МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КЕМЕРОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кафедра физики

ФИЗИКА

Методические указания и контрольные задания по физике
для студентов заочного отделения всех специальностей.

Магнетизм. Оптика

. ЧАСТЬ 2

Составили:
к.т.н., доцент
Н.М. Волкова.,
доцент
Г.Я. Кирсанов.,
к.т.н., доцент
З.Н. Есина.,
ст.преподаватель
О.Т. Сташкова.,
ст.преподаватель
Л.С. Каминская

Рассмотрено на заседании метод.
семинара кафедры физики
протокол №3 от 20 апреля 2001г.
Утверждено методическим советом
факультета, протокол №26
от 5 декабря 2002 г.

КЕМЕРОВО 2003

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Учебный материал указаний включает в себя такие разделы физики, как электромагнетизм, оптика, атомная физика, ядерная физика. Весь материал разбит на три основных раздела, в каждом из которых даны основные формулы, примеры решения задач и задачи для самостоятельного решения (контрольные задания). Здесь же приведены некоторые справочные таблицы. В контрольных заданиях учтены особенности специализации студентов КЕМЕРОВСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.

Методические указания предназначены для выполнения контрольных работ №4,5,6, предусмотренных учебным планом.

Контрольная работа №4 выполняется по разделу №1 "Электромагнетизм", работа №5 по разделу "Оптика".

Номера задач для решения выбираются по последней цифре шифра зачётной книжки студента. Например, если шифр зачетной книжки 2567, нужно решать все задачи, номер которых оканчивается на 7. В контрольной работе №4 это будут задачи 407, 417, 427, 437, 447, 457, в контрольной работе №5 задачи 507, 517, 527, 537, 547, 557.

При оформлении контрольных работ необходимо:

- записать в тетради полностью условие задачи;
- указать по какому методическому пособию работали;
- сделать в конце решения проверку размерности физических величин.

Контрольные работы высылать не позднее, чем за месяц до сессии.

РАЗДЕЛ 1. ЭЛЕКТРОМАГНИТИЗМ.

Основные формулы.

1. Связь магнитной индукции $\vec{B}$ с напряженностью $\vec{H}$ магнитного поля:

$$\vec{B} = \mu\mu_o\vec{H}$$

где μ - магнитная проницаемость изотропной среды;

μ_o - магнитная постоянная ($\mu_o = 4\cdot 10^{-7}$ $Гн/м$). В вакууме $\mu = 1$ и тогда магнитная индукция в вакууме

$$\vec{B} = \mu_o\vec{H}.$$

2. Закон Био – Савара – Лапласа:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\left[d\vec{l}\,\vec{r}\right]\frac{I}{r}, \text{ или } dB = \frac{\mu\mu_o I\sin\alpha}{4\pi r^2}dl,$$

где dB - магнитная индукция поля, создаваемого элементом проводника длиной dl с током I; $\vec{r}$ - радиус-вектор, направленный от элемента проводника к точке, в которой магнитная индукция вычисляется; α - угол между радиусом – вектором и направлением тока в элементе проводника.

3. Магнитная индукция в центре кругового тока:

$$B = \frac{\mu\mu_o I}{2R}$$

где R - радиус кругового витка.

4. Магнитная индукция на оси кругового тока:

$$B = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\cdot\frac{2\pi R^2 I}{\left(R^2+h^2\right)^{3/2}}$$

где h – расстояние от центра витка до точки, в которой вычисляется магнитная индукция.

5. Магнитная индукция поля прямого тока:

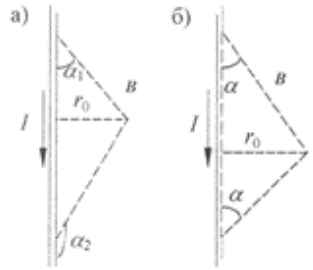
$$B = \frac{\mu\mu_o I}{2\pi r_o}$$

где r_o - расстояние от оси проводника до точки, в которой вычисляется магнитная индукция.

6. Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком провода с током (рис. а):

$$B = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\frac{I}{r_0}\left(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2\right)$$

Обозначения ясны из рисунка. Направление вектора магнитной индукции $\vec{B}$ обозначено точкой – это значит, что $\vec{B}$ направлен перпендикулярно плоскости чертежа к нам.



При симметричном расположении провода относительно точки, в которой определяется магнитная индукция (рис. б) $\cos\alpha_2 = \cos\alpha_1 = \cos\alpha$, тогда

$$B = \frac{\mu\mu_0}{2\pi}\frac{I}{r_0}\cos\alpha$$

7. Магнитная индукция поля соленоида:

$$B = \mu\mu_0 nI,$$

где n – число витков соленоида, приходящееся на единицу длины.

8. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле, закон Ампера:

$$\vec{F} = I\left[\vec{l}\,\vec{B}\right], \text{ или } F = I\cdot B\cdot l\cdot\sin\alpha,$$

где l - длина проводника;

α - угол между направлением тока в проводнике и вектором магнитной индукции $\vec{B}$. Это выражение справедливо для однородного магнитного поля и прямого отрезка проводника. Если поле неоднородно и проводник не является прямым, то закон Ампера можно применять к каждому элементу проводника в отдельности:

$$d\vec{F} = I\left[d\vec{l}\,\vec{B}\right].$$

9. Сила взаимодействия параллельных проводников с током:

$$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}l,$$

где d - расстояние между проводами.

10. Магнитный момент ~~вектора~~ контура с током:

$$\vec{P}_m = I\cdot\vec{S}$$

где I - сила тока, протекающего по контуру, S - площадь контура, вектор $\vec{S}$ численно равен площади S контура и совпадает по направлению с вектором нормали к плоскости контура.

11. Механический (вращательный) момент, действующий на контур с током, помещенный в однородное магнитное поле:

$$\vec{M} = \left[\vec{P}_m\vec{B}\right], \text{ или } M = P\cdot B\cdot\sin\alpha,$$

где α - угол между векторами $\vec{P}_m$ и $\vec{B}$.

12. Потенциальная энергия контура с током в магнитном поле:

$$\Pi = -\vec{P}_m\vec{B}, \text{ или } \Pi = -P_m B\cos\alpha$$

За нулевое значение потенциальной энергии контура с током в магнитном поле принято расположение контура, когда вектор $\vec{P}_m$ перпендикулярен вектору $\vec{B}$.

13. Отношение магнитного момента P_m к механическому L(моменту импульса) заряженной частицы, движущейся по круговой орбите:

$$\frac{P_m}{L} = \frac{1}{2}\frac{Q}{m}$$

где Q - заряд частицы, m - масса частицы.

14. Сила Лоренца (если частица находится одновременно в электрическом и магнитном полях, то под силой Лоренца понимают выражение $\vec{F} = Q\vec{E} + Q\left[\vec{V}\cdot\vec{B}\right]$:

$$F = Q\left[\vec{V}\cdot\vec{B}\right] \text{ или } F = Q\cdot V\cdot B\cdot \sin\alpha,$$

где $\vec{V}$ - скорость заряженной частицы, α - угол между векторами $\vec{V}$ и $\vec{B}$.

15. Магнитный поток:

а) в случае однородного магнитного поля и плоской поверхности $\Phi = B\cdot S\cdot\cos\alpha$, или $\Phi = B_n\cdot S$

где S - площадь контура; α - угол между нормалью к плоскости контура и вектором магнитной индукции;

б) в случае неоднородного поля и произвольной поверхности

$$\Phi = \int_S B_n dS,$$

интегрирование ведется по всей поверхности.

16. Потокосцепление (полный поток):

$$\Psi = NF$$

Эта формула для соленоида и тороида с равномерной намоткой плотно прилегающих друг к другу N витков.

