при 273 К, α — температурный коэффициент сопротивления, [K⁻¹]; ΔT — изменение температуры проводника. Если несколько проводников при включении в цепь соединены последовательно, то общее их сопротивление

$$R_{\text{пос}} = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (3.35)$$

При параллельном соединении проводников

$$1/R_{\text{пар}} = \sum_{i=1}^n (1/R_i). \quad (3.36)$$

Для поддержания постоянного электрического тока в цепи необходим источник тока, который характеризуется электродвижущей силой (ЭДС).

ЭДС источника тока E — это физическая величина, равная отношению работы $A_{\text{ст}}$, совершаемой сторонними силами при перемещении заряда q вдоль цепи, к значению этого заряда

$$E = A_{\text{ст}}/q. [E] = [\text{Дж/Кл}] = [\text{В}].$$

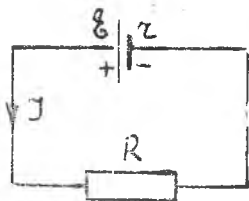


Рис. 2

Закон Ома для замкнутой цепи (рис. 2).

$$I = E/(R + r), \quad (3.37)$$

где R — сопротивление внешней цепи;

r — сопротивление источника тока.

Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца. Когда по проводнику сопротивлением R течет ток I , электрические силы совершают работу

$$A = qU = IUt = I^2Rt = U^2t/R. \quad (3.38)$$

Если нет других превращений энергии, то в проводнике выделяется тепло Q :

$$Q = IUt = I^2Rt \quad (3.39)$$

— это закон Джоуля-Ленца.

Мощность тока—величина, равная отношению работы тока ΔA ко времени Δt , за которое эта работа совершена

$$P = \Delta A / \Delta t = IU = I^2R = U^2/R. \quad (3.40)$$

Единицей измерения мощности является $1 \text{ Вт} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ В}$. Вне-системная единица работы и энергии тока — киловатт · час:

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

Закон электролиза. Растворы, проводящие ток, называются электролитами. Ток в них обусловлен упорядоченным движением положительных и отрицательных ионов и сопровождается выделением на электродах составных частей электролита. Масса вещества m , выделившегося на электродах при электролизе, определяется законом Фарадея:

$$m = \mu q / N_{\text{A}} n e = kq, \quad (3.41)$$

где $k = \mu / N_{\text{A}} n e$ — электрохимический эквивалент вещества;

q — заряд, протекающий через электролит;

μ — молярная масса вещества;

N_{A} — число Авогадро;

n — валентность;

e — элементарный заряд.

Для постоянного тока $m = kq = kIt$. (3.42)

3.1.3. Магнитное поле. Электромагнитная индукция

Магнитное поле — это материальная среда, существующая вокруг движущихся зарядов (токов), посредством которой осуществляется взаимодействие между ними.

Силовой характеристикой магнитного поля является вектор **магнитной индукции** \vec{B} . Если контур площадью S с током I поместить в магнитное поле, то на него будет действовать вращательный момент M . Физическая величина, равная отношению максимального вращательного момента M_{max} к произведению IS контура, называется магнитной индукцией поля:

$$|\vec{B}| = M_{\text{max}} / IS. \quad (3.43)$$

Направление вектора магнитной индукции совпадает с направлением положительной нормали к контуру с током (рис. 3), которое определяется правилом буравчика. Вращающий момент



Рис. 3

M зависит от ориентации контура в магнитном поле: $M \sim \sin \alpha$, где α — угол между направлением вектора \vec{B} и нормалью \vec{n} к контуру. При $\alpha = \pi/2$ вращающий момент максимален. Магнитная индукция измеряется в теслах

$$[B] = \left[\frac{1 \text{ Н} \cdot \text{м}}{1 \text{ А} \cdot \text{м}^2} \right] = \left[1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \right] = [1 \text{ Тл}].$$

Тесла — индукция такого однородного магнитного поля, в котором на контур площадью 1 м^2 с током 1 А действует вращающий момент, равный $1 \text{ Н} \cdot \text{м}$. В

Государственном стандарте дано другое определение: «Тесла равна магнитной индукции, при которой магнитный поток сквозь поперечное сечение площадью 1 м^2 равен 1 Вб ». Направление вектора индукции \vec{B} магнитного поля прямого или кругового тока определяют по правилу буравчика.

Закон Ампера. Если в однородное магнитное поле поместить проводник длиной l , по которому протекает ток I , то на него будет действовать сила F_A , определяемая законом Ампера:

$$F_A = BIl \sin \alpha, \quad (3.44)$$

где α — угол между направлением вектора индукции магнитного поля и направлением тока, текущего по проводнику. Направление силы F_A определяется по правилу левой руки: нужно расположить левую руку так, чтобы силовые линии магнитного поля входили в ладонь, четыре вытянутых пальца показывали направление тока в проводнике, тогда отогнутый на 90° большой палец покажет направление силы Ампера.

Сила Лоренца. Электрический ток — это направленное движение зарядов, поэтому силу Ампера можно представить как сумму сил, действующих со стороны магнитного поля на каждый движущийся в нем электрический заряд. Эти силы называются силами Лоренца

$$F_{\text{л}} = F_A/N = BIl \sin \alpha/N. \quad (3.45)$$

Подставим выражение для силы тока (3.30) в формулу (3.45), получим $F_{\text{л}} = Bq_e n_e v_n S l \sin \alpha/N$,

где $N = n_e S l$ — общее число упорядоченно движущихся заряженных частиц в объеме $S l$ этого проводника. Произведя подстановку, получим модуль силы Лоренца:

$$F_{\text{л}} = q_e v_n B \sin \alpha, \quad (3.46)$$

где α — угол между направлением скорости \vec{v}_n движущегося

заряда и индукции \vec{B} магнитного поля. Направление силы Лоренца, как и силы Ампера, определяют по правилу левой руки. Сила Лоренца всегда направлена перпендикулярно индукции магнитного поля и направлению скорости движения заряда. Следовательно, сила Лоренца не совершает работы, но она может изменять траекторию движения заряженных частиц.

Магнитные свойства вещества. Магнитная проницаемость. Все тела в магнитном поле намагничиваются, т. е. сами создают магнитное поле. Отношение модуля вектора магнитной индукции B в однородной среде к магнитной индукции B_0 в вакууме называют магнитной проницаемостью среды $\mu = B/B_0$. Она характеризует магнитные свойства среды (вещества). По своим магнитным свойствам вещества делятся на три группы: диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Диамагнетиками называются вещества, у которых $\mu < 1$ (например, инертные газы, водород, азот). Парамагнетики — это вещества, у которых $\mu > 1$ (щелочные и щелочноземельные металлы). Ферромагнетики — это вещества (как правило, в кристаллическом состоянии), у которых $\mu \gg 1$ и зависит от индукции \vec{B} внешнего поля.

Поток магнитной индукции Φ через плоскую поверхность площадью S равен

$$\Phi = BS \cos \alpha, \quad (3.47)$$

где α — угол между направлением вектора индукции \vec{B} и нормалью к площадке \vec{n} (рис. 4).

$$[\Phi] = [\text{Тл} \cdot \text{м}^2] = [\text{Вб}].$$

Вебер — это магнитный поток, создаваемый однородным магнитным полем с индукцией 1 Тл через плоскую поверхность площадью 1 м², расположенную перпендикулярно линиям индукции магнитного поля. Данное определение не является определением по ГОСТ. В Государственном стандарте дается определение: «Вебер равен магнитному потоку, при убыли которого до нуля в сцепленной с ним электрической цепи сопротивлением 1 Ом через поперечное сечение проводника проходит количество электричества 1 Кл».

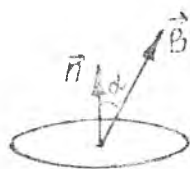


Рис. 4

Электромагнитная индукция. Закон Фарадея. При всяком изменении магнитного поля появляется вихревое электрическое поле и, если в это поле поместить замкнутый проводник, то в нем возникнет индукционный ток. ЭДС индукции определяется законом Фарадея: величина электродвижущей силы индукции

ϵ_i в контуре прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром:

$$\epsilon_i = - \Delta\Phi / \Delta t, \quad (3.48)$$

где $\Delta\Phi$ — изменение магнитного потока за промежуток времени Δt . Знак минус указывает на то, что ϵ_i и $\Delta\Phi/\Delta t$ имеют разные знаки.

Правило Ленца: индукционный ток, возникающий в замкнутом контуре, имеет такое направление, при котором созданное им магнитное поле противодействует тому изменению магнитного потока, которым он вызван. ЭДС индукции возникает и в проводнике, движущемся в магнитном поле, которое может и не меняться со временем (рис. 5),

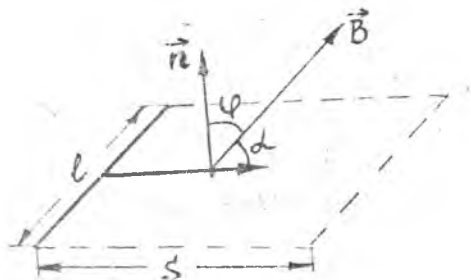


Рис. 5

$$\epsilon_i = Blv \sin \alpha, \quad (3.49)$$

где B — индукция магнитного поля;

l — длина проводника;

v — скорость движения проводника в магнитном поле;

α — угол между векторами \vec{B} и \vec{v} .

Явление самоиндукции — это возникновение ЭДС индукции в электрической цепи (контуре) с током при изменении собственного магнитного потока, создаваемого этим током. Согласно закону Фарадея, возникающая ЭДС (3.48) самоиндукции ϵ_{si} равна: $\epsilon_{si} = - \Delta\Phi / \Delta t$. Опытами установлено, что изменение магнитного потока $\Delta\Phi$ в цепи пропорционально изменению ΔI тока в ней

$$\Delta\Phi = L \Delta I, \quad (3.50)$$

где L — индуктивность контура.

Тогда

$$\epsilon_{si} = - L \Delta I / \Delta t, \quad (3.51)$$

где $\Delta I / \Delta t$ — скорость изменения тока в контуре.

Из уравнения (3.51) найдем индуктивность:

$$L = |\epsilon_{si}| \Delta t / \Delta I, [L] = [Вс/А] = [Гн].$$

Генри — индуктивность такого проводника, в котором при изменении тока на 1 А за 1 с возникает ЭДС самоиндукции, равная 1 В.

Энергия магнитного поля. Энергия магнитного поля W_m , созданного током в катушке, равна той энергии, которую должен затратить источник тока на преодоление ЭДС самоиндукции, препятствующей нарастанию тока в катушке:

$$W_m = LI^2/2. \quad (3.52)$$

Эта энергия распределена по всему объему V пространства, в котором существует магнитное поле. Величина $w_m = W_m/V$, равная энергии магнитного поля, заключенного в единице объема, называется объемной плотностью энергии. Формула для объемной плотности энергии магнитного поля имеет вид

$$w_m = B^2/2 \mu_0; [w] = [Дж/м^3]. \quad (3.53)$$

где μ — магнитная проницаемость среды;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнитная постоянная.

3.2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 4-1. Два одинаково заряженных маленьких шарика массой по 1 г каждый подвешены на шелковых нитях длиной 1 м, закрепленных в одной точке в воздухе. Когда шарикам сообщили одинаковые заряды, они оттолкнулись друг от друга на расстояние 3 см. Определить величину заряда каждого шарика.

Дано:

$$m = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$l = 1 \text{ м}$$

$$r = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$\epsilon = 1$$

$$q_1 = q_2 = q = ?$$

Решение. Так как шарики одинаковые и находятся в одинаковых условиях, достаточно рассмотреть равновесие одного из них. На шарик действуют: сила тяжести $m\vec{g}$, кулоновская сила взаимодействия с другим шариком \vec{F}_s и сила натяжения нити \vec{F}_n (рис. 6).

Запишем условие равновесия в векторной форме:

$$m\vec{g} + \vec{F}_n + \vec{F}_s = 0$$

и в проекциях на оси координат:

$$OX: -F_n \sin \alpha + F_s = 0; \quad (1)$$

$$OY: F_n \cos \alpha - mg = 0. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) получим:

$$F_s = mgtg \alpha. \quad (3)$$

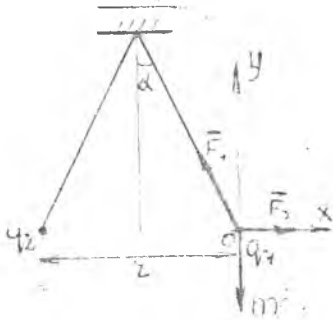


Рис. 6

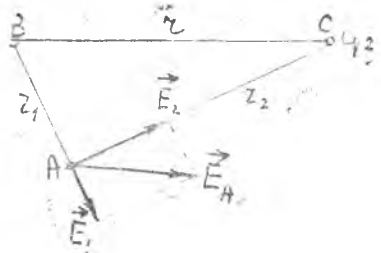


Рис. 7

Из рис. 6 $\operatorname{tg} \alpha = r / \sqrt{4l^2 - r^2}$. Используя формулу (3.2), уравнение (3) перепишем:

$$kq^2 / \varepsilon r^2 = mgr / \sqrt{4l^2 - r^2},$$

откуда

$$q = (mgr \varepsilon r^3 / k \sqrt{4l^2 - r^2})^{1/2} \approx 4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл.}$$

Задача 4-2. Определить напряженность и потенциал поля двух точечных зарядов $q_1 = 10^{-7}$ Кл и $q_2 = -4 \cdot 10^{-6}$ Кл, расположенных на расстоянии 13 см, в точке, отстоящей от первого и второго зарядов соответственно на 5 и 12 см (рис. 7).

Дано:

$$\begin{aligned} q_1 &= 10^{-7} \text{ Кл} \\ q_2 &= -4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл} \\ r &= 0,13 \text{ м} \\ r_1 &= 5 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ r_2 &= 12 \cdot 10^{-2} \text{ м} \end{aligned}$$

Решение. Согласно выражениям (3.16) и (3.17) напряженность поля в точке А (рис. 7) будет

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2,$$

потенциал

$$\varphi_A = \varphi_1 + \varphi_2.$$

$E_A = ?$ $\varphi_A = ?$

Напряженность поля точечных зарядов q_1 и q_2 по (3.14) соответственно равна:

$$E_1 = q_1 / 4\pi \varepsilon_0 \varepsilon r_1^2; \quad E_2 = q_2 / 4\pi \varepsilon_0 \varepsilon r_2^2.$$

Вектора \vec{E}_1 и \vec{E}_2 направлены вдоль линий, соединяющих соответственно заряды q_1 и q_2 с точкой А.

Треугольник ВАС прямоугольный ($r^2 = r_1^2 + r_2^2$), тогда

$$E_A = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = (\sqrt{q_1^2 / r_1^4 + q_2^2 / r_2^4}) / 4\pi \varepsilon_0 \varepsilon.$$

Потенциалы полей зарядов q_1 и q_2 по (3.15) равны

$$\varphi_1 = q_1/4\pi\epsilon_0\epsilon r_1 \text{ и } \varphi_2 = -q_2/4\pi\epsilon_0\epsilon r_2,$$

где $\varphi_2 < 0$, т. к. $q_2 < 0$; $\varphi_A = (q_1/r_1 - q_2/r_2)/4\pi\epsilon_0\epsilon$.