17. Работа по перемещению замкнутого контура в магнитном поле:

$$A = I\Delta\Phi$$

18. Э.Д.С. индукции:

$$\mathrm{E}_i = -\frac{d\Psi}{-dt}$$

19. Разность потенциалов на концах проводника, движущегося со скоростью $\vec{V}$ в магнитном поле:

$$U = B\cdot l\cdot V\cdot \sin\alpha$$

где l - длина проводника; α - угол между векторами $\vec{V}$ и $\vec{B}$.

20. Заряд, протекающий по замкнутому контуру при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур:

$$Q = \frac{\Delta\Phi}{r}, \text{ или } Q = \frac{N\Delta\Phi}{r} = \frac{\Delta\Psi}{r}$$

где r - сопротивление контура.

21. Индуктивность контура:

$$L = \frac{\Psi}{I}$$

22. Э.Д.С. самоиндукции:

$$\mathrm{E}_s = -L\frac{dI}{dt}.$$

23. Индуктивность соленоида:

$$L = \mu\mu_0 n^2 V,$$

где n - число витков, приходящееся на единицу длины соленоида;

V - объём соленоида.

24. Мгновенное значение силы тока в цепи, обладающей сопротивлением r и индуктивностью L:

а) при замыкании цепи:

$$I = \frac{\mathrm{E}}{r}\left(1 - e^{-\frac{r}{L}t}\right),$$

где E - Э.Д.С. источника тока; t - время, прошедшее после замыкания цепи;

б) при размыкании цепи:

$$I = I_0 e^{-\frac{r}{L}t}$$

где I_0 - значение силы тока цепи при $t = 0$; t - время, прошедшее с момента размыкания цепи.

. Энергия магнитного поля:

$$W = \frac{LI^2}{2}$$

26. Объёмная плотность энергии магнитного поля (энергия, заключенная в единице объёма):

$$\omega = \frac{1}{2}BH, \text{ или } \omega = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu\mu_0}; \text{ или } \omega = \frac{1}{2}\mu\mu_0 H^2$$

где B - магнитная индукция; H - напряженность магнитного поля.

Примеры решения задач

П р и м е р 1. По длинному прямому тонкому проводу течет ток силой $I = 20A$. Определить магнитную индукцию $\vec{B}$ поля, создаваемого проводником в точке, удаленной от него на расстояние $r = 4см$.

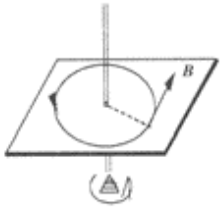
Р е ш е н и е. Магнитное поле, создаваемое прямым бесконечно длинным проводником ничтожно малого сечения, что абсолютная величина B магнитной индукции в данной точке будет зависеть от её расстояния до проводника.

Поэтому все точки на окружности радиуса r (рис. 1), лежащей в плоскости, перпендикулярной проводнику, будут иметь одинаковое значение магнитной индукции:

$$B = \mu_0 \frac{1}{2\pi r} \quad (1)$$

где μ_0 - магнитная постоянная.

Рис.1



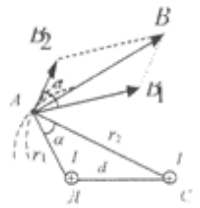
Направление вектора $\vec{B}$ зависит от положения точки на окружности и направления тока в проводнике. Этот вектор направлен по касательной к проведенной нами окружности (это следует из закона Био-Савара-Лапласа, записанного в векторной форме). Линия, касательная к которой в каждой точке совпадает с направлением вектора магнитной индукции, называется магнитной силовой линией. Окружность на рис.1 удовлетворяет этому условию, а следовательно, является магнитной силовой линией. Направление магнитной силовой линии, а значит, и вектора $\vec{B}$ определено по правилу правого винта.

В формулу (1) подставим числовые значения величин и произведем вычисления:

$$B = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{20}{2\pi \cdot 4 \cdot 10^{-2}} Тл = 10^{-4} Тл = 0{,}1 мТл$$

П р и м е р 2. Два параллельных бесконечно длинных провода D И C, по которым текут в одном направлении электрические токи силой $I = 60A$, расположены на расстоянии $d = 10см$ друг от друга. Определить магнитную индукцию $\vec{B}$ поля, создаваемого проводниками с током в точке A (рис.2) отстоящей от оси одного проводника на расстоянии $r_1 = 5см$, от другого - $r_2 = 12см$.

Рис.2



Р е ш е н и е: Для нахождения магнитной индукции $\vec{B}$ в точке А воспользуемся принципом суперпозиции магнитных полей. Для этого определим направления магнитной индукции $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ полей, создаваемых каждым проводником с током в отдельности, и сложим их геометрически:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$$

Абсолютное значение магнитной индукции может быть найдено по теореме косинусов:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2 \cos\alpha} \qquad (1)$$

где α - угол между векторами $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$. Значения магнитных индукций [1] B_1 и B_2 выражаются соответственно через силу тока I и расстояния r_1 и r_2 от проводов до точки A:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1}; \quad B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2}.$$

Подставляя выражения B_1 и B_2 в формулу (1) и вынося $\frac{\mu_0 I}{2\pi}$ за знак корня, получим:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} + \frac{2}{r_1 r_2} \cos\alpha}. \quad (2)$$

Вычислим $\cos\alpha$. Заметив, что $\alpha = \angle ДАС$ (как углы с соответственно перпендикулярными сторонами), по теореме косинусов запишем:

$$d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos\alpha$$

где d - расстояние между проводами. Отсюда:

$$\cos\alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2 2}{2r_1 r_2}$$

После подстановки числовых значений получим:

$$\cos\alpha = \frac{5^2 + 12^2 - 10^2}{2 \cdot 5 \cdot 12} = \frac{23}{40}.$$

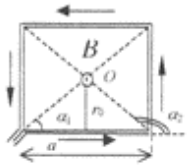
Подставляя в формулу (2) значения входящих величин, определяем искомую индукцию:

$$B = \frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-7} \cdot 60}{2 \cdot 3{,}14} \sqrt{\frac{1}{(0{,}05)^2} + \frac{1}{(0{,}12)^2} + \frac{2}{0{,}05 \cdot 0{,}12} \cdot \frac{23}{40}} Тл =$$

$$= 3{,}08 \cdot 10^{-4} Тл = 308 мкТл$$

П р и м е р 3. По проводу, согнутому в виде квадрата со стороной $a = 10см$, течет ток силой $I = 100A$. Найти магнитную индукцию $\vec{B}$ в точке O пересечения диагоналей квадрата.

Рис.3



Р е ш е н и е. Расположим квадратный виток в плоскости чертежа (рис.3). Согласно принципу суперпозиции магнитных полей, магнитная индукция $\vec{B}$ поля квадратного витка будет равна геометрической сумме магнитных индукций полей, создаваемых каждой стороной квадрата в отдельности:

[1] Здесь и далее, если не указана среда, имеется в виду, что проводник находится в вакууме и, следовательно, $\mu = 1$.

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4 \quad (1)$$

В точке O пересечения диагоналей квадрата все векторы индукции будут направлены перпендикулярно плоскости витка « к нам «. Кроме того из соображений симметрии следует, что абсолютные значения этих векторов одинаковы: $B_1 + B_2 = B_3 = B_4$.Это позволяет векторное равенство (1) заменить скалярным равенством:

$B = 4B_1$ (2)

Магнитная индукция B_1 поля, создаваемого отрезком прямолинейного провода с током, выражается формулой:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2) \qquad (3)$$

Учитывая, что $\alpha_2 = \pi - \alpha_1$ и $\cos\alpha_2 = -\cos\alpha_1$,

Формулу (3) можно переписать в виде:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_0}\cos\alpha_1.$$

Подставив это выражение B_1 в формулу (2), найдем:

$$B = \frac{2\mu_0 I}{\pi r_0}\cos\alpha_1.$$

Заметив, что $r_0 = \frac{a}{2}$ и $\cos\alpha_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}$ (так как $\alpha_1 = \frac{\pi}{4}$), получим:

$$B = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 I}{\pi a}.$$

Подставим в эту формулу числовые значения физических величин и произведем вычисления:

$$B = \frac{2\sqrt{2}\cdot 4\pi\cdot 10^{-7}\cdot 10^2}{\pi\cdot 0{,}1}\,Тл = 1{,}13\cdot 10^{-3}\,Тл = 1{,}13\,мТл.$$

П р и м е р 4. Плоский квадратный контур со стороной $a = 10см$, по которому течет ток силой $I = 100A$, свободно установился в однородном магнитном поле ($B = 1Тл$). Определить работу A, совершаемую внешними силами при повороте контура относительно оси, проходящей через середину его противоположных сторон, на угол:

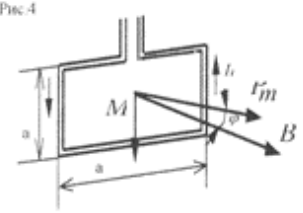
1) $\alpha_1 = 90°$; 2) $\alpha_2 = 3°$. При повороте контура сила тока в нём поддерживается неизменной.

Р е ш е н и е: Как известно, на контуре током в магнитном поле действует момент сил (рис.4):

$M = P_m B\sin\alpha$ (1)

где P_m - магнитный момент контура; B - магнитная индукция; α - угол между вектором $\vec{P}_m$, направленным по нормали к контуру, и вектором $\vec{B}$.

Рис 4



По условию задачи в начальном положении контур свободно установился в магнитном поле. При этом момент сил равен нулю ($M = 0$), а значит, $\alpha = 0$, т.е. вектора $\vec{P}_m$ и $\vec{B}$ совпадают по направлению. Если внешние силы выведут контур из положения равновесия, то возникший момент сил, определяемый формулой (1), будет стремиться возвратить контур в исходное положение. Против этого момента и будет совершаться работа внешними силами. Так как момент сил переменный (зависит от угла поворота α), то для подсчета работы применим формулу работы в дифференциальной форме $dA = Md\varphi$;

Подставив сюда выражение M по формуле (1) и учтя, что $P_m = IS = Ia^2$,

где I – сила тока в контуре; S = a^2 – площадь контура, получим $dA = IBa^2\sin\varphi d\varphi$. Взяв интеграл от этого выражения, найдём работу при повороте на конечный угол:

$$A = IB\cdot a^2\int_0^{\varphi}\sin\varphi d\varphi.$$

Работа при повороте на угол $\varphi_1 = 90°$:

$$A_1 = IBa^2\int_0^{\frac{\pi}{2}}\sin\varphi d\varphi = IBa^2\left|(-\cos\varphi)\right|_0^{\frac{\pi}{2}} = IBa^2 \qquad (2)$$

Выразим числовые значения величин в единицах СИ: $I = 100\,A$, $B = 1\,Тл$, $a = 10\,см = 0{,}1\,м$, и подставим в (2):

$$A_1 = 100\cdot 1\cdot(0{,}1)^2\,Дж = 1\,Дж.$$

Работа при повороте на угол $\varphi_2 = 3°$. В этом случае, учитывая, что угол φ_2 мал, заменим в выражении (2) $\sin\varphi \approx \varphi$:

$$A_2 = IBa^2\int_0^{\varphi_2}\varphi d\varphi = \frac{1}{2}IBa^2\varphi_2^{\,2} \quad (3)$$

Выразим угол φ_2 в радианах. После подстановки числовых значений величин в (3) найдём:

$$A_2 = \frac{1}{2}100\cdot 1\cdot(0{,}1)^2\cdot(0{,}0523)^2\,Дж = 1{,}37\cdot 10^{-3}\,Дж = 1{,}37\,мДж$$

Задачу можно решить и другим способом. Работа внешних сил по перемещению контура с током в магнитном поле равна произведению силы тока в контуре на изменение магнитного потока через контур:

$$A = -I\Delta\Phi = I(\Phi_1 - \Phi_2)$$

где Φ_1 – магнитный поток, пронизывающий контур до перемещения:

Φ_2 – магнитный поток, пронизывающий контур после перемещения.

Если $\varphi_1 = 90°$, то $\Phi_1 = BS$, $\Phi_2 = 0$. Следовательно $A = IBS = IBa^2$, что совпадает с полученным выше результатом (3).

П р и м е р 5. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов равную 400 В, попал в однородное магнитное поле напряжённостью $H = 10^3\ A/м$. Определить радиус R кривизны траектории и частоту n обращения электрона в магнитном поле. Вектор скорости перпендикулярен линиям поля.

Р е ш е н и е. Радиус кривизны траектории электрона определим, исходя из следующих соображений: на движущийся в магнитном поле электрон действует сила Лоренца $\vec{F}_л$ (действием силы тяжести можно пренебречь). Сила Лоренца перпендикулярна вектору скорости и, следовательно, сообщает электрону нормальное ускорение. По второму закону Ньютона можно записать

$$\vec{F}_л = m\vec{a},$$

где a_n – нормальное ускорение или $|\bar{e}| \cdot V \cdot B \cdot \sin\alpha = \dfrac{mV^2}{R}$ (1)

где $\bar{e}$ – заряд электрона; V – скорость электрона; R – радиус кривизны траектории; α – угол между между направлением вектора скорости $\vec{V}$ и вектором $\vec{B}$ (в данном случае $\vec{B} \perp \vec{V}$ и $\alpha = 90°$ $\sin\alpha = 1$).

Из формулы (I) найдём

$$R = \frac{m \cdot V}{|e| \cdot B}, \quad (2)$$

Входящий в равенство (2) импульс может быть выражен через кинетическую энергию T электрона:

$$mV = \sqrt{2mT} \qquad (3)$$

Но кинетическая энергия электрона прошедшего ускоряющую разность потенциалов U, определяется равенством:

$$T = |e| \cdot U,$$

Подставив это выражение T в формулу (3), получим

$$mV = \sqrt{2m|e|U}.$$

Магнитная индукция B может быть выражена через напряжённость H магнитного поля в вакууме:

$$B = \mu_0 H,$$

где μ_0 – магнитная постоянная.

Подставив найденные выражения B и mV в формулу (2), определим

$$R = \frac{\sqrt{2m \cdot |e| \cdot U}}{\mu_0 \cdot \bar{e} \cdot H} \quad (4)$$

Выразим все величины, входящие в формулу (4), в единицах СИ:

$m = 9{,}11 \cdot 10^{-31}\ кг$ (из справочной табл. 17),

$\bar{e} = 1{,}60 \cdot 10^{-19}\ Кл$

$U = 400 В$,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ Гн/м$,

$H = 10^3\ A/м$.

Подставим эти значения в формулу (4) и произведём вычисления:

$$R = \frac{\sqrt{2 \cdot 9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19} \cdot 400}}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-7} \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19} \cdot 10^3}\ м = 5{,}37 \cdot 10^{-2}\ м = 5{,}37 Ом$$

Для определения частоты обращения n воспользуемся формулой, связывающей частоту со скоростью и радиусом:

$$n = \frac{V}{2\pi R} \qquad (5)$$

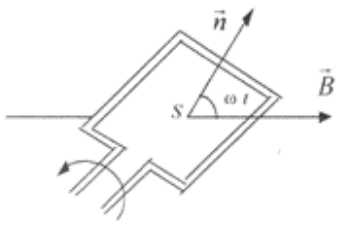
Подставив в формулу (5) выражение (2) для радиуса кривизны, получим:

$$n = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{|e|}{m} \cdot B, \quad \text{или} \quad n = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{|e|}{m} \cdot H.$$

Все величины, входящие в эту формулу, ранее были выражены в единицах СИ. Подставим их и произведём вычисления:

$$n = \frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-7} \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 9{,}11 \cdot 10^{-31}} \cdot 10^3\ c^{-1} = 3{,}52 \cdot 10^7\ c^{-1}$$

П р и м е р 6. В одородном магнитном поле ($B = 0{,}1 Тл$) равномерно с частотой $n = 10 c^{-1}$ вращается рамка, содержащая $N = 1000$ витков, плотно прилегающих друг к другу. Площадь рамки $S = 150 см^2$. Определить мгновенное значение ЭДС индукции ε, соответствующее углу поворота рамки в $30°$.