Проведя расчет, получим $E_A = 2,5 \text{ МВ/м}$; $\varphi_A = -280 \text{ кВ}$.

Задача 4-3. Два точечных заряда 6, 7 и 13,4 нКл находятся в воздухе на расстоянии 40 см друг от друга. Какую работу нужно совершить, чтобы сблизить их до расстояния 25 см?

Дано:

$$\begin{aligned} q_1 &= 6,7 \text{ нКл} = 6,7 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \\ q_2 &= 13,4 \text{ нКл} = 13,4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \\ r_2 &= 25 \text{ см} = 0,25 \text{ м} \\ r_1 &= 40 \text{ см} = 0,4 \text{ м} \end{aligned}$$

$A_{\text{вн}} = ?$

Решение. Пусть заряд q_1 создает поле, а заряд q_2 движется в этом поле из точки 1, находящейся на расстоянии r_1 от заряда q_1 , в точку 2, находящуюся на расстоянии r_2 от него (рис. 8). Работа, которую при этом совершает внешняя сила:

$$A_{\text{вн}} = -A_{\text{поля}} = -q_2(\varphi_1 - \varphi_2) = q_2(\varphi_2 - \varphi_1),$$

где φ_1 и φ_2 — потенциалы начальной и конечной точек поля. Так как поле образовано точечным зарядом q_1 , то

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= q_1/4\pi\epsilon_0\epsilon r_1 \text{ и} \\ \varphi_2 &= q_1/4\pi\epsilon_0\epsilon r_2. \end{aligned}$$



Рис. 8

Следовательно, работа внешних сил

$$\begin{aligned} A_{\text{вн}} &= q_1 q_2 (r_1 - r_2) / 4\pi\epsilon_0\epsilon r_1 r_2, \\ A &= 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 1,2 \text{ мкДж}. \end{aligned}$$

Задача 4-4. Электрон вылетает из точки, потенциал которой 600 В, со скоростью $12 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ в направлении силовых линий поля. Определить потенциал точки, дойдя до которой электрон остановится?

Дано:

$$\begin{aligned} e &= -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \\ m &= 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \\ \varphi_1 &= 600 \text{ В} \\ v &= 12 \cdot 10^6 \text{ м/с} \end{aligned}$$

$\varphi_2 = ?$

Решение. Сила, действующая на электрон со стороны электрического поля, направлена противоположно вектору скорости электрона. При движении электрона совершается работа против силы электрического поля за счет уменьшения его кинетической энергии. В момент остановки вся кинетическая энергия электрона переходит в потенциальную энергию взаимодействия электрона с полем:

$$mv_0^2/2 = |e|(\varphi_1 - \varphi_2),$$

откуда

$$\varphi_2 = \varphi_1 - mv_0^2/2 |e| \approx 190,5 \text{ В.}$$

Задача 4-5. Шару емкостью 1 мкФ сообщили заряд $3 \cdot 10^{-5}$ Кл, а шару емкостью 2 мкФ — заряд $9 \cdot 10^{-5}$ Кл. Как распределятся заряды между шарами, если их соединить тонкой проволочкой? На сколько изменится заряд каждого шара? Каким будет потенциал шаров?

Дано:

$$C_1 = 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$C_2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$q_1 = 3 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$$

$$q_2 = 9 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$$

$$q_1' = ? \quad q_2' = ?$$

$$\Delta q_1 = ? \quad \Delta q_2 = ?$$

$$\varphi = ?$$

Решение. После соединения шаров проводящей проволочкой (проволочка так тонка, что ее емкостью можно пренебречь) они образуют один проводник с общим зарядом q (рис. 9) и согласно (3.1)

$$q = q_1 + q_2 = q_1' + q_2', \quad (1)$$

и общим потенциалом

$$\varphi_1' = \varphi_2' = \varphi. \quad (2)$$

Потенциал каждого шара после соединения будет:

$$\varphi_1' = q_1'/C_1 \text{ и } \varphi_2' = q_2'/C_2 = (q - q_1')/C_2, \quad (3)$$

где q_1' и q_2' — заряды шаров после перераспределения. Из (2) и (3) следует, что

$$q_1'/C_1 = (q - q_1')/C_2,$$

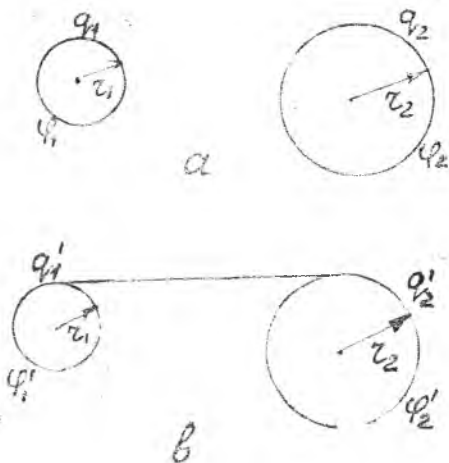


Рис. 9

откуда

$$q_1' = qC_1/(C_1 + C_2) = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$$

и

$$q_2' = q - q_1' = 8 \cdot 10^{-5} \text{ Кл.}$$

Изменение заряда первого шара — $\Delta q_1 = q_1' - q_1 = 1 \cdot 10^{-5}$ Кл,
второго — $\Delta q_2 = q_2' - q_2 = -1 \cdot 10^{-5}$ Кл;

потенциал шаров

$$\varphi = q_1'/C_1 = q_2'/C_2 = 40 \text{ В.}$$

Задача 4-6. Разность потенциалов между двумя пластинами плоского воздушного конденсатора равна 600 В. Какова будет разность потенциалов, если между пластинами конденсатора поместить слюдяную пластинку, толщина которой равна расстоянию между ними?

Дано:

$$U_1 = 600 \text{ В}$$

$$\epsilon_1 = 1$$

$$\epsilon_2 = 6$$

$$U_2 = ?$$

Решение. Емкость плоского воздушного конденсатора C_1 определяется по формуле (3.24):

$$C_1 = \epsilon_0 \epsilon_1 S/d. \quad (1)$$

При внесении диэлектрика в пространство между пластинами емкость конденсатора станет

$$C_2 = \epsilon_0 \epsilon_2 S/d. \quad (2)$$

Так как заряд на пластинах не меняется, то

$$q = C_1 U_1 = \epsilon_0 \epsilon_1 S U_1/d,$$

$$q = C_2 U_2 = \epsilon_0 \epsilon_2 S U_2/d. \quad (3)$$

Решая совместно уравнения (1) — (3), получим:

$$U_2 = U_1 \epsilon_1 / \epsilon_2 = 100 \text{ В.}$$

Задача 4-7. Источник тока с ЭДС 2,1 В и внутренним сопротивлением 0,2 Ом соединен с реостатом (рис. 2). Напряжение на зажимах элемента 2 В. Определить: 1) силу тока в цепи и сопротивление реостата; 2) какой длины надо взять для изготовления реостата железную проволоку, если площадь ее сечения 0,75 мм²?

Дано:

$$E = 2,1 \text{ В}$$

$$r = 0,2 \text{ Ом}$$

$$U_3 = 2,0 \text{ В}$$

$$S = 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$$

Решение. Напряжение на зажимах источника равно падению напряжения во внешней цепи

$$U_3 = IR = E - Ir, \quad (1)$$

тогда ток в цепи равен

$$I = (E - U_3)/r. \quad (2)$$

$$I = ? \quad R = ? \quad l = ?$$

Подставив уравнение (2) в (1), получим

$$R = U_3/I = U_3 r / (E - U_3). \quad (3)$$

Зная, что $R = \rho l/S$, найдем длину железной проволоки

$$l = RS/\rho. \quad (4)$$

Решая уравнения (2), (3) и (4), получим:

$$I = 0,5 \text{ A}, R = 4 \text{ Ом}, l = 25 \text{ м}.$$

Задача 4-8. Определить общее сопротивление цепи, изображенной на рис. 10, если резисторы $R_1 = R_2 = R_5 = R_6 = 1 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$, $R_4 = 8 \text{ Ом}$.

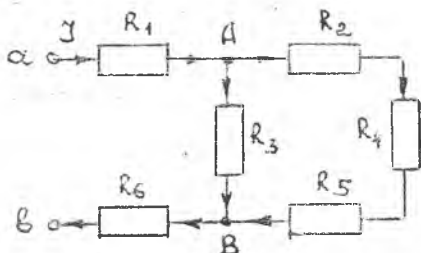


Рис. 10

Дано:

- $R_1 = 1 \text{ Ом}$
- $R_2 = 1 \text{ Ом}$
- $R_3 = 10 \text{ Ом}$
- $R_4 = 8 \text{ Ом}$
- $R_5 = 1 \text{ Ом}$
- $R_6 = 1 \text{ Ом}$

Решение. Данную схему можно заменить эквивалентной, изображенной на рис. 11. Рассчитаем сопротивление контура АВ — R_{AB} : $R' = R_2 + R_4 + R_5$ — сопротивление последовательно соединенных резисторов R_2, R_4, R_5 .

$$1/R_{AB} = 1/R' + 1/R_3;$$

$$R_{AB} = R'R_3/(R' + R_3); R_{AB} = 5 \text{ Ом}.$$

Общее сопротивление цепи:

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_{AB} + R_6 = 7 \text{ Ом}.$$

$R_{\text{общ}} = ?$

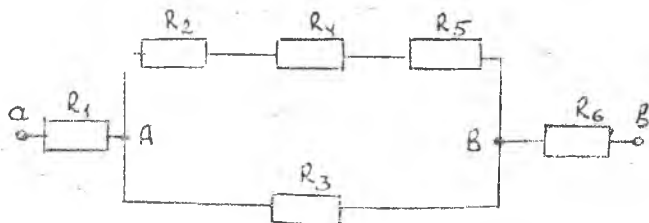


Рис. 11

Задача 4-9. Из нихромовой проволоки надо сделать нагреватель. Какой длины следует взять проволоку, чтобы при напряжении 220 В 1,5 кг воды, взятой при 10°C, довести до кипения за 5 минут при КПД нагревателя 80%. Поперечное сечение проволоки 0,5 мм².

Дано:

$$U = 220 \text{ В}$$

$$m = 1,5 \text{ кг}$$

$$t_1 = 10^\circ\text{С}$$

$$t_2 = 100^\circ\text{С}$$

$$\eta = 0,8$$

$$S = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$$

$$\tau = 300 \text{ с}$$

$l = ?$

откуда

Решение. Нагревание воды происходит за счет затраты электрической энергии

$$W = U^2 \tau / R, \quad (1)$$

которая выделяется в воде в виде тепла.

$$Q = cm \Delta t. \quad (2)$$

Из (1) и (2) с учетом КПД, запишем равенство:

$$cm \Delta t = \eta U^2 \tau / R.$$

Выразив сопротивление проводника через его размеры $R = \rho l / S$, получим:

$$cm \Delta t = \eta U^2 \tau S / \rho l,$$

$$l = \eta U^2 \tau S / \rho cm \Delta t; \quad l = 93 \text{ м.}$$

Задача 4-10. Сколько электроэнергии нужно затратить для получения из подкисленной воды 2,5 л водорода при температуре 300 К и давлении 750 мм рт. ст., если электролиз ведется при напряжении 5 В, а выход по току равен 0,75.

$$V = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$T = 300 \text{ К}$$

$$p = 750 \text{ мм рт. ст.} =$$

$$= 10^5 \text{ Н/м}^2$$

$$U = 5 \text{ В}$$

$$\eta = 0,75$$

$$\mu = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$W = ?$

Решение. Выход по току — это отношение количества фактически выделившегося вещества при электролизе к тому количеству, которое должно выделиться согласно закону Фарадея:

$$\eta = m / kIt.$$

Отсюда

$$m = \eta kIt, \quad (1)$$

где k — электрохимический эквивалент водорода. Для получения данного количества вещества необходимо затратить электроэнергию согласно (3.38):

$$W = IUt. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) получим

$$m = \eta kW / U. \quad (3)$$

Массу водорода, выделившегося при электролизе, можно определить из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$pV = mRT / \mu. \quad (4)$$

Из уравнений (3) и (4) находим

$$W = \rho V \mu U / \eta kRT; W = 134 \text{ кДж.}$$

Задача-4-11. В горизонтально направленном однородном магнитном поле находится горизонтально расположенный проводник, перпендикулярный полю. Какой ток должен протекать через проводник, чтобы он висел не падая, если индукция поля 0,01 Тл, а масса 1 м длины проводника 10 г.

Дано:

$$m' = 10^{-2} \text{ кг/м}$$

$$B = 10^{-2} \text{ Тл}$$

$$\alpha = \pi/2$$

$$|\vec{F}_\tau| = |\vec{F}_A|$$

$I = ?$

Решение. Пусть магнитное поле направлено за плоскость рисунка (рис. 12). На проводник действуют сила тяжести \vec{F}_τ и сила Ампера \vec{F}_A , направленная вертикально вверх. Проводник находится в равновесии, если соблюдается равенство сил:

$$|\vec{F}_A| = |\vec{F}_\tau|.$$

Согласно (3.44) сила Ампера $F_A = BIl \sin \alpha$. Так как проводник перпендикулярен полю и $\sin \pi/2 = 1$, то $F_A = BIl$, Сила тяжести проводника

$$F_\tau = mg = m'lg.$$

Таким образом,

$$BIl = m'lg,$$

откуда

$$I = m'g/B; I \approx 10 \text{ А.}$$

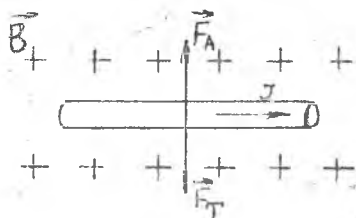


Рис. 12

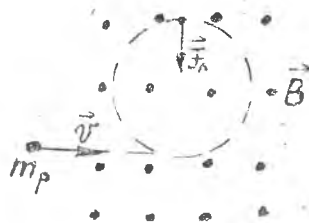


Рис. 13

Задача 4-12. Протон разгоняется электрическим полем, пролетев между точками с разностью потенциалов 10^3 В, и влетает в однородное магнитное поле с индукцией 0,2 Тл перпендикулярно линиям индукции. Определить радиус окружности, по которой движется протон, и период его обращения.

Дано:

$$v_0 = 0$$

$$\Delta\varphi = 10^3 \text{ В}$$

$$B = 0,2 \text{ Тл}$$

$$\vec{v} \perp \vec{B}$$

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

$$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$R - ? \quad T - ?$$

Решение. При прохождении ускоряющей разности потенциалов $\Delta\varphi$ работа сил электрического поля идет на сообщение протону кинетической энергии

$$m_p v^2 / 2 = q_p \Delta\varphi, \quad (1)$$

где m_p — масса протона; v — приобретенная им скорость; q_p — заряд протона. Из уравнения (1) имеем

$$v^2 = 2q_p \Delta\varphi / m_p. \quad (2)$$

При движении протона в магнитном поле на него согласно (3.46) действует сила Лоренца (рис. 13)

$$F_{\text{л}} = Bq_p v \sin \alpha,$$

где α — угол между направлением скорости \vec{v} и индукции \vec{B} . По условию задачи $\alpha = \pi/2$, следовательно,

$$F_{\text{л}} = Bq_p v. \quad (3)$$

Эта сила играет роль центростремительной силы, так что

$$m_p v^2 / R = Bq_p v, \quad (4)$$

где R — радиус окружности, по которой движется протон в магнитном поле. Из уравнений (2), (3) и (4) получим

$$R = \frac{\sqrt{2m_p \Delta\varphi / q_p}}{B}. \quad (5)$$

Период обращения протона по окружности определим из формулы

$$v = 2\pi R / T,$$

откуда с учетом формулы (4) получим

$$T = 2\pi m_p / Bq_p. \quad (6)$$

Из выражений (5) и (6) имеем:

$$R = 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \quad T = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ с.}$$

Задача 4-13. Замкнутая накоротко катушка диаметром 10 см, имеющая 200 витков, находится в магнитном поле, индукция которого увеличивается от 2 до 6 Тл в течение 0,1 с. Определить среднее значение ЭДС индукции в катушке, если плоскость витков перпендикулярна силовым линиям поля.

Дано:

$$n = 200$$

$$d = 0,1 \text{ м}$$

$$B_1 = 2 \text{ Тл}$$

$$B_2 = 6 \text{ Тл}$$

$$\Delta t = 0,1 \text{ с}$$

$$E_i = ?$$

Решение. Согласно закону электромагнитной индукции (3.48) возникающая в катушке ЭДС

$$|E_i| = n |\Delta \Phi / \Delta t|, \quad (1)$$

где n — число витков в катушке;

$\Delta \Phi / \Delta t$ — скорость изменения магнитного потока, проходящего через площадь, ограниченную витком катушки. Магнитный поток через площадь витка катушки $\Phi = BS$,

т. к. плоскость витков перпендикулярна магнитному полю. При изменении индукции магнитного поля от B_1 до B_2 изменение магнитного потока через площадь контура будет

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = (B_2 - B_1)S, \quad (2)$$

где $S = \pi d^2/4$ — площадь витка (3); d — диаметр катушки.

Подставив выражения (2) и (3) в формулу (1), получим

$$E_i = n \pi d^2 (B_2 - B_1) / 4 \Delta t; \quad E_i \approx 63 \text{ В.}$$

Задача 4-14. Замкнутый проводник сопротивлением 3 Ом находится в магнитном поле. В результате изменения индукции магнитного поля магнитный поток через площадь, ограниченную контуром проводника, возрос с $\Phi_1 = 2 \cdot 10^{-4}$ Вб до $\Phi_2 = 5 \cdot 10^{-4}$ Вб. Какой заряд прошел через поперечное сечение проводника?

Дано:

$$\Phi_1 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

$$\Phi_2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

$$R = 3 \text{ Ом}$$

$$\Delta q = ?$$

Решение. Заряд, проходящий через поперечное сечение проводника согласно (3.29) равен $\Delta q = I \Delta t$, где I — индукционный ток; Δt — время прохождения тока.

Согласно закону Ома (3.32) индукционный ток можно определить по формуле $I = E_i/R$.

Величина ЭДС индукции определяется выражением (3.48):

$$|E_i| = |\Delta \Phi / \Delta t|.$$

Таким образом,

$$\Delta q = E_i \Delta t / R = \Delta \Phi / R = (\Phi_2 - \Phi_1) / R; \quad \Delta q = 10^{-4} \text{ Кл.}$$

Задача 4-15. В однородном магнитном поле с индукцией B перпендикулярно силовым линиям расположен стержень длиной l . Стержень вращается с угловой скоростью ω вокруг оси, проходящей через конец стержня и параллельной силовым линиям поля. Найти разность потенциалов между концами стержня.

Дано:
 B
 ω
 l

$\Delta\varphi$ — ?

Решение. При вращении стержень
ежесекундно пересекает магнитный поток
 $\Delta\Phi/\Delta t = BS\dot{n}$, где B — индукция магнитного
поля; $S = \pi l^2$ — площадь круга, «заметае-
мого» стержнем; $n = \omega/2\pi$ — число оборотов
стержня в секунду. При этом в стержне ин-
дуцируется ЭДС индукции

$$|E_i| = |\Delta\Phi/\Delta t| = B\omega/2.$$

Свободные заряды стержня перемещаются к одному концу его до тех пор, пока возникшая на концах стержня разность потенциалов не уравнивается ЭДС индукции.

Таким образом,

$$\Delta\varphi = B\omega/2.$$

3.3. ЗАДАНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 4

Задание 4-1

1. Взаимодействие заряженных тел. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Электрическое поле точечного заряда.

2. Шарик массой 3 г, имеющий заряд $2 \cdot 10^{-8}$ Кл, подвешен в воздухе на тонкой изолирующей нити. Определить силу натяжения нити, если внизу на расстоянии 0,1 м расположен заряд противоположного знака $1,5 \cdot 10^{-7}$ Кл.

Ответ: $3,21 \cdot 10^{-2}$ Н.

3. Между зарядами $+6,4 \cdot 10^{-6}$ Кл и $-6,4 \cdot 10^{-6}$ Кл расстояние равно 12 см. Найти напряженность поля в точке, удаленной на 8 см от обоих зарядов.

Ответ: $1,4 \cdot 10^7$ Н/Кл.

4. Два маленьких шарика с одноименными зарядами подвешены на изолирующих нитях одинаковой длины l в одной точке. Что произойдет с шариками в условиях невесомости?

5. Зачем при наполнении автомобильной цистерны бензином цистерну и опораживаемый сосуд соединяют проводом с Землей?

Задание 4-2

1. Работа электростатического поля при перемещении заряда (вывод формулы). Потенциал. Связь напряженности с разностью потенциалов.

2. Поле образовано точечным зарядом $1,2 \cdot 10^{-7}$ Кл. Какую работу надо совершить, чтобы одноименный заряд 0,15 нКл пе-

рenessи из точки А, удаленной от первого заряда на 2 м, в точку В, удаленную от него на 0,5 м?

Ответ: $2,4 \cdot 10^{-7}$ Дж.

3. Шарообразная капля ртути с зарядом $0,8 \cdot 10^{-18}$ Кл уравновешена в плоском конденсаторе. Определить радиус капли, если известно, что расстояние между пластинами конденсатора 1 мм, а разность потенциалов 60 В.

Ответ: $4,4 \cdot 10^{-7}$ м.

4. Имеются два проводника, один из них имеет заряд меньше, но потенциал выше, чем у другого. Как будут перемещаться электрические заряды при соприкосновении проводников?

5. С какой целью электроизмерительные приборы помещают под металлические колпаки или сетки?

Задание 4-3

1. Электроемкость. Электроемкость шара. Конденсаторы. Электроемкость плоского конденсатора (вывод). Энергия электрического поля. Плотность энергии.

2. Плоскому воздушному конденсатору сообщили заряд 10^{-7} Кл. Площадь обкладки $62,6$ см². Расстояние между обкладками 1 мм. Как изменится напряжение между обкладками, если: 1) увеличить расстояние между обкладками до 3 мм; 2) заполнить пространство между обкладками слюдой?

Ответ: 1) увеличится в 3 раза;

2) уменьшится в 7 раз.

3. Заряженный до потенциала 1000 В шар радиусом 20 см соединяют с незаряженным шаром длинным тонким проводником. После этого соединения потенциал шаров оказался равным 300 В. Каков радиус второго шара?

Ответ: 46,7 см.

4. Если металлическим шарам, имеющим разные диаметры, сообщить равные отрицательные заряды, то будет ли ток в проводнике, которым соединяются заряженные шары?

5. Как можно изменить потенциал проводника, не касаясь его и не изменяя его заряда?

Задание 4-4

1. Электрический ток. Сила тока. Плотность тока. Закон Ома для участка цепи. Сопротивление проводников. Последовательное и параллельное соединение проводников.

2. В проводнике при напряжении 120 В был ток 1,5 А. Когда в цепь ввели дополнительное сопротивление, ток стал 1,2 А при том же напряжении. Определить величину включенного сопротивления.

Ответ: 20 Ом.

3. Параллельно амперметру, имеющему сопротивление $0,02 \text{ Ом}$, включен медный проводник длиной 20 см и сечением $3,4 \text{ мм}^2$. Определить силу тока в цепи, если амперметр показывает $0,3 \text{ А}$.

Ответ: $6,3 \text{ А}$.

4. Для чего на электрифицированных дорогах на стыках рельсов устраиваются соединители в виде жгутов толстой медной проволоки, приваренных к концам обоих рельсов?

5. Кусок неизолированной проволоки сложили вдвое. Как изменилось сопротивление проволоки?

Задание 4-5

1. Источники тока. Электродвижущая сила. Закон Ома для замкнутой цепи. Работа и мощность постоянного тока. Закон Джоуля-Ленца.

2. Гальванический элемент дает ток $0,3 \text{ А}$ при замыкании его на сопротивление 6 Ом и $0,15 \text{ А}$ — при замыкании на сопротивление 14 Ом . Определить ток короткого замыкания.

Ответ: $1,2 \text{ А}$.

3. Какая мощность выделится в единице объема никромового проводника длиной $0,2 \text{ м}$, если на его концах поддерживается разность потенциалов 4 В ?

Ответ: $4 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^3$.

4. Почему спирали электронагревательных приборов делают из нихрома?

5. Для чего служат плавкие предохранители?

Задание 4-6

1. Электрический ток в растворах и расплавах электролитов. Закон электролиза.

2. На сколько изменится при переходе от зимних температур к летним сопротивление телеграфной линии, если она проложена стальным проводом с площадью поперечного сечения $5,0 \text{ мм}^2$? Температура изменяется от -30 до $+30^\circ\text{С}$. Длина провода при 0°С равна 200 км . Линейное расширение не учитывать.

Ответ: $1,2 \text{ кОм}$.

3. Определить, какая мощность расходуется при электролизе раствора серной кислоты, если за 25 мин выделяется 150 мг водорода, а сопротивление электролита $0,4 \text{ Ом}$. КПД установки 80% .

Ответ: 57 Вт .

4. В чем разница между диссоциацией электролитов и ионизацией газов?

5. Как надо расположить электроды, чтобы электролитическим путем покрыть внутреннюю поверхность полый металлической детали?

Задание 4-7

1. Магнитное поле. Индукция магнитного поля. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле. Сила Лоренца.

2. По проводнику, каждый метр длины которого имеет массу 5 г, течет ток 10 А. Проводник расположен в магнитном поле перпендикулярно линиям индукции поля и находится в состоянии равновесия. Какова индукция магнитного поля?

Ответ: $5 \cdot 10^{-3}$ Тл.

3. Пройдя разность потенциалов 2000 В, электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией $15 \cdot 10^{-5}$ Тл и движется в нем по дуге окружности радиусом 1 м в плоскости, перпендикулярной магнитному полю. Найти отношение заряда электрона к его массе.

Ответ: $1,75 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

4. Используя правило буравчика и правило левой руки, покажите, что параллельные проводники с токами противоположного направления отталкиваются, а одного направления — притягиваются.

5. Какие из частиц катодных лучей отклоняются на больший угол одним и тем же магнитным полем: более быстрые или медленные?

Задание 4-8

1. Электромагнитная индукция. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца. Явление самоиндукции. Индуктивность. Энергия магнитного поля.

2. Виток медного провода помещен в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Диаметр витка 20 см, диаметр провода 2 мм. С какой скоростью изменяется индукция магнитного поля, если по кольцу течет ток 5 А?

Ответ: 0,54 Тл/с.

3. Проводник длиной 1 м равномерно вращается в горизонтальной плоскости с частотой 10 с^{-1} . Ось вращения проходит через конец стержня. Вертикальная составляющая магнитного поля Земли 50 мкТл. Определить разность потенциалов между концами проводника.

Ответ: 1,57 мВ.

4. При колебаниях металлического маятника между полюсами электромагнита маятник сильно тормозится. Почему?

5. Как надо перемещать в магнитном поле Земли замкнутый проволочный прямоугольник, чтобы в нем наводился ток?

4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ. ОПТИКА. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Контрольная работа № 5

4.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ

4.1.1. Свободные электромагнитные колебания в контуре

Колебательным контуром называют электрическую цепь, состоящую из конденсатора емкостью C и катушки индуктивностью L (рис. 14).

При сообщении конденсатору заряда q_0 в колебательном контуре наблюдаются электромагнитные колебания. Если сопротивлением цепи R пренебречь, то уравнения, описывающие изменение заряда q , напряжения u , и силы тока i в контуре, имеют вид:

$$q = q_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (4.1)$$

$$u = q/C = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (4.2)$$

$$i = q' = -q_0 \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = -I_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (4.3)$$

где $I_0 = q_0 \omega_0$, $U_0 = q_0/C$ — амплитудные значения силы тока и напряжения соответственно; $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ — собственная циклическая частота; φ_0 — начальная фаза.

Это уравнения свободных электромагнитных колебаний в контуре. Период свободных колебаний определяется формулой Томсона

$$T = 2\pi \sqrt{LC}. \quad (4.4)$$

В колебательном контуре энергия электрического поля заряженного конденсатора (3.26) периодически превращается в энер-



Рис. 14

гию магнитного поля тока (3.52)

$$q_0^2/2C = LI_0^2/2. \quad (4.5)$$

При отсутствии сопротивления полная энергия W электромагнитного поля сохраняется постоянной и в любой момент времени равна сумме энергий электрического и магнитного полей:

$$W = q^2/2C + Li^2/2, \quad (4.6)$$

где q и i — мгновенные значения заряда и тока в контуре, определяемые по формулам (4.1) и (4.3) соответственно.

4.1.2. Вынужденные электромагнитные колебания.

Переменный электрический ток

Колебания в электрической цепи, происходящие под действием внешней электродвижущей силы, называются вынужденными. Примером таких колебаний является переменный ток.

Если прямоугольную рамку вращать с постоянной угловой скоростью ω в однородном магнитном поле с индукцией B , то согласно закону Фарадея (3.48) в рамке будет наводиться ЭДС индукции

$$e_i = -d\Phi/dt = -\Phi'.$$

Так как поток магнитной индукции согласно (3.47) равен то

$$\begin{aligned} \Phi &= BS \cos \omega t, \\ e_i &= BS \omega \sin \omega t = E_0 \sin \omega t, \end{aligned} \quad (4.7)$$

где S — площадь рамки; $E_0 = BS\omega$ — амплитудное значение ЭДС индукции; ω — циклическая частота, равная угловой скорости вращения рамки.