Р е ш е н и е. Мгновенное значение ЭДС индукции ε, определяется основным уравнением электромагнитной индукции Фарадея-Максвела:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\psi}{dt} \quad (1)$$

где – ψ потокосцепление.

Потокосцепление связано с магнитным потоком Ф и числом N витков, плотно прилегающих друг к другу, соотношением:

$$\Psi = N \cdot \Phi$$

Подставляя выражение Ψ в формулу (1), получим:

$$\varepsilon_i = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}. \qquad (2)$$

При вращении рамки (рис.5) магнитный поток, пронизывающий рамку в момент времени t, определяется соотношением:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \omega t,$$

где B – магнитная индукция; S – площадь рамки; ω – круговая (или циклическая) частота.

Подставив в формулу (2) выражение Φ и продиффиренцировав по времени, найдём мгновенное значение ЭДС индукции:

$$\varepsilon_i = N \cdot B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin \omega t \quad (3)$$

Круговая частота ω связана с частотой вращения n соотношением

$$\omega = 2\pi \cdot n$$

Подставляя значения величин в формулу (3), получим:

$$\varepsilon_i = 2\pi \cdot n \cdot N \cdot B \cdot S \cdot \sin \omega t \qquad (4)$$

Выразив значения величин, входящих в эту формулу, в единицах СИ:

$$n = 10c^{-1}, \quad N = 10^3, \quad B = 0{,}1Тл, \quad S = 1{,}5 \cdot 10^{-2} м^2, \quad \omega t = 30° = \frac{\pi}{6},$$

и подставив их в формулу (4), произведём вычисления:

$$\varepsilon_i = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0{,}1 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}5В = 47{,}1В.$$

П р и м е р 7. Соленоид с сердечником из магнитного материала содержит $N = 1200$ витков провода, прилегающих друг к другу. При силе тока $I = 4A$ магнитный поток $\Phi = 6мкВб$. Определить индуктивность L соленоида и энергию W магнитного поля соленоида.

Р е ш е н и е: Индуктивность L связана с потокосцеплением Ψ и силой тока I соотношением:

$$\Psi = L \cdot I \qquad (1)$$

Потокосцепление в свою очередь может быть выражено через поток и число витков N (при условии что витки плотно прилегают друг к другу):

$$\Psi = N \cdot \Phi \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) находим интересующую нас индуктивность соленоида:

$$L = \frac{N \cdot \Phi}{I} \quad (3)$$

Выразим все величины в единицах СИ:

N=1200, $\Phi = 6 \cdot 10^{-6} Вб$, $I = 4A$.

Подставим их значения в формулу (3) и произведём вычисления:

$$L = \frac{1{,}2 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{4} Гн = 1{,}8 \cdot 10^{-3} Гн = 1{,}8мГн.$$

Энергия W магнитного поля соленоида с индуктивностью L при силе тока I, протекающего по его обмотке, может быть вычислена по формуле:

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

Подставив в эту формулу полученное ранее выражение индуктивности (3) и произведя вычисления получим:

$$W = \frac{1}{2} \cdot N \cdot \Phi \cdot I;$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 1{,}2 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot 4Дж = 1{,}44 \cdot 10^{-2} Дж = 14{,}4мДж$$

Контрольные задания.

400. Проволочный виток радиусом R=25$см$ расположен в плоскости магнитного меридиана. В центре расположена небольшая магнитная стрелка, способная вращаться вокруг вертикальной оси. На какой угол α отклонится стрелка, если по витку пустить ток силой I=15A ? Горизонтальную составляющую магнитного поля Земли принять равной $B = 20 \cdot 10^{-3} Тл$.

401. Магнитная стрелка помещена в центре кругового витка, плоскость которого расположена вертикально и составляет угол $\varphi = 30°$ с плоскостью магнитного меридиана. Радиус витка R=20$см$.Определить угол α, на который повернётся магнитная стрелка, если по проводнику пойдёт ток силой I=25A. Горизонтальную составляющую индукцию магнитного поля Земли принять равной $B = 20 \cdot 10^{-3} Тл$. $(20 \cdot 10^{-6})$

402. По двум длинным параллельным проводам, расстояние между которыми d=5$см$, текут одинаковые токи I=10A. Определить индукцию и напряжённость магнитного поля в точке , удалённой от каждого провода на расстоя-

ние r=5*см*, если токи текут: а) в одинаковом, б) в противоположных направлениях.

403. Два бесконечно длинных проводника скрещены под прямым углом. По проводникам текут токи силой $I_1 = 100A$ и $I_2 = 50A$. Расстояние между двумя проводниками d = 20 *см*. Определить индукцию $\vec{B}$ магнитного поля в точке, лежащей на середине общего перпендикуляра к проводникам.

404. По контуру в виде равностороннего треугольника течёт ток силой I = 50 *А*. Сторона треугольника a = 20 *см*. Определить напряжённость и магнитную индукцию $\vec{B}$ в точке пересечения высот.

405. По проводнику, согнутому в виде прямоугольника со сторонами a = 8 *см* и $в$ = 12 *см* течёт ток силой I = 50 *А*. Определить напряжённость $\vec{H}$ и индукцию магнитного поля в точке пересечения диагоналей.

406. По проводнику, изогнутому в виде окружности, течёт ток. Напряжённость магнитного поля в центре окружности $H_1 = 50\ A/м$. Не изменяя силы тока в проводнике, ему придали форму квадрата. Определить напряжённость H_2 магнитного поля в точке пересечения диагоналей квадрата.

407. Над центром кольцевого проводника радиусом 40 *см*, по которому течёт ток силой 10 *А*, находится прямолинейный длинный проводник с током 20 *А*. Проводник лежит в плоскости, параллельной плоскости кольца на расстоянии 30 *см* от неё. Вычислить напряжённость магнитного поля в центре кольца. Рассмотреть различные направления токов.

408. Два кольца с токами $I_1 = 5A$, $I_2 = 10A$ расположены так, что имеют общий центр, а плоскости их составляют угол 45°. Найти индукцию магнитного поля в общем центре колец, если радиусы колец $R_1 = 12см$; $R_2 = 16см$.

409. Перпендикулярно плоскости кольцевого тока 10 *А* радиусом 20 *см* проходит изолированный провод так, что он касается кольца. Ток в проводе равен 10 *А*. Найти суммарную напряжённость магнитного поля в центре кольца.

410. По двум параллельным проводам длиной $l = 3м$ текут одинаковые токи силой $I = 500A$. Расстояние между проводами $d = 10см$. Определить силу взаимодействия проводников.

411. По трём параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии d = 10 *см* друг от друга, текут токи одинаковой силы I = 400 *А*. В двух проводах направления токов совпадают. Вычислить силу F, действующую на единицу длины каждого провода.

412. Нормаль к плоскости рамки, по которой течёт ток 1 *А*, составляет угол 30° с направлением однородного магнитного поля. На какой угол повернулась рамка по отношению к полю, если вращающий момент, действующий на рамку, уменьшится в 10 раз. Сделать пояснительный рисунок.

413. Напряжённость магнитного поля 50 *А/м*. В этом поле находится плоская рамка 10 *см*, которая может свободно вращаться. Плоскость рамки вначале совпадала с направлением поля. Затем по рамке кратковременно пустили ток 1 *А* и рамка получила угловое ускорение 100 c^{-2}. Считая вращающий момент постоянным, найти момент инерции рамки (μ=1).