Вынужденные электрические колебания в цепях могут происходить под действием напряжения, меняющегося с частотой ω по закону синуса или косинуса:

$$u = U_0 \sin \omega t \text{ или } u = U_0 \cos \omega t, \quad (4.8)$$

где U_0 — амплитуда напряжения в цепи переменного тока. Сила тока в цепи в любой момент времени определяется по формуле

$$i = I_0 \sin(\omega t + \varphi_c), \quad (4.9)$$

где I_0 — амплитуда силы тока;

φ_c — сдвиг фаз между колебаниями силы тока и напряжения. Электрическая цепь переменного тока содержит активное сопротивление (сопротивление проводов, приборов и т. д.), емкостное сопротивление (емкость проводников, конденсаторов) и индуктивное сопротивление (обмотки электродвигателей, катушки электромагнитных приборов). Емкостное и индуктивное со-

ротивления называют реактивным сопротивлением. В проводнике с активным сопротивлением колебания силы тока по фазе совпадают с колебаниями напряжения. При вычислении работы и мощности переменного тока следует пользоваться действующими значениями силы тока и напряжения.

Действующее значение силы переменного тока I равно силе постоянного тока, выделяющего в проводнике то же количество теплоты, что и переменный ток за то же время. Действующие значения силы тока I , напряжения U и ЭДС E связаны с амплитудными значениями I_0 , U_0 и E_0 следующим образом:

$$I = I_0 / \sqrt{2}; \quad U = U_0 / \sqrt{2}; \quad E = E_0 / \sqrt{2}. \quad (4.10)$$

Так как $I_0 = I\sqrt{2}$ и $U_0 = U\sqrt{2}$, то закон Ома для цепи переменного тока с активным сопротивлением справедлив и для действующих значений силы тока и напряжения:

$$I = U/R. \quad (4.11)$$

Мощность в цепи переменного тока определяется действующими значениями силы тока и напряжения

$$P = I^2 R = UI. \quad (4.12)$$

Сопротивление X_c конденсатора переменному току называют емкостным:

$$X_c = 1/\omega C. \quad (4.13)$$

Сопротивление X_L катушки индуктивности переменному току называют индуктивным:

$$X_L = \omega L. \quad (4.14)$$

В цепи переменного тока с реактивным сопротивлением закон Ома справедлив только для действующих и амплитудных значений силы тока и напряжения.

Полное сопротивление Z цепи, содержащей активное, индуктивное и емкостное сопротивления, можно определить по формуле

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_c)^2}. \quad (4.15)$$

Величина Z может быть определена по закону Ома для действующих или амплитудных значений силы тока и напряжения:

$$Z = U/I = U_0/I_0. \quad (4.16)$$

В цепи, содержащей колебательный контур, наблюдается явление резонанса: резкое увеличение амплитуды колебаний тока при совпадении собственной частоты контура с частотой внешнего переменного напряжения.

4.1.3. Трансформатор

Для изменения напряжения переменного тока применяются трансформаторы. Работа трансформатора основана на явлении электромагнитной индукции. Трансформатор состоит из замкнутого стального сердечника (магнитопровода) и двух (или большего числа) надетых на него катушек с различным числом витков. Если первичная и вторичная катушки трансформатора имеют число витков n_1 и n_2 соответственно, то между ЭДС индукции E_1 и E_2 в катушках и числом витков в них существует соотношение:

$$E_1/E_2 = n_1/n_2 = k, \quad (4.17)$$

где k — коэффициент трансформации. Обычно активное сопротивление катушек трансформатора мало, поэтому $|E_1| \approx |U_1|$, а при разомкнутой вторичной катушке и $|E_2| = |U_2|$, поэтому соотношение (4.17) можно переписать:

$$U_1/U_2 = n_1/n_2 = k.$$

Энергия из первичной катушки во вторичную передается только при наличии нагрузки во вторичной катушке трансформатора. Пренебрегая потерями энергии на нагревание и перемагничивание сердечника, можно записать:

$$I_1 U_1 = I_2 U_2,$$

отсюда

$$U_1/U_2 = I_2/I_1. \quad (4.18)$$

Таким образом, во сколько раз повышается напряжение, во столько же раз уменьшается сила тока. Коэффициент полезного действия трансформатора:

$$\eta = I_2 U_2 / I_1 U_1. \quad (4.19)$$

4.1.4. Электромагнитные волны

Электромагнитной волной называется распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле. Электромагнитная волна характеризуется векторами напряженности \vec{E} электрического и индукции \vec{B} магнитного полей, составляющих единое электромагнитное поле. Электромагнитные волны являются поперечными волнами, т. к. колебания векторов \vec{E} и \vec{B} взаимно перпендикулярны и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны x , т. е. вектору ее скорости \vec{v} в рассматриваемой точке поля (рис. 15). Векторы \vec{E} и \vec{B} колеблются в одинаковой фазе: они одновременно обращаются в нуль и одновременно достигают максимальных значений. Длина электромагнитной волны λ есть расстояние между двумя ближай-

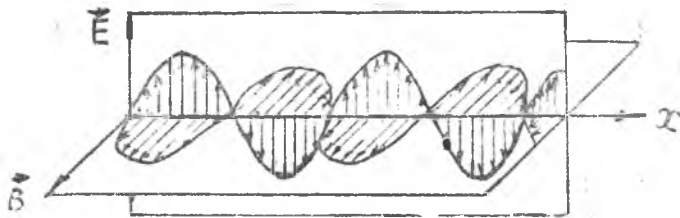


Рис. 15

шими точками, совершающими колебания в одинаковых фазах, и определяется по формуле

$$\lambda = v \cdot T = v/\nu, \quad (4.20)$$

где T — период колебаний, а ν — их частота. Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме не зависит от длины волны и равна скорости света в вакууме, т. е. приблизительно $3 \cdot 10^8$ м/с. Свет — это электромагнитные волны. В среде скорость электромагнитной волны

$$v = c/\sqrt{\epsilon\mu}, \quad (4.21)$$

где c — скорость света в вакууме;

ϵ и μ — диэлектрическая и магнитная проницаемости среды.

4.1.5. Световой луч.

Законы отражения и преломления света

Световой луч — это линия, вдоль которой распространяется энергия светового излучения.

1. Закон прямолинейного распространения света: в однородной среде свет распространяется прямолинейно.

2. Законы отражения:

а) падающий луч SO , отраженный луч OB и перпендикуляр OA , восстановленный к границе раздела сред в точке падения, лежат в одной плоскости (рис. 16);

б) угол отражения β равен углу падения α ;

в) луч падающий и отраженный взаимнообратимы.

Изображение светящейся точки образуется там, где пере-

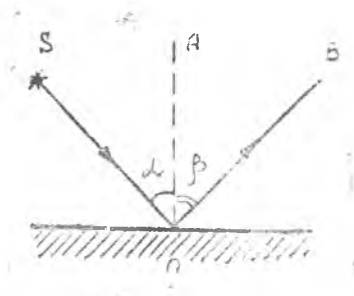


Рис. 16

секаются не менее двух лучей, исходящих из этой точки. Если пересекаются сами лучи, изображение получается действительным, а если продолжения лучей—мнимое. На рис. 17 показано построение изображения точки S в плоском зеркале.

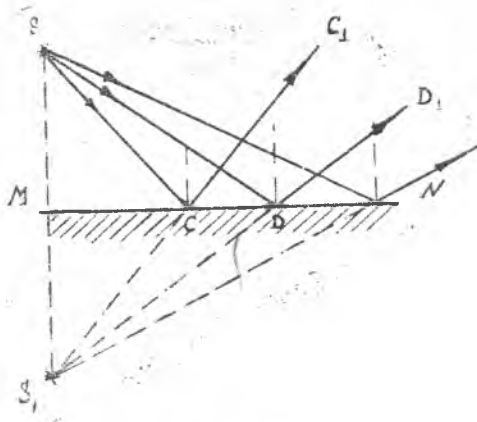


Рис. 17

Изображение протяженного предмета в плоском зеркале состоит из совокупности изображений отдельных его точек. Это изображение всегда мнимое, прямое, равно по размерам самому предмету, расположено по другую сторону от зеркала, симметрично предмету относительно плоскости зеркала.

3. Законы преломления

С точки зрения электромагнитной теории скорость распространения света v зависит от рода среды и определяется выражением (4.21):

$$v = c / \sqrt{\epsilon \mu}.$$

Отношение скорости света в вакууме c к скорости света v в данной среде

$$n = c/v \tag{4.22}$$

называется абсолютным показателем преломления этой среды. Отношение скорости света v_1 в первой среде к скорости света v_2 во второй среде называют относительным показателем преломления n_{21} второй среды относительно первой:

$$n_{21} = v_1/v_2. \tag{4.23}$$

Используя формулу (4.22), можно записать: для первой среды $v_1 = c/n_1$ и для второй $v_2 = c/n_2$, где n_1 и n_2 — абсолютные показатели преломления соответственно первой и второй среды.

Тогда выражение (4.23) можно переписать в виде

$$n_{21} = v_1/v_2 = n_2/n_1. \quad (4.24)$$

Чем больше абсолютный показатель преломления среды, тем среда считается оптически более плотной. Таким образом, преломление света обусловлено изменением скорости распространения света. На границе раздела сред с абсолютными показателями преломления n_1 и n_2 (рис. 18) имеет место закон преломления:

а) луч падающий SO , луч преломленный OC и перпендикуляр OA , восстановленный в точке падения, лежат в одной плоскости;

б) отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления γ есть величина постоянная для двух данных сред, равная отношению показателя преломления второй среды относительно первой:

$$\sin \alpha / \sin \gamma = n_{21} = n_2/n_1; \quad (4.25)$$

в) падающий и преломленный лучи взаимнообратимы.

4.1.6. Полное отражение. Предельный угол

При переходе света из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную (например из воды в воздух) угол преломления α больше угла падения γ (рис. 19). Если увеличи-

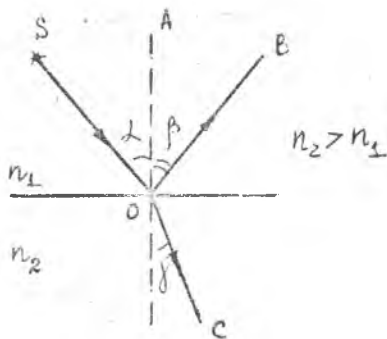


Рис. 18

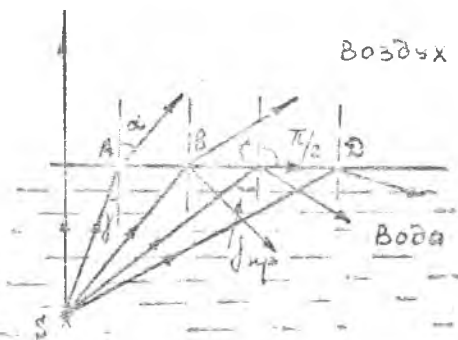


Рис. 19

вать угол падения, доведя его до некоторого значения $\gamma_{\text{пр}}$, угол преломления α станет равным $\pi/2$, т. е. преломленный луч будет скользить по границе раздела этих сред (рис. 19, т. С). При углах падения больше $\gamma_{\text{пр}}$ свет полностью отражается от поверхности раздела внутрь первой среды (рис. 19, т. Д). Угол падения $\gamma_{\text{пр}}$, которому соответствует угол преломления, равный $\pi/2$, называют предельным углом полного отражения. Соотношение (4.25) для предельного $\gamma_{\text{пр}}$ угла имеет вид: $\sin \gamma_{\text{пр}} = n_2/n_1$.

4.1.7. Ход лучей в плоскопараллельной пластине и призме

При прохождении светового луча через плоскопараллельную пластину (рис. 20) он смещается, не меняя направления, на величину x , зависящую от толщины пластины d , угла падения луча α и показателя преломления вещества пластины относительно среды, в которой она находится.

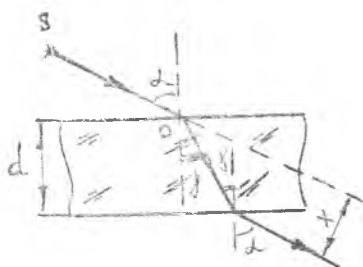


Рис. 20

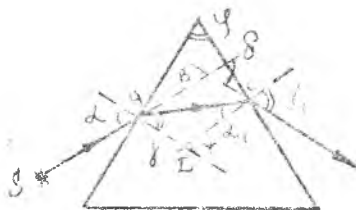


Рис. 21

При прохождении луча света через призму (рис. 21) он отклоняется к ее основанию, если n призмы больше n среды, и к вершине призмы, если n призмы меньше n среды. Угол φ между гранями призмы называют преломляющим углом призмы. Угол δ , образованный входящим и выходящим лучами, называют углом отклонения. Из геометрических соотношений (рис. 21) угол

$$\delta = \alpha - \gamma + \gamma_1 - \alpha_1.$$

4.1.8. Линзы. Фокус линзы. Оптическая сила линзы

Прозрачное тело, ограниченное двумя поверхностями, одна из которых обычно сферическая или цилиндрическая, а другая сферическая или плоская, называется линзой. Их подразделяют на собирающие и рассеивающие. Схематическое изображение линз показано на (рис. 22): слева — собирающей, справа — рассеивающей. Главной оптической осью называется прямая, проходящая через центры кривизны поверхностей линзы. Оптиче-

ким центром называется точка, через которую любой луч проходит не меняя направления. Фокусом линзы называется точка F пересечения преломленных линзой лучей, падающих параллельно главной оптической оси. Расстояние между оптическим центром и фокусом линзы называется фокусным расстоянием F . Величина, обратная фокусному расстоянию линзы, называется оптической силой линзы:

$$D = 1/F. \quad (4.26)$$

Оптическая сила измеряется в диоптриях [дптр]; 1 дптр—это оптическая сила линзы, фокусное расстояние которой равно 1 м. Для собирающей линзы $D > 0$, для рассеивающей $D < 0$. Плоскость, проходящая через фокус перпендикулярно главной оптической оси, называется фокальной плоскостью линзы.

4.1.9. Построение изображений в линзах

Для построения изображения в линзе пользуются лучами, ход которых показан на рис. 23 (*a* — в собирающей линзе, *б* — в рассеивающей):

1 — луч, падающий параллельно главной оптической оси, после преломления в собирающей линзе проходит через второй главный фокус, а после преломления в рассеивающей линзе распространяется так, что его продолжение проходит через первый главный фокус рассеивающей линзы;

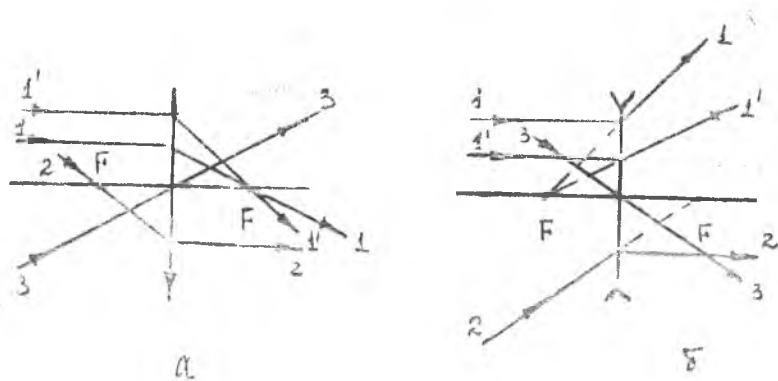


Рис. 23

2— луч, который проходит через главный передний фокус собирающей линзы, после преломления в ней идет параллельно главной оптической оси; если луч 2 падает на рассеивающую линзу так, что его продолжение проходит через второй главный фокус линзы, то после преломления в рассеивающей линзе он идет параллельно главной оптической оси;

3— луч, проходящий без преломления через оптический центр линзы.

Формула тонкой линзы имеет вид

$$\pm 1/F = \pm 1/d \pm 1/f, \quad (4.27)$$

где d — расстояние от предмета до линзы;

f — расстояние от изображения до линзы;

F — главное фокусное расстояние линзы.

Действительные значения величин берутся со знаком плюс, а мнимые—со знаком минус. Линейным увеличением тонкой линзы Γ называется отношение линейного размера изображения H к линейному размеру предмета h :

$$\Gamma = H/h = f/d. \quad (4.28)$$

4.1.10. Интерференция света — это наложение когерентных световых волн, в результате которого появляются области усиленных и ослабленных колебаний (максимумы и минимумы интенсивности). Когерентными называются волны, которые имеют одинаковую частоту колебаний и постоянную во времени разность фаз.

4.1.11. Дифракцией света называется огибание волнами препятствий, встречающихся на пути их распространения. Дифракция наблюдается, если размеры препятствий соизмеримы с длиной световой волны.

Дифракционной решеткой называется система большого числа узких параллельных щелей равной ширины, лежащих в одной плоскости и разделенных непрозрачными промежутками (рис. 24). Если плоская волна падает нормально на дифракционную решетку, то можно наблюдать дифракционную картину, состоящую из чередующихся максимумов и минимумов интенсивности. Условие главных максимумов записывается следующим образом:

$$d \sin \varphi = \pm \kappa \lambda, \quad (4.29)$$

где $d = a + b$ — период решетки (a — ширина щели, b — ширина непрозрачного промежутка между щелями); φ — угол отклонения светового луча от нормали; λ — длина волны падающего на решетку света; $\kappa = 0, 1, 3, \dots$ порядок максимума.

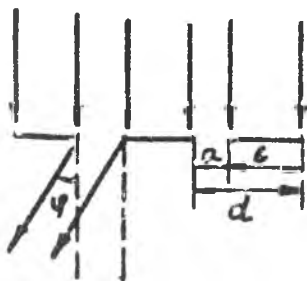


Рис. 24

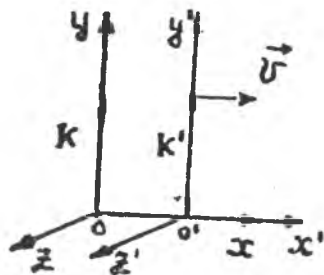


Рис. 25

4.1.12. Элементы теории относительности

Теория относительности рассматривает явления, протекающие в произвольных системах отсчета (общая теория относительности) и в инерциальных (специальная теория относительности — СТО).

В основе СТО лежат два постулата:

1. Все процессы природы протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета. Этот постулат называют принципом относительности Эйнштейна.

2. Скорость света в вакууме одинакова для всех инерциальных систем отсчета. Она не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приемника светового сигнала. Пусть система координат K' (x', y', z', t') движется относительно системы K (x, y, z, t) (рис. 25) со скоростью \bar{v} , направленной вдоль общей для систем оси Ox .

Из постулатов теории относительности вытекает ряд следствий:

1. Сокращение длины движущегося тела:

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}, \quad (4.30)$$

где c — скорость света в вакууме,

l_0 — длина стержня (тела) в системе отсчета K' , относительно которой стержень покоится (собственная длина), l — длина этого стержня, измеренная в системе K , относительно которой он движется со скоростью \bar{v} . Стержень параллелен оси Ox .

Это сокращение носит относительный характер. Если стержень покоится в системе K , то его длина в системе K' выражается формулой (4.30). Поэтому, если в системах K и K' покоятся одинаковые стержни, то нельзя ставить вопрос: какой из них на самом деле короче. Все зависит от системы отсчета.

2. Замедление хода движущихся часов:

$$\Delta t = \Delta t_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}, \quad (4.31)$$

где Δt_0 — интервал времени между событиями, происходящими в системе K' , измеренный по часам этой системы (собственное время), Δt — интервал времени между теми же событиями, измеренный по часам системы K . Замедление времени носит также относительный характер.

3. Релятивистский закон сложения скоростей:

$$U = (u' + v) / (1 + u'v/c^2), \quad (4.32)$$

где U — скорость тела относительно системы K ;

u' — скорость тела относительно системы K' .

Если массу тела в системе отсчета K' , в которой тело покоится, обозначить m_0 (масса покоя тела), то масса m того же тела, но движущегося со скоростью \bar{v} (т. е. в системе K) определяется формулой:

$$m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (4.33)$$

Тогда импульс тела (релятивистский импульс)

$$\bar{P} = m\bar{v} = m_0\bar{v} / \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (4.34)$$

Закон взаимосвязи между массой и энергией:

$$E = mc^2 = m_0c^2 / \sqrt{1 - v^2/c^2}, \quad (4.35)$$

где E — полная энергия тела;

$E_0 = m_0c^2$ — энергия покоя.

Кинетическая энергия движущегося тела представляет собой разность между полной энергией тела E и энергией покоя E_0 :

$$E_k = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2 = m_0c^2 (1 / \sqrt{1 - v^2/c^2} - 1). \quad (4.36)$$

Изменению массы тела на величину Δm соответствует изменение его энергии на величину

$$\Delta E = \Delta mc^2. \quad (4.37)$$

Частица называется релятивистской, если ее скорость сравнима со скоростью света, и классической, если скорость частицы, v значительно меньше скорости света ($v \ll c$). Чтобы определить, является ли частица с кинетической энергией E_k релятивистской или классической, достаточно сравнить кинетическую энергию частицы с энергией покоя. Если $E_k/E_0 \ll 1$, то частицу можно считать классической. При решении задач для релятивистских частиц необходимо учитывать зависимость массы от скорости и связь между массой и полной энергией частицы. При скоростях движения $v \ll c$ справедливы законы классической физики.

4.1.13. Световые кванты (фотоны)

В квантовой физике свет рассматривается как поток особых частиц — фотонов, движущихся со скоростью c , равной скорости света в вакууме. Масса покоя фотона $m_0 = 0$.

Энергия фотона

$$E = h\nu = hc/\lambda, \quad (4.38)$$

где ν — частота излучения; λ — длина волны; $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с — постоянная Планка. Используя выражения (4.35) и (4.38), для массы фотона получим:

$$m = h\nu/c^2. \quad (4.39)$$

Импульс фотона

$$P = mc = h\nu/c = h/\lambda_0, \quad (4.40)$$

где $\lambda_0 = c/\nu$ — длина волны излучения в вакууме.

4.1.14. Внешний фотоэффект

Явление испускания электронов проводниками при облучении их светом называется внешним фотоэффектом. Для фотоэффекта справедливо уравнение Эйнштейна, выражающее закон сохранения энергии:

$$h\nu = A + E_{\text{к}}^{\text{max}}, \quad (4.41)$$

где A — работа выхода электрона из металла, $E_{\text{к}}^{\text{max}} = m\nu_{\text{max}}^2/2$ — максимальная кинетическая энергия вылетающего электрона (m — масса, ν — скорость электрона). Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта — такая наименьшая частота ν_{min} , при которой еще возможен фотоэффект. При красной границе фотоэффекта энергия фотона равна работе выхода электрона из металла:

$$h\nu_{\text{min}} = A, \quad (4.42)$$

или

$$hc/\lambda_{\text{max}} = A, \quad (4.43)$$

где λ_{max} — длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта.

4.1.15. Атом и атомное ядро

Атом любого вещества состоит из электронов и ядра. Атомное ядро состоит из нуклонов: протонов и нейтронов. Количество нуклонов в ядре определяется массовым числом M (округленное значение атомной массы химического элемента), а число протонов $N_p = Z$ — зарядовому числу, равному порядковому

номеру элемента в периодической системе Д. И. Менделеева. Число нейтронов в ядре атома $N_n = M - Z$.

Приняты условные символические обозначения химических элементов в виде ${}^M_Z X$ и элементарных частиц: ${}^1_1 p$ — протон; ${}^1_0 n$ — нейтрон; ${}^0_{-1} e$ — электрон; ${}^4_2 \alpha$ — α -частица и т. д.

Масса покоя ядра

$$m_{\text{я}} = m_a - Zm_e, \quad (4.44)$$

всегда меньше суммы масс образующих ядро нуклонов на величину Δm , называемую дефектом масс и определяемую выражением:

$$\Delta m = Zm_p + (M - Z)m_n - m_{\text{я}}, \quad (4.45)$$

где m_a — масса покоя нейтрального атома; m_p , m_n — масса покоя свободного протона и нейтрона соответственно; m_e — масса электрона. Энергия, необходимая для полного расщепления ядра на нуклоны, называется энергией связи ядра. Энергия связи определяется по формуле (4.37)

$$E_c = \Delta mc^2, \quad (4.46)$$

где Δm — дефект массы; c — скорость света в вакууме. Энергия связи, приходящаяся на один нуклон, называется удельной энергией связи

$$\varepsilon_c = E_c/M. \quad (4.47)$$

Радиоактивный распад — это самопроизвольное превращение атомных ядер, сопровождающееся испусканием элементарных частиц. Закон радиоактивного распада:

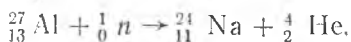
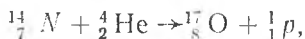
$$N = N_0 \cdot 2^{-t/T}, \quad (4.48)$$

где N_0 — исходное количество ядер в момент времени $t = 0$, N — количество ядер, еще не распавшихся к моменту времени t , T — период полураспада, т. е. промежуток времени, за который распадается половина начального количества ядер.

Ядерными реакциями называют изменения ядер при их взаимодействии друг с другом или с элементарными частицами. Эти реакции символически записываются в виде:



где X и Y — химические символы исходного ядра и ядра продукта реакции. При ядерных реакциях выполняются законы сохранения электрического заряда и числа нуклонов, например:



В ядерной физике часто используются единицы массы и энергии

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,6602 \cdot 10^{-27} \text{ кг,}$$

$$1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж.}$$

4.2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 5-1. На какую частоту настроен радиоприемник, если в его колебательный контур введена емкость $0,1 \text{ пФ}$ и если в нем возникает ЭДС самоиндукции $0,2 \text{ В}$ при скорости изменения силы тока в нем 2 А/с ?

Дано:

$$C = 0,1 \text{ пФ} = 10^{-13} \text{ Ф}$$

$$E_{si} = 0,2 \text{ В}$$

$$\Delta I / \Delta t = 2 \text{ А/с}$$

ν — ?

Решение. Искомая частота определяется формулой Томсона (4.4):

$$\nu = 1/T = 1/2\pi \sqrt{LC}. \quad (1)$$

Для определения индуктивности контура воспользуемся выражением для ЭДС самоиндукции (3.51)

$$E_{si} = -L \Delta I / \Delta t,$$

откуда

$$L = |E_{si}| \Delta t / \Delta I. \quad (2)$$

Подставим уравнение (2) в (1), получим:

$$\nu = 1/2\pi \sqrt{|E_{si}| \Delta t C / \Delta I}; \quad \nu \approx 1,6 \text{ МГц.}$$

Задача 5-2. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $0,2 \text{ Гн}$ и конденсатора емкостью 10^{-5} Ф . В момент, когда напряжение на конденсаторе равно 1 В , ток в контуре равен $0,1 \text{ А}$. Каков максимальный ток в этом контуре?

Дано:

$$L = 0,2 \text{ Гн}$$

$$C = 10^{-5} \text{ Ф}$$

$$u = 1 \text{ В}$$

$$i = 0,1 \text{ А}$$

I_0 — ?

Решение. В любой произвольно взятый момент времени согласно (4.6) полная энергия контура равна сумме энергий электрического поля конденсатора и магнитного поля катушки:

$$W = Cu^2/2 + Li^2/2.$$

В момент, когда ток в контуре максимален, полная энергия контура сосредоточена в катушке

$$W = W_{\text{маг}} = LI_0^2/2.$$

Согласно закону сохранения энергии

$$LI_0^2/2 = Cu^2/2 + Li^2/2,$$

откуда

$$I_0 = \sqrt{(Cu^2 + Li^2)/L}; I_0 = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ А.}$$

Задача 5-3. В рамке, содержащей 100 витков и равномерно вращающейся в однородном магнитном поле, поток магнитной индукции изменяется по закону $\Phi = 2,0 \cdot 10^{-3} \cos 314t$. Определить: зависимость возникающей в рамке ЭДС от времени; максимальное и действующее значения ЭДС; мгновенное значение ЭДС для $t = 5$ мс.

Дано:

$$\begin{aligned} N &= 100 \\ \Phi &= 2,0 \cdot 10^{-3} \cos 314t \\ t &= 5 \cdot 10^{-3} \text{ с} \end{aligned}$$

$$E_i(t) \text{ ---?}; E_0 \text{ ---?}; E \text{ ---?}$$

Решение. Мгновенное значение ЭДС, возникающей в каждом витке, равно первой производной магнитного потока по времени, взятой со знаком минус, т. е.

$$E_i = -\Phi', \text{ при } N \text{ витках } E_i = -N\Phi'. \\ \text{Так как } \Phi = \Phi_0 \cos \omega t, \text{ то}$$

$$E_i = N \omega \Phi_0 \sin \omega t = E_0 \sin \omega t. \quad (1)$$

Таким образом, зависимость мгновенного значения ЭДС от времени будет иметь вид:

$$E_i = 100 \cdot 314 \cdot 2,0 \cdot 10^{-3} \sin 314t = 62,8 \sin 314t \text{ (В)}, \quad (2)$$

где максимальное значение ЭДС $E_0 = N \omega \Phi_0 = 62,8$ В. Действующее значение ЭДС $E = E_0/2 = 44,5$ В. Мгновенное значение ЭДС найдем, подставив в уравнение (2) соответствующее значение t :

$$E_i = 62,8 \sin 314 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 62,8 \text{ В.}$$

Задача 5-4. К источнику переменного напряжения, изменяющегося по закону $u = 300 \sin 200\pi t$, подключили последовательно катушку индуктивностью 0,5 Гн, конденсатор емкостью 10 мкФ и активное сопротивление 100 Ом. Определить полное сопротивление цепи и амплитудное значение тока.