414. Плоская круглая рамка диаметром 10 *см* находится в однородном магнитном поле, и по рамке протекает ток 20 *А*. На сколько изменится вращающий момент, действующий на рамку, при повороте плоскости рамки на угол 60° к направлению поля? (До поворота плоскость рамки совпадала с направлением поля). Напряжённость поля 20 *А/м*, среда – воздух.

415. Плоская круглая рамка состоит из 20 витков, радиусом 2 *см* и по ней протекает ток в 1 *А*. Нормаль к рамке составляет угол 90° с направлением магнитного поля напряжённостью 30 *А/м*. Как и на сколько изменится вращающий момент, действующий на рамку, если из витков рамки выполнить один круглый виток? Остальные данные считать прежними.

416. Виток радиусом R = 20 *см*, по которому течёт ток силой I = 50 *А*, свободно установился в однородном магнитном поле напряжённостью $H = 10^3$ *А/м*. Виток повернули относительно диаметра на угол φ = 30°. Определить совершённую работу *А*.

417. Напряжённость $\vec{H}$ магнитного поля в центре кругового витка равна $500\ A/м$. Магнитный момент витка $P_m = 6A \cdot м^2$. Вычислить силу тока I в витке и радиус R витка.

418. Круглая рамка радиусом 5 *см* находится в воздухе в однородном магнитном поле напряжённостью 100 *А/м*. Плоскость рамки составляет угол α с направлением поля, ток в рамке 10*А*. Вычислить вращающие моменты, действующие на рамку, для углов α_1, равных 0, 10, 20, и т.д. до угла 360°. Результат записать в виде таблицы.

Построить графическую зависимость вращающего момента от угла α.

419. Короткая катушка площадью поперечного сечения S = 250 $м^2$. Содержащая N = 500 витков провода, по которому течёт ток силой I = 5 *А*, помещена в однородное поле напряжённостью H = 1000 *А/м*. Найти: 1) магнитный момент P_m катушки, 2) вращающий момент M, действующий на катушку, если ось катушки составляет угол φ = 30° с линиями поля.

420. Частица, несущая один элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией B = 0,2 *Тл* под углом α = 30° к направлению линий индукции. Определить силу Лоренца $\vec{F}_л$, если скорость частицы υ = 10,5 *м/с*.

421. Частица, несущая один элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией B = 0,01*Тл*. Определить момент импульса, которым обладала частица в магнитном поле, если радиус траектории частицы равен R = 0,5 *мм*.

422. Электрон движется в однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции. Определить силу $\vec{F}$, действующую на электрон со стороны поля, если индукция поля B = 0,1 *Тл*, а радиус кривизны траектории R = 0,2 *м*.

423. Заряженные частицы с кинетической энергией $T = 2 \cdot 10^3$ *Эв* движутся в однородном магнитном поле по окружности радиусом R = 4 *мм*. Определить силу Лоренца $\vec{F}_л$, действующую на частицу со стороны поля.
(1*Эв* = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *Дж*).

424. Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле с напряжённостью $H = 5\cdot10^3$ *А/м*. Определить частоту вращения электрона.

425. Электрон движется в магнитном поле с индукцией $B = 4\cdot10^{-3}$ *Тл* по окружности радиусом $R = 0{,}8$ *см*. Какова кинетическая энергия электрона?

426. В магнитном поле, образованном в вакууме, перпендикулярно линиям индукции влетел электрон с энергией $1{,}6\cdot10^{-19}$*Дж*. Напряжённость поля 10^3 *А/м*. Вычислить силу Лоренца и радиус траектории движения электрона.

427. Протон и α – частица, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное поле. Во сколько радиус R кривизны траектории протона больше радиуса кривизны траектории α – частицы?

428. Два иона с одинаковыми зарядами, пройдя одну и ту же ускоряющую разность потенциалов, влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Один ион, масса которого $m_1 = 12$*а.е.м.*, описал дугу окружности радиусом $R_1 = 2$ *см*. Определить массу m_2 другого иона, который описал дугу окружности радиусом $R_2 = 2{,}31$ *см*. (1 *а.е.м.* = $1{,}66\cdot10^{-27}$ *кг*).

429. Протон движется по окружности в однородном магнитном поле с индукцией $B = 2$ *Тл*. Определить силу эквивалентного тока (кругового), создаваемого движением протона.

430. Плоский конденсатор, между пластинами которого создано электрическое поле напряжённостью $E = 100$ *В/м*, помещен в магнитное поле так, что силовые линии полей взаимно перпендикулярны. Какова должна быть индукция B магнитного поля, чтобы электрон с начальной энергией $T = 4$ *кЭв*, взлетевший в пространство между пластинами конденсатора перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, не изменил направления скорости? (1*Э.В.*=$1{,}6\cdot10^{-19}$*Дж*).

431. Плоский ~~конденсатор~~ контур находится в однородном магнитном поле с индукцией B=0,03*Тл*. Площадь контура $S = 20$ *см*^{2}. Определить магнитный поток Ф, пронизывающий контур, если плоскость его составляет угол $\varphi = 60^\circ$ с направлением линий индукции.

432. Магнитный поток Ф через сечение соленоида равен $50\cdot10^{-6}$ *Вб*.Длина соленоида $l = 50$ *см*. Найти магнитный момент P_m соленоида, если его витки плотно прилегают друг к другу.

433. В средней части соленоида, содержащего $n = 8$ витков/*см*, помещён круговой виток диаметром $d = 4$ *см*. Плоскость витка расположена под углом $\varphi = 60^\circ$ к оси соленоида. Определить магнитный поток пронизывающий виток, если по обмотке соленоида течёт ток $I = 1$ *А*.

434. На длинный картонный каркас диаметром $d = 5$ *см* уложена однослойная обмотка (виток к витку) из проволоки диаметром $d = 0{,}2$ *мм*. Определить магнитный поток Ф, создаваемый таким соленоидом при силе тока $I = 0{,}5$ *А*.

435. Квадратный контур со стороной $a = 10$ *см*, в котором течёт ток силой $I = 6$ *А*, находится в магнитном поле с индукцией $B = 0{,}8$ *Тл* под углом $\alpha = 50^\circ$ к линиям индукции. Какую работу нужно совершить, чтобы при неизменной силе тока в контуре изменить его форму с квадрата на окружность?

436. Плоский контур с током $I = 5$ *А* свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}4$ *Тл*. Площадь контура $S = 200$ *см*^{2}. Поддерживая ток в контуре неизменным, его повернули относительно оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\alpha = 40^\circ$. Определить совершённую при этом работу.

437. Виток, в котором поддерживается постоянная сила тока $I = 60$ *А*, свободно установился в однородном магнитном поле ($B = 20\cdot10^{-3}$ *Тл*). Длина витка $d = 10$ *см*. Какую работу надо совершить для того, чтобы повернуть виток относительно оси, совпадающей с диаметром, на угол $\alpha = 60^\circ$?

438. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции расположен плоский контур площадью $S = 100$ *см*^{2}. Поддерживая в контуре постоянную силу тока $I = 50$ *А*, его переместили из поля в область пространства, где поле отсутствует. Определить индукцию магнитного поля, если при перемещении контура была совершена работа $A = 0{,}4$ *Дж*.

439. Рамка площадью $S = 100$ *см*^{2} равномерно вращается с частотой $n = 5$ *с*$^{-1}$ относительно оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной линиям индукции однородного магнитного поля ($B = 0{,}5$ *Тл*). Определить среднее значение ЭДС индукции за время, в течение которого магнитный поток, пронизывающий рамку, изменится от нуля до максимального значения.

440. В однородном магнитном поле напряжённостью 1000*А/м* перемещается перпендикулярно полю провод длиной 40 *см* сопротивлением 10 *Ом* со скоростью 20 *м/с*. Какой ток пошёл бы по проводнику, если бы его замкнули? (влияние замыкающего повода не учитывать).

441. С какой скоростью движется перпендикулярно магнитному полю напряжённостью 500 *А/м* ($\mu = 1$) прямой проводник длиной 30 *см* и сопротивлением 0,1 *Ом*? При замыкании проводника в нём пошёл бы ток 0,01 *А*.