Дано:

$$\begin{aligned} u &= 300 \sin 200\pi t \\ L &= 0,5 \text{ Гн} \\ C &= 10^{-5} \text{ Ф} \\ R &= 100 \text{ Ом} \end{aligned}$$

$$Z \text{ ---? } I_0 \text{ ---?}$$

Решение. Из заданного уравнения переменного напряжения видно, что амплитудное значение напряжения $U_0 = 300$ В, циклическая частота

$$\omega = 200\pi \text{ рад/с.}$$

Амплитудное значение тока определим по закону Ома

$$I_0 = U_0/Z, \quad (1)$$

где Z — полное сопротивление цепи переменному току, определяемое по формуле (4.15):

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, \quad (2)$$

где R — активное сопротивление цепи;
 $X_L = \omega L$ — индуктивное сопротивление цепи;
 $X_C = 1/\omega C$ — емкостное сопротивление.

Подставив значения R , X_L , X_C в уравнение (2), получим $Z = 180$ Ом, из уравнения (1) найдем $I_0 \approx 1,7$ А.

Задача 5-5. Первичная обмотка понижающего трансформатора с коэффициентом трансформации, равным 10, включена в сеть с напряжением 120 В. Сопротивление вторичной обмотки трансформатора 1,5 Ом, сила тока во вторичной цепи трансформатора 2 А. Определить напряжение на зажимах вторичной обмотки и коэффициент полезного действия трансформатора. Потери в первичной обмотке пренебречь.

Дано:

$$U_1 = 120 \text{ В}$$

$$k = 10$$

$$R_2 = 1,5 \text{ Ом}$$

$$I_2 = 2 \text{ А}$$

$$U_2 = ? \quad \eta = ?$$

Решение. Число витков в обмотках трансформатора связано с индуцированными в обмотках ЭДС соотношением (4.17):

$$E_2/E_1 = n_2/n_1 = 1/k, \quad (1)$$

где E_1 и E_2 — ЭДС индукции соответственно в первичной и вторичной обмотках; k — коэффициент трансформации. Так как по условию задачи потерями в первичной обмотке пренебрегают, то индуцированная в ней ЭДС E_1 равна подведенному к ней напряжению; $E_1 = U_1$.

Тогда из уравнения (1) $E_2 = U_1/k$.

Если сопротивлением вторичной обмотки пренебречь нельзя, то на ней происходит потеря напряжения $I_2 R_2$ и тогда на зажимах вторичной обмотки напряжение

$$U_2 = E_2 - I_2 R_2 = U_1/k - I_2 R_2; \quad U_2 = 9 \text{ В.}$$

КПД нагруженного трансформатора равно

$$\eta = U_2/E_2 = \frac{U_1/k - I_2 R_2}{U_1/k} = \frac{U_1 - k I_2 R_2}{U_1}; \quad \eta = 0,75.$$

Задача 5-6. Определить длину электромагнитной волны в вакууме, на которую настроен колебательный контур с индуктивностью $2,0 \cdot 10^{-7}$ Гн, если максимальный заряд конденсатора 20 нКл, а максимальный ток в контуре 1,0 А. Какова емкость конденсатора в контуре? Активным сопротивлением контура пренебречь.

Дано:
 $q_0 = 20 \text{ нКл} =$
 $= 2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$
 $I_0 = 1,0 \text{ А}$
 $L = 2,0 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$
 $R = 0$
 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

$\lambda - ? \quad C - ?$

Решение. Длина волны определяется по формуле (4.20)

$$\lambda = cT, \quad (1)$$

где c — скорость электромагнитной волны в вакууме, равная скорости света; $T = 2\pi\sqrt{LC}$ — период колебаний в контуре. Для нахождения периода T используем закон сохранения и превращения энергии. Так как сопротивление контура равно нулю, колебания в контуре будут незатухающими. Тогда максимальная энергия магнитного поля равна максимальной энергии электрического поля:

$$q_0^2/2C = LI_0^2/2; \quad (2)$$

откуда

$$LC = q_0^2/I_0^2. \quad (3)$$

Тогда

$$T = 2\pi q_0/I_0.$$

Длина электромагнитной волны

$$\lambda = c \cdot 2\pi q_0/I_0; \quad \lambda = 38 \text{ м.}$$

Из формулы (3) находим:

$$C = q_0^2/LI_0^2; \quad C = 2,0 \cdot 10^{-9} \text{ Ф.}$$

Задача 5-7. На стене в коридоре висит зеркало высотой 0,5 м. На расстоянии 1,5 м от зеркала стоит человек. Определить высоту участка противоположной стены коридора, который может увидеть в зеркале человек, не изменяя положения головы? Стена находится на расстоянии 3 м от зеркала.

Дано:
 $h_1 = 0,5 \text{ м}$
 $l_1 = 1,5 \text{ м}$
 $l_2 = 3 \text{ м}$
 $h_2 - ?$

Решение. Человек увидит в зеркале участок стены AB (рис. 26), ограниченный лучами AC и BD , которые после отражения от зеркала попадут в глаз. Изображение $A_1 B_1$ этого участка в зеркале находится на таком же расстоянии l_2 за зеркалом, что и видимый участок стены AB , перед зеркалом.

Высота изображения h_2 . Из подобия треугольников OSD и $OA_1 B_1$ запишем:

$$\frac{CD}{A_1 B_1} = \frac{l_1}{l_1 + l_2}, \text{ или } \frac{h_1}{h_2} = \frac{l_1}{l_1 + l_2}$$

Откуда получим

$$h_2 = h_1(l_1 + l_2)/l_1 = 1,5 \text{ м.}$$

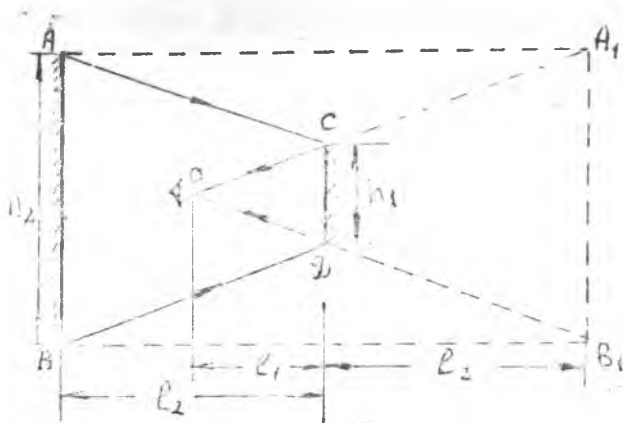


Рис. 26

Задача 5-8. Человек рассматривает предмет, находящийся на дне водоема. Угол между лучом зрения и перпендикуляром к поверхности воды равен 60° . Каково кажущееся уменьшение глубины водоема?

Дано:

$$\beta = 60^\circ$$

$$n = 1,33$$

$H/h = ?$

Решение. Человек рассматривает

предмет, находящийся в точке А (рис. 27).

Его изображение он увидит в т. В на пере-

сечении луча АВ, перпендикулярного по-

верхности воды, и продолжения луча АД,

выходящего из воды под углом β . Найдем, во сколько раз глупина водоема H больше кажущейся глубины h ?

Из треугольника АСД

$$H = CD/\operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

а из треугольника ВСД

$$h = CD/\operatorname{tg} \beta. \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) запишем:

$$H/h = \operatorname{tg} \beta/\operatorname{tg} \alpha. \quad (3)$$

По закону преломления (4.25)

$$\sin \beta/\sin \alpha = n, \quad (4)$$

Используя выражения (4) и (3), получим

$$H/h = \sqrt{n^2 - \sin^2 \beta}/\cos \alpha; \quad H/h = 2.$$

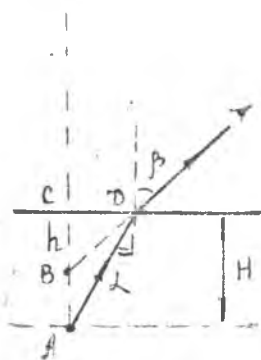


Рис. 27

Задача 5-9. На какую максимальную глубину можно погрузить в воду точечный источник света, чтобы квадратный плот со стороной 4 м не пропускал свет в пространство над поверхностью воды? Центр плов находится над источником света.

Дано:

$$d = 4 \text{ м}$$

$$n_1 = 1,33$$

$$n_2 = 1$$

$$H = ?$$

Решение. Лучи, идущие от точечного источника света падают на границу раздела сред вода — воздух, переходя из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную (рис. 28).

Источник света S может быть погружен на такую глубину H , чтобы лучи света (SA и SB), падающие на край плов, испытали полное внутреннее отражение, т. е. угол α_0 должен быть предельным и определяется выражением (4.25):

$$\sin \alpha_0 = n_2/n_1. \quad (1)$$

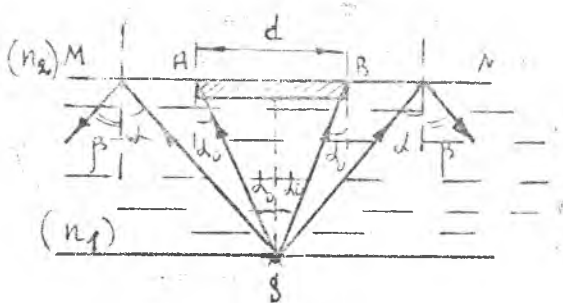


Рис. 28

Глубину погружения находим из рисунка:

$$H = d/2 \operatorname{tg} \alpha_0. \quad (2)$$

Учитывая, что $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$, а $\operatorname{tg} \alpha = \sin \alpha / \cos \alpha$, решим совместно уравнения (1) и (2), получим: $H = d\sqrt{n^2 - 1}/2$; $H = 1,75 \text{ м}$.

Задача 5-10. Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку под углом 30° (рис. 29). Выходящий из пластинки луч NP параллелен падающему. Какова толщина пластинки, если смещение луча при выходе из нее равно 4 см?

Дано:

$$\alpha = 30^\circ$$

$$n = 1,5$$

$$x = 4 \text{ см}$$

d — ?

Решение. Из рис. 29 видно, что $\angle OMK = \alpha$, $\angle NMK = \alpha - \gamma$. Толщину пластинки d находим из треугольника MON :

$$d = MN \cos \gamma, \quad (1)$$

а из треугольника NMK определим величину

$$MN = x / \sin(\alpha - \gamma). \quad (2)$$

Тогда

$$d = x \cos \gamma / \sin(\alpha - \gamma). \quad (3)$$

Угол преломления γ определим из выражения (4.25):

$$\sin \alpha / \sin \gamma = n, \quad (4)$$

Исключая из уравнений (3) и (4) угол γ и используя тригонометрические формулы

$$\cos \gamma = \sqrt{1 - \sin^2 \gamma}$$

и

$$\sin(\alpha - \gamma) = \sin \alpha \times$$

$$\times \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma,$$

после преобразований получим:

$$d = x / \sin \alpha [1 - \cos \alpha / \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}]; \quad d = 21 \text{ см.}$$

Задача 5-11. Луч света падает на призму, преломляющий угол которой 50° , а показатель преломления равен 1,74. Под каким углом луч выходит из призмы, если угол падения равен 60° . Найти угол отклонения луча призмой.

Дано:

$$\varphi = 50^\circ$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$n = 1,74$$

$$\gamma_1 = ?$$

$$\delta = ?$$

Решение. Ход луча в призме показан на рис. 21. Задачи данного типа удобнее решать не в общем виде, а производя промежуточные вычисления. Из четырехугольника $ABCD$ находим:

$$(180 - \delta) + (180 - \varphi) + \alpha + \gamma_1 = 360^\circ.$$

Отсюда угол отклонения

$$\delta = \alpha + \gamma_1 - \varphi. \quad (1)$$

Угол φ , как внешний угол треугольника ACD , равен

$$\varphi = \gamma + \alpha_1, \quad (2)$$

где γ — угол преломления в т. A , а α_1 — угол падения в точке C .

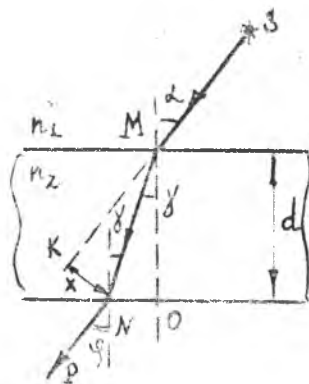


Рис. 29

По закону, преломления (4.25) запишем для точки A .
 $\sin \alpha / \sin \gamma = n$, для точки C : $\sin \alpha_1 / \sin \gamma_1 = 1/n$. (3)

Отсюда

$$\gamma = \arcsin(\sin \alpha / n); \quad \gamma \approx 30^\circ.$$

Из уравнения (2) найдем угол падения α_1 , на вторую грань призмы в точке C : $\alpha_1 = \varphi - \gamma \approx 20^\circ$.

Угол γ_1 , определим из уравнения (3):

$\gamma_1 = \arcsin(n \sin \alpha_1) = 37^\circ$, а δ из уравнения (1): $\delta = 47^\circ$.

Задача 5-12. Найти ход луча AB после преломления в собирающей линзе (рис. 30, а)

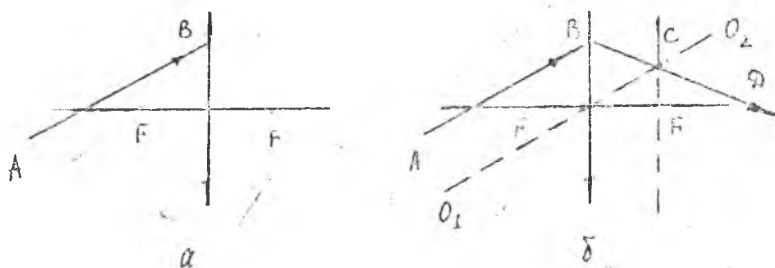


Рис. 30

Решение. Для определения хода луча AB проведем побочную оптическую ось O_1O_2 (рис. 30, б), параллельную лучу AB . Эта ось пересечет фокальную плоскость линзы в точке C . Через точку C должен пройти преломленный луч BD .

Задача 5-13. Известен ход луча SA после преломления его в рассеивающей линзе. Найти с помощью геометрического построения положение главных фокусов линзы (рис. 31, а).

Решение. Проведем побочную ось O_1O_2 , параллельную лучу SA (рис. 31, б). Продолжение преломленного луча AB пересечет эту ось в точке C , лежащей в фокальной плоскости. Точка пересечения фокальной плоскости с главной оптической осью есть главный фокус линзы.

Задача 5-14. Расстояние от предмета до линзы 0,4 м, а от изображения до линзы 0,3 м. Во сколько раз увеличится изображение, если предмет расположить на расстоянии 0,2 м от линзы?