442. В однородном магнитном поле напряжённостью 1000 *А/м* (в воздухе) равномерно вращается круглая рамка, имеющая 100 витков, радиус которой 6 *см*. Ось вращения проходит через диаметр рамки и перпендикулярно магнитному полю. Сопротивление рамки 0,1 *Ом*, частота её вращения 10 *с*$^{-1}$. Построить график зависимости индуцируемого тока от угла поворота и найти максимальный ток в рамке.

443. Круглая рамка имеющая 20 витков и площадью $S = 100$ *см*^{2}, равномерно вращается в однородном магнитном поле вокруг оси, перпендикулярной полю и проходящей через её диаметр. Вычислить частоту вращения при индукции поля $B = 0{,}03$ *Тл*, если максимальный ток индуцируемый в рамке, при её сопротивлении 20*Ом*, составляет 0,02 *А*.

444. Число витков на единице длины однослойного соленоида без сердечника составляет $20\frac{1}{см}$, его длина 20 *см*, диаметр 2 *см*, сопротивление обмотки 300 *Ом*. В соленоиде ток увеличился от нуля до 5 *А*. Вычислить количество электричества, которое при этом индуцировалось.

445. Число витков в соленоиде 800, его длина 20 *см*, поперечное сечение 4 *см*^{2}. При какой скорости изменения силы тока в соленоиде без сердечника индуцируется ЭДС самоиндукции, равная 0,4 *В*?

446. В соленоиде без сердечника ток равномерно возрастает на 0,3 *А/с* число витков соленоида 1100, площадь его поперечного сечения 100 *см* ^{2}, длина 60 *см*. На соленоид надето изолированное кольцо того же диаметра. Вычислить ЭДС индукции в кольце.

447. В соленоиде ток равномерно возрастает от нуля до 50 *А* в течении 0,5 *с*, при этом соленоид накапливает энергию 50 *Дж*. Какая ЭДС индуцируется в соленоиде?

448. Энергия поля однослойного соленоида при токе в 1,2 *А* равна 2 *Дж*. Чему равна магнитная проницаемость сердечника, если плотность витков соленоида $10\frac{1}{см}$, длина его 1 *м*, площадь поперечного сечения 10 *см* ^{2}.

449. Силу тока в катушке равномерно увеличивают при помощи реостата на $\Delta I = 0{,}6A$ в секунду. Найти среднее значение ЭДС самоиндукции, если индуктивность катушки $L = 5$ *мГн*.

450. В электрической цепи, содержащей сопротивление $r = 20$ *Ом* и индуктивность $L = 0{,}6$ *Гн*, течёт ток силой $I = 20$ *А*. Определить силу тока в цепи через $\Delta t = 0{,}2$ *мс* после её размыкания.

451. По замкнутой цепи с сопротивлением $r = 20$ *Ом* течёт ток, по истечении времени $t = 8$ *мс* после размыкания цепи сила тока в ней уменьшилась в 20 раз. Определить индуктивность цепи.

452. Цепь состоит из катушки индуктивностью $L = 0{,}1$ *Гн* и источника тока. Источник тока отключили, не разрывая цепи. Время, по истечении которого сила тока уменьшится до 0,001 первоначального значения, равно $t = 0{,}07$ *с*. Определить сопротивление катушки.

453. Источник тока замкнули на катушку с сопротивлением $r = 10$ *Ом* и индуктивностью $L = 0{,}2$ *Гн*. Через сколько времени сила тока в цепи достигнет 50% максимального значения?

454. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением r=200*Ом*. По истечении времени $t = 0{,}1$ *с* сила тока замыкания достигла 0,95 предельного значения. Определить индуктивность катушки.

455. В соленоиде сечением $S = 5$*см* ^{2} создан магнитный поток $\Phi = 0{,}1$ *мкВб*. Определить объёмную плотность ω энергии магнитного поля соленоида. Сердечник отсутствует. Магнитное поле во всём объёме соленоида считать однородным.

456. Магнитный поток в соленоиде, содержащем $N = 1000$ витков, равен 0,2 *мкВб*. Определить энергию магнитного поля соленоида, если сила тока, протекающего по виткам соленоида $I = 1$ *А*. Сердечник отсутствует. Магнитное поле во всём объёме соленоида считать однородным.

457. Обмотка соленоида содержит $n = 20$ витков на каждый сантиметр длины. При какой силе тока объёмная плотность энергии магнитного поля будет $\omega = 0{,}1$ *Дж/м* ^{3}?. Сердечник выполнен из немагнитного материала, и магнитное поле во всём объёме однородно.

458. Соленоид имеет длину $l = 0{,}6$ *м* и сечение $S = 10$ *см* ^{2}. При некоторой силе тока, протекающего по обмотке, в соленоиде создаётся магнитный поток

$\Phi = 0{,}1$ *мВб*. Чему равна энергия магнитного поля соленоида? Сердечник выполнен из немагнитного материала, а магнитное поле во всём объёме однородно.

459. Объёмная плотность энергии однородного магнитного поля в воздухе 500 *Дж/м* ^{3}. В этом поле перпендикулярно ему расположен прямолинейный проводник с током 50 *А*. С какой силой поле действует на единицу длины проводника?

Раздел 2. ОПТИКА.

Уравнения и формулы.

1. Показатель преломления среды.

$$n = \frac{c}{\upsilon}$$

где c – скорость света в вакууме
υ – скорость света в среде

2. Световой поток

$$\Phi = \frac{d\omega}{dt} \qquad \Phi = 4\pi I$$

где ω – телесный угол

3. Светимость источника

$$R = \frac{d\Phi}{dS}$$

4. Сила света

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$$

5. Яркость святящегося тела

$$B = \frac{I}{S_{пр}} \qquad B = \frac{dI}{dS\cos i}$$

где I – сила света
i – угол падения света

Если яркость не зависит от направления, то по закону Ламберта

$$R = \pi \cdot B$$

6. Освещённость

$$E = \frac{d\Phi}{dS}$$

7. Скорость света в среде:

$$\upsilon = \frac{c}{n}$$

где c – скорость света в вакууме; n – показатель преломления среды.

8. Оптическая длина пути луча света:

$$L = n \cdot l$$

где l – геометрическая длина пути луча в среде с показателем преломления n.

9. Оптическая разность хода двух лучей:

$$\Delta = L_1 - L_2$$

9.Зависимость оптической разности фаз с оптической разностью хода:

$$\Delta\varphi = 2\pi\frac{\Delta}{\lambda}$$

где λ – длина световой волны

10. Условия максимального усиления света при интерференции:

$$\Delta = \pm k\lambda \quad (k = 0,1,2,...)$$

Условия максимального ослабления света:

$$\Delta = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

11. Оптическая разность хода лучей, возникающая при отражении монохроматического света от тонкой плёнки:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} + \frac{\lambda}{2} \quad \text{или} \quad \Delta = 2dn\cos i_2 + \frac{\lambda}{2}$$

где d – толщина плёнки; n – показатель преломления плёнки;
– угол падения; i_2 – угол преломления света в плёнке.

12. Радиус светлых колец Ньютона в отраженном свете:

$$rk = \sqrt{(2k-1)R\frac{\lambda}{2}}$$

где k – номер кольца (k=1,2,3,…), R – радиус кривизны линзы.

Радиус тёмных колец Ньютона в отраженном свете:

$$rk = \sqrt{kR\lambda}$$

13. Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции на одной щели, определяется из условия:

$$a\sin\varphi = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad (k \geq 0,1,2,3,\ldots)$$

где a – ширина щели, k – порядковый номер максимума.

14. Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции света на дифракционной решетке, определяется из условия:

$$d\sin\varphi = \pm k\lambda \quad (k = 0,1,2,3,\ldots)$$

где d – период дифракционной решётки.

15. Разрешающая способность дифракционной решетки:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN$$

где Δλ – наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий (λ и λ+Δλ) при которой эти могут быть видны раздельно в спектре, полученном посредством данной решетки;

N – полное число щелей решетки.

16. Формула Вульфа–Брэгга:

$$2d\sin Q = k\lambda$$

где Q – угол скольжения (угол между направлением пучка параллельных рентгеновских лучей, падающих на кристалл, и гранью кристалла).

Формула Вульфа–Брэгга определяет направление лучей, при которых возникает дифракционный максимум.

17. Закон Брюстера:

$$tgi_1 = n_{21}$$

где i_1 – угол падения, при котором отразившийся от диэлектрика луч полностью поляризован, n_{21} – относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

18. Закон Малюса:

$$I = I_0\cos^2\alpha$$

где I_0 – интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор,

I – интенсивность этого света после анализатора; α – угол между направлением колебания света, падающего на анализатор, и плоскостью пропускания анализатора (если пропускания колебания падающего света совпадают с этой плоскостью, то анализатор пропускает данный свет без ослабления).

19. Угол поворота плоскости поляризации монохроматического света при прохождении через оптически активное вещество:

а) в твёрдых телах:

$$\varphi = \alpha d$$

где α – постоянная вращения; d – длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;

б) в растворах:

$$\varphi = [\alpha]\, pd$$

где $[\alpha]$ – удельное вращение, p – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

20. Релятивисткая масса:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{\upsilon}{c}\right)^2}} \quad \text{или} \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

где m_0 – масса покоя частиц; υ – её скорость; c – скорость света в вакууме; β – скорость частицы, выраженная в долях скорости света ($\beta=\upsilon/c$).

21. Взаимосвязь массы и энергии релятивисткой частицы:

$$\mathrm{E} = mc^2 \quad \text{или} \quad \mathrm{E} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{\mathrm{E}_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

где $\mathrm{E}_0 = m_0 c^2$ – энергия покоя частицы.

22. Полная энергия свободной частицы:

$$\mathrm{E} = \mathrm{E}_0 + \mathrm{T}$$

где T – кинетическая энергия релятивисткой частицы.

23. Кинетическая энергия релятивисткой частицы:

$$\mathrm{T} = (m - m_0)c^2 \quad \text{или} \quad \mathrm{T} = \mathrm{E}_0\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right)$$

24. Импульс релятивисткой частицы:

$$\mathrm{P} = \frac{m_0 \upsilon}{\sqrt{1-\left(\frac{\upsilon}{c}\right)^2}} \quad \text{или} \quad \mathrm{P} = m_0 c \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

25. Связь между полной энергией и импульсом релятивисткой частицы:

$$\mathrm{E}^2 = \mathrm{E}_0^{\,2} + (p \cdot c)^2$$

26. Закон Стефана–Больцмана:

$$R_e = \sigma \mathrm{T}^4$$

где R_e – излучательность (Энергитическая светимость) абсолютно чёрного тела; σ – постоянная Стефана–Больцмана; T – термодинамическая температура Кельвина.

27. Закон смещения Вина:

$$\lambda_0 = \frac{в}{\mathrm{T}}$$

где λ_0 – длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения; $в$ – постоянная Вина ($в=2{,}90\cdot10^{-3} мК$).

28. Энергия фотона:

$$\varepsilon = h \cdot \nu \quad \text{или} \quad \varepsilon = \hbar \cdot \omega$$

где h –постоянная Планка; $\hbar$ – постоянная Планка, делённая на 2π; ν – частота фотона; ω – циклическая частота.

29. Масса фотона:

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h}{c \cdot \lambda}$$

где c – скорость света в вакууме, λ – длина волны фотона.

30. Импульс фотона:

$$\mathrm{P} = m \cdot c = \frac{h}{\lambda}$$

31. Формула Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + \mathrm{T} = A + \frac{m\upsilon^2}{2}$$

где $h\nu$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла; A – работа выхода электрона; T – кинетическая энергия фотоэлектрона.

32. Красная граница фотоэффекта:

$$\nu_0 = \frac{A}{h} \quad \text{или} \quad \lambda_0 = \frac{hc}{A}$$

где ν_0 – минимальная частота света, при которой ещё возможен фотоэффект; λ_0 – максимальная волна длины света, при которой ещё возможен фотоэффект;

h – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме.

33. Формула Комптона:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta) \quad \text{или} \quad \Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\frac{h}{m_0 c}\sin^2\frac{\theta}{2}$$

где λ – длина волны фотона, рассеянного на угол θ после столкновения с электроном; m_0 – масса покоящегося электрона.

34. Комптоновская длина волны:

$$\Lambda = \frac{h}{m_0 c} \quad (\Lambda=2{,}436 нм)$$

35. Давление света при нормальном падении на поверхность:

$$\mathrm{P} = \frac{\mathrm{E}}{c}(1+\rho) = \omega(1+\rho)$$

где E – облучённость поверхности; ω – объёмная плотность лучистой энергии;

ρ – коэффициент отражения света поверхностью.

Примеры решения задач

П р и м е р 1. От двух когерентных источников S_1 и S_2 (λ=0,8*мкм*) лучи попадают на экран. На экране наблюдается интерференционная картина. Когда на пути одного из лучей перпендикулярно ему поместили мыльную плёнку (n=1,33), интерференционная картина изменилась на противоположную. При какой наименьшей толщине d_{min} плёнки это возможно?

Р е ш е н и е. Изменение интерференционной картины на противоположную означает, что на тех участках экрана, где наблюдались интерференционные максимумы, стали наблюдаться интерференционные минимумы. Такой сдвиг интерференционной картины возможен при изменении оптической разности хода лучей на нечётное число половины длин волн, т.е.

$$\Delta_2 - \Delta_1 = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \qquad (1)$$

где Δ_1 – оптическая разность хода лучей до внесения плёнки;

Δ_2 – оптическая разность хода лучей после внесения плёнки;

$k = 0, \pm1, \pm2, \ldots$

Наименьшей толщине d_{min} плёнки соответствует k=0. При этом формула (1) примет вид:

$$\Delta_2 - \Delta_1 = \frac{\lambda}{2}; \qquad (2)$$

Выразим оптические разности Δ_2 и Δ_1.

$$\Delta_1 = l_1 - l_2,$$

$$\Delta_2 = [(l_1 - d_{min}) + nd_{min}] - l_2 = (l_1 - l_2) + d_{min}(n-1).$$

Подставим выражения Δ_1 и Δ_2 в формулу (2):

$$(l_1 - l_2) + d_{min}(n-1) - (l_1 - l_2) = \frac{\lambda}{2}, \quad \text{или} \quad d_{min}(n-1) = \frac{\lambda}{2}.$$

Отсюда

$$d_{min} = \frac{\lambda}{2}(n-1).$$

Подставив числовые значения, найдём:

$$d_{min} = \frac{0{,}8}{2\cdot(1{,}33-1)}\,мкм = -1{,}21\,мкм.$$

П р и м е р 2. На дифракционную решётку в направлении нормали к её поверхности падает монохроматический свет. Период решётки d=2*мкм*. Какого наибольшего порядка дифракционный максимум даёт эта решётка в случае красного (λ_1=0,7*мкм*) и в случае фиолетового (λ_2=0,41*мкм*) света?

Р е ш е н и е. На основании известной формулы дифракционной решётки напишем выражение порядка дифракционного максимума:

$$m = \frac{d\sin\varphi}{\lambda}$$

где d – период решётки; φ – угол между направлением на дифракционный максимум и нормалью к решётке; λ – длина волны монохроматического света.