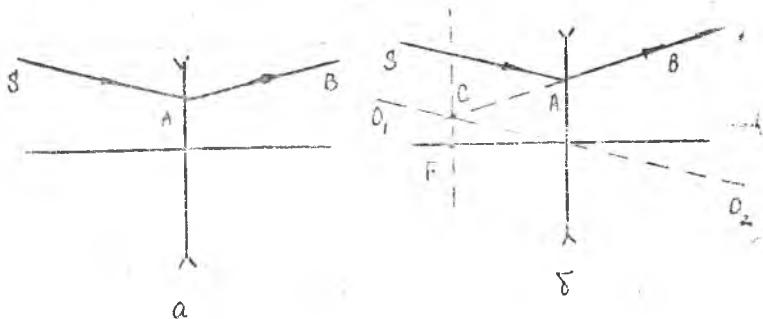


Рис. 31

Дано:

$$d_1 = 0,4 \text{ м}$$

$$f_1 = 0,3 \text{ м}$$

$$d_2 = 0,2 \text{ м}$$

$$\Gamma_2/\Gamma_1 - ?$$

Решение. По формуле (4.28) линейного увеличения линзы запишем:

$$\Gamma_1 = f_1/d_1 \quad (1)$$

и

$$\Gamma_2 = f_2/d_2,$$

откуда

$$f_2 = \Gamma_2 d_2. \quad (2)$$

По формуле тонкой линзы (4.27) можно записать:

$$1/F = 1/f_1 + 1/d_1 \quad (3)$$

и

$$1/F = 1/f_2 + 1/d_2. \quad (4)$$

Решая совместно уравнения (1) — (4), получим:

$$\Gamma_2/\Gamma_1 = d_1/f_1 d_2 (1/d_1 + 1/f_1 - 1/d_2) = 8.$$

Задача 5-15. Велосипедист движется со скоростью 10 м/с. Его фотографируют аппаратом с фокусным расстоянием объектива 10 см. Какова должна быть экспозиция, чтобы размытость изображения на снимке не превышала 0,1 мм? Расстояние от велосипедиста до фотоаппарата 10 м.

Дано:

$$d = 10 \text{ м}$$

$$v = 10 \text{ м/с}$$

$$H = 10^{-4} \text{ м}$$

$$F = 0,1 \text{ м}$$

$$\Delta t - ?$$

Решение. Отношение смещения изображения H на снимке к пути h , пройденному велосипедистом за время Δt , равно отношению расстояния f от изображения до объектива к расстоянию d от предмета до объектива (рис. 32):

$$H/h = f/d. \quad (1)$$

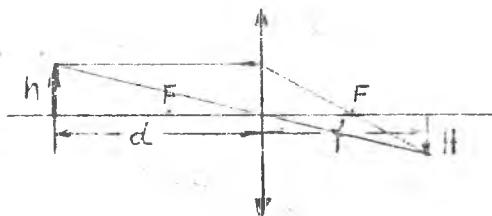


Рис. 32

Расстояние h , пройденное велосипедистом за время экспозиции равно:

$$h = v \Delta t. \quad (2)$$

Расстояние f определим из формулы (4.27), записанной для собирающей линзы, дающей действительное изображение:

$$1/F = 1/d + 1/f. \quad (3)$$

Решая совместно уравнения (1), (2), (3), получим

$$\Delta t = H(d - F)/Fv; \quad \Delta t = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Задача 5-16. Световые волны в некоторой жидкости имеют длину волны 500 нм и частоту $4,5 \cdot 10^{14}$ Гц. Определить абсолютный показатель преломления этой жидкости.

Дано:

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

$$\nu = 4,5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$n = ?$

Решение. Скорость распространения световой волны v в среде связана с абсолютным показателем преломления n этой среды соотношением (4.22):

$$v = c/n, \quad (1)$$

а с частотой электромагнитных колебаний ν соотношением (4.20)

$$v = \lambda \nu, \quad (2)$$

где c — скорость световой волны в вакууме; λ — длина волны в среде.

Решая совместно уравнения (1) и (2), получим

$$n = c/\lambda \nu; \quad n = 1,33.$$

Задача 5-17. Определить число штрихов на 1 см дифракционной решетки, если при нормальном падении света с длиной волны 600 нм решетка дает первый максимум на расстоянии 3,3 см от центрального. Расстояние от решетки до экрана 110 см,

Дано:

$$\lambda = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$k = 1$$

$$x = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$L = 1,1 \text{ м}$$

$N = ?$

Решение. Число штрихов на 1 см решетки связано с периодом решетки d следующим выражением

$$N = 1/d. \quad (1)$$

Период дифракционной решетки найдем из формулы (4.29):

$$d \sin \varphi = k \lambda, \quad (2)$$

где k — порядок максимума; φ — угол дифракции. Из рис. (33) видно, что для максимума 1-го порядка угол φ мал, т. к. $x \ll L$, тогда $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = x/L$. Следовательно, выражение (2) можно переписать:

$$dx/L = k\lambda. \quad (3)$$

Решая совместно уравнения (1) и (3) получим:

$$N = x/k\lambda L = 500 \text{ см}^{-1}.$$

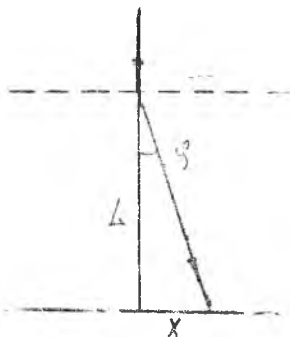


Рис. 33

Задача 5-18. Ракета движется относительно неподвижного наблюдателя со скоростью $v = 0,99 c$ (c — скорость света в вакууме). Какое время пройдет по часам неподвижного наблюдателя, если по часам, движущимся вместе с ракетой, прошел один год? Как изменятся линейные размеры тел в ракете (в направлении ее движения) для неподвижного наблюдателя?

Дано:

$$v = 0,99 c$$

$$\Delta t_0 = 1 \text{ год}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$\Delta t = ?$ $l/l_0 = ?$

Решение. Время Δt , прошедшее по часам неподвижного (земного) наблюдателя, найдем по формуле (4.31)

$$\Delta t = \Delta t_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}, \quad (1)$$

где Δt_0 — время, измеренное по часам, находящимся в ракете, (собственное время). Размеры тел (вдоль линии движения) для земного наблюдателя определим по формуле (4.30):

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2},$$

где l_0 — собственная длина тел в ракете.

Тогда

$$l/l_0 = \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (2)$$

Произведя подстановку, получим

$$\Delta t \approx 7,1 \text{ года}; \quad l/l_0 \approx 0,14.$$

Задача 5-19. Найти скорость элементарной частицы, при которой кинетическая энергия частицы равна ее энергии покоя.

Дано: $E_k = E_0$ Решение е. Кинетическая энергия релятивистской частицы согласно уравнению (4.36):

$$v - ? \quad E_k = mc^2 - m_0c^2. \quad (1)$$

$$\text{По условию задачи } E_k = E_0 = m_0c^2. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) получим:

$$m = 2m_0. \quad (3)$$

Релятивистская масса m частицы согласно формуле (4.33) равна

$$m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (4)$$

Из уравнений (3) и (4) получим.

$$v = c\sqrt{3/4} = 0,866c.$$

Задача 5-20. Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы увеличить скорость до $0,9c$?

Дано: $v = 0,9c$ Решение е. Электрическое поле, перемещая электрон, совершает работу $A = |e| \Delta U$. Эта работа идет на увеличение кинетической энергии электрона. Считая начальную скорость электрона равной нулю, запишем закон сохранения энергии, используя уравнение (4.36):

$$|e| \Delta U = E_k = m_0c^2[1/(1 - v^2/c^2) - 1],$$

откуда

$$\Delta U = E_k/|e| = 0,66 \text{ МВ.}$$

Задача 5-21. Найти работу выхода электрона из металла и максимальную скорость вырываемых электронов, если фотоэффект осуществляется под действием света с длиной волны $\lambda = 180 \text{ нм}$, а красная граница фотоэффекта $\lambda_{\text{max}} = 234 \text{ нм}$.

Дано: $\lambda = 180 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ Решение е. Из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта (4.41) можно определить работу выхода электрона из металла, т. е. при частоте падающего света $\nu = \nu_{\text{min}}$ энергия кванта расходуется только на работу выхода (4.42):

$$h\nu_{\text{min}} = A = hc/\lambda_{\text{max}} = 5,3 \text{ эВ.}$$

Запишем уравнение (4.41) в виде:

$$hc/\lambda = hc/\lambda_{\text{max}} + mv_{\text{max}}^2/2.$$

Отсюда найдем максимальную скорость вырываемых электронов:

$$v_{\max} = \sqrt{2hc(1/\lambda - 1/\lambda_{\max})/m}; \quad v_{\max} = 7,5 \cdot 10^5 \text{ м/с.}$$

Задача 5-22. Найти длину световой волны, вырывающей электроны с поверхности цинка, если электроны полностью задерживаются напряжением 1 В.

Дано: $U = 1 \text{ В}$
 $A = 6,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
 $\lambda = ?$

Решение. Электрон, вылетающий из металла, может быть полностью задержан электрическим полем, если сила этого поля совершит над ним работу, равную кинетической энергии вырванных электронов, т. е.

$$|e|U = mv^2/2.$$

Уравнение (4.41) можно записать в виде

$$h\nu = A + |e|U. \quad (1)$$

Длина световой волны λ и частота ν связаны соотношением

$$\nu = c/\lambda. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) получим

$$\lambda = hc/(A + |e|U) = 243 \text{ нм.}$$

4.3. ЗАДАНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 5

Задание 5-1

1. Свободные электромагнитные колебания в контуре. Собственная частота колебаний. Вынужденные электрические колебания. Переменный электрический ток.

2. В колебательном контуре с индуктивностью 0,40 Гн и емкостью $2,0 \cdot 10^{-5}$ Ф амплитудное значение тока 100 мА. Каким будет напряжение на конденсаторе в тот момент, когда энергии электрического и магнитного полей будут равны? Колебания считать незатухающими. Каково амплитудное значение напряжения?

Ответ: $1,8 \cdot 10^{-2}$ с; 10,0 В; 14 В.

3. Проволочная рамка площадью 400 см² равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $2 \cdot 10^{-2}$ Тл вокруг оси, перпендикулярной направлению поля. Период вращения рамки — 0,05 с. Рамка содержит 500 витков. Найти зависимость ЭДС индукции, возникающей в рамке, от времени. Определить максимальное и действующее значения ЭДС.

Ответ: ≈ 50 В; ≈ 36 В.

4. Могут ли в контуре, состоящем из конденсатора и активного сопротивления, возникать свободные колебания?

5. В колебательном контуре изменили начальную величину заряда на конденсаторе. Какие характеристики возникающих в контуре электрических колебаний могут от этого измениться? Какие останутся неизменными?

Задание 5-2

1. Активное, индуктивное и емкостное сопротивления в цепи переменного тока. Трансформатор.

2. Соленоид с железным сердечником, имеющий индуктивность 2 Гн и активное сопротивление обмотки 10 Ом , включен сначала в сеть постоянного тока с напряжением 20 В , а затем в сеть переменного тока с действующим значением напряжения 20 В и частотой 400 Гц . Определить ток, текущий через соленоид в первом и втором случае.

Ответ: 2 А ; $4,0 \cdot 10^{-3} \text{ А}$.

3. Первичная обмотка трансформатора, включенного в цепь переменного тока с напряжением 220 В имеет 1500 витков. Определить число витков во вторичной обмотке, если она должна питать цепь с напряжением $6,3 \text{ В}$ при токе $0,50 \text{ А}$. Нагрузка активная. Сопротивление вторичной обмотки — $0,20 \text{ Ом}$. Сопротивлением первичной обмотки пренебречь. Каков КПД трансформатора?

Ответ: 44 ; $0,98$.

4. Прямой проводник намотан на железный стержень. Изменилось ли его сопротивление постоянному току? Переменному току?

5. Изменится ли соотношение между напряжениями на зажимах первичной и вторичной обмоток трансформатора, если железный сердечник трансформатора заменить медным? Алюминиевым?

Задание 5-3

1. Закон прямолинейного распространения света. Закон отражения и преломления света.

2. На какой высоте находится лампа над горизонтальной поверхностью стола, если тень от вертикально поставленного на стол карандаша длиной 15 см оказалась равной 10 см ? Расстояние от основания карандаша до основания перпендикуляра, опущенного из центра лампы на поверхность стола, равно 90 см .

Ответ: $1,5 \text{ м}$.

3. Найти показатель преломления второй среды относительно первой, если при угле падения 53° преломленный луч перпендикулярен отраженному.

Ответ: 1,33.

4. При каком положении плоского зеркала шар, катящийся прямолинейно по горизонтальной поверхности стола, будет казаться в зеркале поднимающимся вертикально вверх?

5. Почему трудно попасть из ружья в рыбу, плавающую под водой?

Задание 5-4

1. Полное отражение. Ход лучей в плоскопараллельной пластинке и треугольной призме.

2. Построить ход луча сквозь треугольную призму, преломляющий угол которой 80° , а показатель преломления 1,73. Угол падения луча при входе в призму 60° .

3. На расстоянии 1,5 м от поверхности воды в воздухе находится точечный источник света. На каком расстоянии от поверхности воды получится изображение этого источника для наблюдателя, находящегося в воде.

Ответ: 2 м.

4. Предметы, наблюдаемые через оконное стекло, иногда кажутся искривленными. Почему?

5. Шарик густо покрыт сажей и опущен в воду. Почему при освещении шарик кажется блестящим?

Задание 5-5

1. Линзы. Фокусное расстояние и оптическая сила линзы. Вывод формулы тонкой линзы.

2. Перпендикулярно главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием 10 см на расстоянии 5 см от фокуса расположен предмет высотой 2 см. Определить высоту изображения. Рассмотреть два случая: а) предмет расположен за фокусом линзы; б) предмет расположен между фокусом и линзой. Построить изображения.

Ответ: 4 см.

3. Изображение светящейся точки в рассеивающей линзе расположено в два раза ближе к линзе, чем сама точка. Найти положение светящейся точки, если известно, что она лежит на главной оптической оси линзы. Оптическая сила линзы равна $-5,0$ дптр. Построить изображение.

Ответ: 0,2 м.

4. Может ли двояковыпуклая линза рассеивать падающие на нее параллельные лучи?

5. На собирающую линзу падает пучок параллельных лучей. Как надо поместить за собирающей линзой рассеивающую, чтобы из нее вышел снова пучок параллельных лучей?

Задание 5-6

1. Интерференция света. Дифракция света. Дифракционная решетка.

2. Как изменится длина волны фиолетовых лучей с частотой колебаний $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц при переходе из воды в вакуум, если скорость их распространения в воде $2,23 \cdot 10^5$ км/с.

Ответ: увеличится на 0,1 мкм.

3. Дифракционная решетка содержит 120 штрихов на 1 мм. Найти длину волны монохроматического света, нормально падающего на решетку, если угол между двумя главными максимумами первого порядка равен 8° .

Ответ: 580 нм.

4. Вода освещена красным светом. Какой свет видит человек, открывший глаза под водой?

5. Если, прищурив глаза, смотреть на нить лампочки накаливания, то нить окажется окаймленной светлыми бликами. Почему?

Задание 5-7

1. Принцип относительности Эйнштейна. Связь между массой и энергией. Полная энергия, энергия покоя и кинетическая энергия частицы в релятивистской механике.

2. Во сколько раз увеличится масса электрона при прохождении им разности потенциалов $\Delta\varphi = 1$ МВ? Заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса покоя $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Ответ: $m/m_0 = 1 + (e \Delta\varphi/m_0 c^2) \approx 3$.

3. Найти скорость частицы, если ее кинетическая энергия составляет половину энергии покоя.

Ответ: $2,22 \cdot 10^8$ м/с.

4. Скорость движущейся частицы приближается к скорости света. Что происходит с массой частицы?

5. Космическая ракета № 1 движется относительно Земли со скоростью, близкой к скорости света c . С нее стартует ракета № 2 и приобретает скорость, близкую к c относительно ракеты № 1. Чему равна скорость ракеты № 2 относительно Земли?

Задание 5-8

1. Внешний фотоэффект. Законы фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта,

2. Определить длину волны лучей, кванты которых имеют такую же энергию, как электрон, ускоренный разностью потенциалов 4 В.

Ответ: 310 нм.

3. Какой длины волны свет следует направить на поверхность металла, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была равна $2,6 \cdot 10^6$ м/с? Красная граница фотоэффекта для этого металла равна $3,5 \cdot 10^{-7}$ м.

Ответ: $8,3 \cdot 10^{-8}$ м.

4. Металлическая пластина под действием рентгеновского излучения зарядилась. Каков знак заряда? Объяснить явление.

5. Почему проявление фотографических снимков производится при красном освещении?

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. ПРИМЕР ОТВЕТА НА ЗАДАНИЕ

Задание №

Теоретические вопросы

1. Равномерное движение по окружности. Ускорение при равномерном движении тела по окружности (центростремительное ускорение).

2. Электрический ток.

3. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.

4. Дайте определение единицы измерения количества вещества.

Задачи

5. Найти изменение объема пузырька воздуха при всплывании его со дна озера глубиной $h = 20$ м к поверхности воды. Температура воды постоянна, атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

6. На дифракционную решетку нормально падает свет с длиной волны $0,45$ мкм. Период дифракционной решетки равен 2 мкм. Чему равен наибольший порядок спектра, который можно наблюдать с помощью этой дифракционной решетки?

7. Как изменится период колебаний математического маятника, если его точку подвеса двигать вертикально вниз с ускорением a ?

8. Постройте изображение предмета AB в рассеивающей линзе. Какое будет изображение?

Теоретические вопросы

1. Движение материальной точки по окружности, при котором эта точка за любые равные между собой промежутки времени проходит равные дуги, называется равномерным движе-

нием по окружности. Равномерно двигаться по окружности могут, например, точки колеса, наждачного камня и т. п.

При перемещении материальной точки по окружности из положения A в положение B (рис. 34) радиус R , соединяющий движущуюся точку с центром окружности, поворачивается на угол $\Delta\varphi$. Угол поворота $\Delta\varphi$ измеряется в радианах.

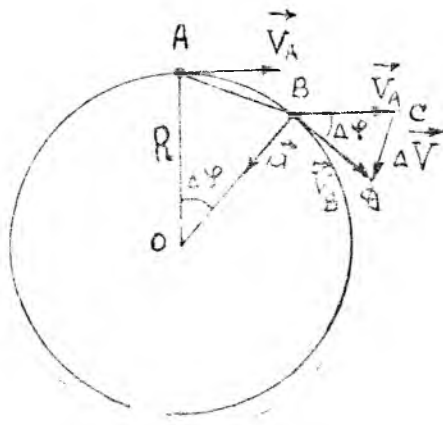


Рис. 34

Угловой скоростью ω равномерного движения по окружности называется отношение угла поворота $\Delta\varphi$ к промежутку времени перемещения Δt :

$$\omega = \Delta\varphi / \Delta t.$$

Угловая скорость измеряется в рад/с. Промежуток времени T , в течение которого точка, двигаясь по окружности, совершает один полный оборот, называется периодом обращения. Период измеряется в секундах. Величина ν , обратная периоду, называется частотой обращения $\nu = 1/T$. Частота обращения показывает, сколько оборотов совершает точка в единицу времени, и измеряется в с^{-1} . Скорость, с которой точка движется по окружности, называется линейной скоростью. За один оборот точка проходит путь, равный длине окружности $2\pi R$, а время одного оборота равно периоду обращения T . Отсюда линейная скорость

$$v = 2\pi R/T = 2\pi R\nu. \quad (1)$$

Так как за один оборот угол поворота $\Delta\varphi = 2\pi$ рад, то угловая скорость

$$\omega = 2\pi/T = 2\pi\nu. \quad (2)$$

Сравнивая формулы (1) и (2), получим связь между линейной и угловой скоростями $v = \omega R$.

Линейная скорость — величина векторная, вектор \vec{v} направлен по касательной к окружности.

При равномерном движении по окружности модуль вектора линейной скорости остается постоянным, а меняется только направление вектора скорости \vec{v} . Найдем ускорение точки движущейся равномерно по окружности. Пусть за промежуток времени Δt точка проходит путь $\Delta S = v \Delta t$, равный длине дуги окружности $\overset{\frown}{AB}$. Найдем изменение векторов скоростей \vec{v}_A и \vec{v}_B , $\Delta \vec{v} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$.

По определению ускорение

$$\vec{a} = \Delta \vec{v} / \Delta t. \quad (3)$$

Из подобия равнобедренных треугольников AOB и BCD следует, что

$$OA/AB = BC/CD. \quad (4)$$

Если промежуток времени Δt мал, то мал и угол поворота $\Delta \varphi$. При малых значениях $\Delta \varphi$ длина хорды AB примерно равна длине дуги $\overset{\frown}{AB}$, т. е. $|AB| \approx v \Delta t$. Так как $|CD| = \Delta v$, то из отношения (4) получим

$$R/v \cdot \Delta t \approx v/\Delta v \text{ или } \Delta v = v^2 \Delta t/R. \quad (5)$$

Используя выражения (3) и (5), найдем модуль ускорения $a = v^2/R$.

Из рис. 34 видно, что чем меньше угол поворота $\Delta \varphi$, тем ближе направление вектора $\Delta \vec{v}$ к направлению на центр окружности. Так как вектор \vec{a} определяется при условии, что промежуток времени Δt мал, то вектор ускорения \vec{a} направлен к центру окружности. Это и есть центростремительное ускорение.

2. Упорядоченное движение электрических зарядов называется электрическим током. Электрические заряды бывают положительные и отрицательные. Движение положительных зарядов принято за направление электрического тока (ток течет от плюса к минусу).

3. Закон сохранения электрического заряда гласит: в замкнутой системе алгебраическая сумма электрических зарядов остается неизменной.

4. Единицей измерения количества вещества является моль. Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же частиц, сколько содержится атомов в 0,012 кг углерода.

Решение задач

5. Дано:

$$\begin{aligned} h &= 20 \text{ м} \\ \rho &= 10^3 \text{ кг/м}^3 \\ p_0 &= 10^5 \text{ Па} \\ T &= \text{const} \end{aligned}$$

$$V_2/V_1 = ?$$

Решение. Объем пузырька воздуха при всплывании будет изменяться из-за уменьшения давления. Так как температура воды у дна и на поверхности озера одинакова, то изменение объема будет происходить в результате его изотермического расширения. По закону Бойля-Мариотта $p_1 V_1 = p_2 V_2$ или

$$V_2/V_1 = p_1/p_2.$$

Давление у поверхности воды $p_2 = p_0$. На глубине h давление $p_1 = p_0 + \rho gh$; отсюда

$$V_2/V_1 = (p_0 + \rho gh)/p_0 = 3.$$

$$\left[\frac{V_2}{V_1} \right] = \left[\frac{H}{\text{м}^2} + \frac{\text{кг м} \cdot \text{м}}{\text{м}^3 \text{с}^2} \right] / \left[\frac{H}{\text{м}^2} \right] = \left[\frac{\text{кг м}}{\text{с}^2} \right] / \left[\frac{\text{кг м}}{\text{с}^2} \right].$$

Ответ: $V_2/V_1 = 3$.

6. Дано:

$$\begin{aligned} \lambda &= 0,45 \cdot 10^{-6} \text{ м} \\ d &= 2 \cdot 10^{-6} \text{ м} \end{aligned}$$

$$\kappa_{\text{max}} = ?$$

Решение. При решении воспользуемся формулой дифракционной решетки $d \sin \varphi = \kappa \lambda$,

где φ — угол отклонения луча (угол дифракции), $\kappa = 1, 2, 3, \dots$ — порядок дифракционного спектра.

Из предыдущего уравнения имеем

$$\kappa = d \sin \varphi / \lambda.$$

При заданных значениях d и λ порядок спектра κ определяется величиной $\sin \varphi$ и будет иметь максимальное значение, когда $\sin \varphi = 1$, т. е. $\kappa_{\text{max}} = d/\lambda$.

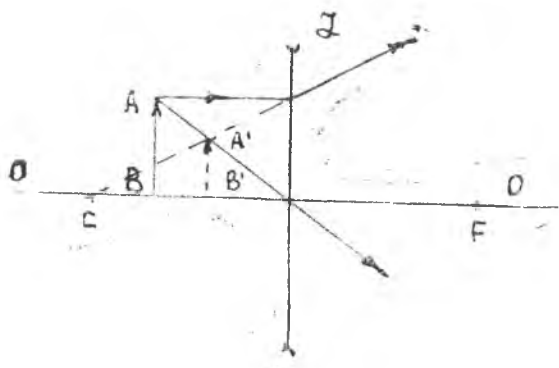
$$\kappa_{\text{max}} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{0,45 \cdot 10^{-6} \text{ м}} = 4,4.$$

Ответ: $\kappa_{\text{max}} = 4$.

7. Период колебаний математического маятника увеличится, т. к. при движении точки подвеса маятника вниз с ускорением

\bar{a} период колебаний определяется формулой $T = 2\pi \sqrt{l/(g-a)}$, которая имеет смысл при $g > a$.

8. Изображение $A'B'$ (рис. 35) будет прямым, мнимым, уменьшенным.



Р и с. 35

II. Варианты письменных экзаменационных заданий по физике в СГАУ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

ЭКЗАМЕНАЦИОННОЕ ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ

ВСТУПИТЕЛЬНЫЕ ЭКЗАМЕНЫ

ВАРИАНТ № 1

Задание №	1.	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Оценка, балл /	15	2	2	2	15	8	3	3	50

Теоретические вопросы:

1. Механическое движение. Материальная точка, система отсчета, траектория, путь, перемещение, скорость. Равномерное прямолинейное движение. Сложение перемещений и скоростей.
2. Магнитная проницаемость.
3. Сформулируйте квантовые постулаты Н. Бора.
4. Дайте определение единицы измерения давления.

Задачи:

5. Расплавленный свинец массой $M = 2$ кг при температуре плавления влили в сосуд, в котором находилось $m = 500$ г льда при температуре $t = -10^\circ\text{C}$. Какая температура установится в сосуде, если его теплоемкость $C = 850$ Дж/К?
6. Столб вбит в дно реки так, что часть его высотой h возвышается над водой. Длина тени на дне реки $l = 3,9$ м, глубина реки $H = 3$ м. Найти h , если высота Солнца над горизонтом $\alpha = 40^\circ$.
7. Как изменится период колебаний в колебательном контуре, если пластины конденсатора, включенного в контур, сблизить между собой?
8. Постройте изображение точки, находящейся на оптической оси собирающей линзы. Какое будет изображение?

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

ЭКЗАМЕНАЦИОННОЕ ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ

ВСТУПИТЕЛЬНЫЕ ЭКЗАМЕНЫ

ВАРИАНТ № 2

Задание №	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Оценка, балл	15	2	2	2	15	8	3	3	50

Теоретические вопросы:

1. Равномерное движение по окружности. Линейная скорость. Угловая скорость. Связь между линейной и угловой скоростями. Вывод формулы центростремительного ускорения.
2. Свойства электромагнитных волн.
3. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.
4. Дайте определение единицы измерения количества вещества.

Задачи:

5. Луч света падает на трехгранную стеклянную призму под углом $\alpha = 36^\circ$. Преломляющий угол призмы $\varphi = 40^\circ$. На какой угол луч отклоняется от первоначального направления?
6. Определить количество тепла, выделяющегося каждую секунду в единице объема медного провода при плотности тока $j = 30 \text{ А/см}^2$.
7. Заряд проводника увеличили в n раз. Как изменится емкость проводника?
8. Постройте изображение предмета в рассеивающей линзе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рымкевич А. П., Рымкевич П. А. Сборник задач по физике. М.: Просвещение, 1984. 192 с.
2. Тульчинский М. Е. Качественные задачи по физике. М.: Просвещение, 1972. 240 с.
3. Демкович В. П., Демкович Л. П. Сборник задач по физике. М.: Просвещение, 1981. 206 с.
4. Рогачев Н. М. Задачи по физике для поступающих в вуз. Самара: Авиатор, 1993. 52 с.
5. Рогачев Н. М. Типовые задания для подготовки к вступительному экзамену по физике. Самара: СГАУ, 1994. 44 с.
6. Пособие по физике для поступающих в СГАУ. Части 1 и 2 /Андреева С. И., Карханина Г. И., Рогачев Н. М., Федосов А. И., Федосова Л. И. Самара: СГАУ, 1995. 250 с.
7. Карханина Г. И., Крюкова Л. А. Электричество. оптика, атомная физика: Методические указания. Куйбышев: КуАИ, 1990. 24 с.
8. Власова К. Н., Карханина Г. И., Крюкова Л. А. Практические задания по теме «Постоянный ток», Куйбышев: КуАИ, 1986. 36 с.
9. Власова К. Н., Карханина Г. И., Орлова Н. В. Геометрическая и волновая оптика (практические задания). Самара: Самар. авиац. ин-т., 1992. 40 с.

СОДЕРЖАНИЕ

3. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ	3
Контрольная работа № 4	3
3.1. Основные понятия и законы	3
3.2. Примеры решения задач	13
3.3. Задания контрольной работы № 4	23
4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ	
Оптика. Элементы теории относительности	
Квантовая физика	
Контрольная работа № 5	27
4.1. Основные понятия и законы	27
4.2. Примеры решения задач	41
4.3. Задания контрольной работы № 5	53
Приложение	58
I. Пример ответа на задание	58
II. Варианты письменных экзаменационных заданий по физике в СГАУ	63
Список использованной литературы	65

Карханина Галина Ивановна
Рогачев Николай Михайлович

**ЗАДАНИЯ ПО ФИЗИКЕ
ДЛЯ СЛУШАТЕЛЕЙ ЗАОЧНЫХ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ
КУРСОВ СГАУ**

Основы электродинамики. Электромагнитные колебания и волны. Оптика. Элементы теории относительности.
Квантовая физика

Редактор М. И. Логунова
Техн. редактор Н. М. Калеснюк
Корректоры: Т. П. Щелокова, В. П. Ардакова

Сдано в набор 29.06.95. Подписано в печать 1.02.96.
Фарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. п. л. 3,96. Усл. кр.-отг. 4,08. Уч.-изд. л. 42.
Тираж 1000 экз. Заказ 357.
Самарский государственный аэрокосмический
университет им. академика С. П. Королева
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443001. Самара, ул. Ульяповская, 18.