Так как $\sin\varphi$ не может быть больше 1, то, как это следует из формулы (1), число m не может быть больше $\frac{d}{\lambda}$, т.е.

$$m \le \frac{d}{\lambda}.$$

Подставив в формулу (2) числовые значения, получим:

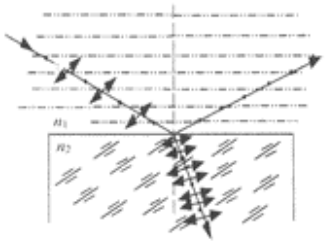
для красных лучей $m \le \frac{2}{0{,}7} = 2{,}86$,

для фиолетовых лучей $m \le \frac{2}{0{,}41} = 4{,}88$.

Если учесть, что порядок максимумов является целым числом, то для красного света $m_{max} = 2$ и для фиолетового $m_{max} = 4$.

П р и м е р 3. Естественный луч света падает на полированную поверхность стеклянной пластины, погружённой в жидкость. Отражённый от пластины луч образует угол φ=97° с падающим лучом (рис.6). Определить показатель преломления n_1 жидкости, если отражённый свет максимально поляризован.

Рис.6



Р е ш е н и е. Согласно закону Брюстера, луч света отраженный от диэлектрика, максимально поляризован в том случае, если тангенс угла падения численно равен относительному показателю преломления:

$$tgi_1 = n_{2\,1},$$

где $n_{2\,1}$ – показатель преломления второй среды (стекла) относительно первой (жидкости).

Относительный показатель преломления равен отношению абсолютных показателей преломления. Следовательно, $tgi_1 = \frac{n_2}{n_1}$.

Так как угол падения равен углу отражения, то $tg\frac{\varphi}{2} = \frac{n_2}{n_1}$, откуда

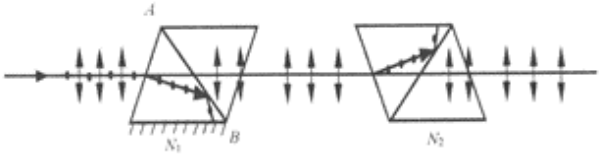
$$n_1 = \frac{n_2}{tg\frac{\varphi}{2}}.$$

Подставив числовые значения, получим:

$$n_1 = \frac{1{,}5}{tg\frac{97^\circ}{2}} = \frac{1{,}5}{1{,}13} = 1{,}33.$$

П р и м е р 4. Два николя N_1 и N_2 расположены так, что угол между их плоскостями пропускания составляет $\alpha = 60°$. Определить во сколько раз уменьшится интенсивность естественного света: 1) при прохождении через один николь N_1; 2) при прохождении через оба николя. Коэффициент поглощения света в николе k=0,05. Потери на отражение света не учитывать.

Рис.7



Р е ш е н и е. Естественный свет, падая на грань призмы Николя (рис.7), расщепляется вследствие двойного лучепреломления на два луча: обыкновенный и необыкновенный. Оба луча одинаковы по интенсивности и полностью поляризованы. Плоскость колебания необыкновенного луча лежит в плоскости чертежа (плоскость главного сечения). Плоскость колебания обыкновенного луча перпендикулярна плоскости чертежа. Обыкновенный луч вследствие полного внутреннего отражения от границы AB отбрасывается на зачерненную поверхность призмы и поглощается ею. Необыкновенный луч проходит через призму, уменьшая свою интенсивность вследствие поглощения. Таким образом, интенсивность света, прошедшего через первую призму:

$$I_1 = \frac{1}{2} I_0 (1-k)$$

Относительное уменьшение интенсивности света получим, разделив интенсивность I_0 естественного света, падающего на первый николь, на интенсивность поляризованного света:

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{I_0}{\frac{1}{2} I_0 (1-k)} = \frac{2}{1-k}. \qquad (1)$$

Подставив числовые значения, найдём:

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{2}{1-0{,}05} = 2{,}1$$

Таким образом, интенсивность уменьшается в 2,1 раза.

2. Плоскополяризованный луч света интенсивности I_1 падает на второй николь N_2 и также расщепляется на два луча различной интенсивности: обыкновенный и необыкновенный.

Обыкновенный луч полностью поглощается призмой, поэтому интенсивность его нас не интересует. Интенсивность необыкновенного луча I_2 вышедшего из призмы N_2, определяется законом Малюса (без учёта поглощения света во втором николе):

где α – угол между плоскостью колебаний в поляризованном луче и плоскостью пропускания николя N_2.

Учитываем потери интенсивности на поглощение во втором николе, получим:

$$I_2 = I_1 (1-k) \cos^2 \alpha .$$

Искомое уменьшение интенсивности при прохождении света через оба николя найдём, разделив интенсивность I_0 естественного света на интенсивность I_2 света, прошедшего систему из двух николей:

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{I_0}{I_1 (1-k) \cos^2 \alpha};$$

Заменяя отношения $\frac{I_0}{I_1}$ его выражением по формуле (1), получим:

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{2}{(1-k)^2 \cos^2 \alpha}.$$

Подставляя данные, произведём вычисления:

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{2}{(1-0{,}05)^2 \cos^2 60°} = 8{,}86 .$$

Таким образом, после прохождения света через два николя интенсивность его уменьшится в 8,86 раза.

П р и м е р 5. Определить импульс P и кинетическую энергию T электрона, движущегося со скоростью $\upsilon = 0{,}9c$, где c – скорость света в вакууме.

Р е ш е н и е. Импульсом частицы называется произведение массы частицы на её скорость:

$$P = m \cdot \upsilon \qquad (1)$$

Так как скорость электрона близка к скорости света, то необходимо учесть зависимость массы от скорости, определяемую по формуле:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}; \qquad (2)$$

где m - масса движущей частицы; m_0 - масса покоящейся частицы; $\beta = \frac{\upsilon}{c}$ - скорость частицы, выраженная в долях скорости света.

Заменив в формуле (1) массу m ее выражением (2) и приняв во внимание, что $\upsilon = c \cdot \beta$, получим выражение для релятивистского импульса .

$$P = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \cdot \beta c = \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{\upsilon}{c}\right)}} \cdot \beta c; \quad (3)$$

Подставим числовые значения величин, входящих в формулу (3):

$$P = \frac{9{,}1 \cdot 10^{-21}}{\sqrt{1-0{,}81}} \cdot 0{,}9 \cdot 3 \cdot 10^8 \, кг \cdot м/с = 5{,}6 \cdot 10^{-22} \, кг \cdot м/с.$$

В релятивистской механике кинетическая энергия T частицы определяется как разность между полной энергией E и энергией покоя E_0 этой частицы, т.е $T = E - E_0$. Так как $E = m \cdot c^2$ и $E_0 = m_0 \cdot c^2$, то, учитывая зависимость массы от скорости, получим

$$T = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} - m_0 \cdot c^2,$$

или

$$T = m_0 \cdot c^2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right); \quad (4)$$

Подставив числовые данные, выраженные в единицах СИ, найдем:

$$T = 9{,}1 \cdot 10^{31} \cdot \left(3 \cdot 10^8\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1-0{,}81}} - 1 \right) Дж = 8{,}18 \cdot 10^{-14} \cdot (2{,}29 - 1) Дж =$$

$$= 1{,}06 \cdot 10^{-13} \, Дж.$$

Во внесистемных единицах энергия покоя электрона $m_0 \cdot c^2 = 0{,}51 \, МэВ$. Подставив это значение в формулу (4), получим:

$$= 0{,}51 \cdot 1{,}29 \, МэВ = 0{,}66 \, МэВ$$

П р и м е р 6. Определить релятивистский импульс электрона, обладающего кинетической энергией $T = 5 \, МэВ$

Р е ш е н и е. Релятивистский импульс частицы определяется по формуле (см. пример 5)

$$p = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \cdot \beta c,$$

но так как в условии задачи дана не скорость электрона, а его кинетическая энергия, то решение задачи в общем виде ведется к отысканию формулы, выражающей импульс непосредственно через кинетическую энергию.

Установим связь между релятивистским импульсом покоя и полной энергией частицы. Полная энергия частицы прямо пропорциональна ее массе , т.е.

$$E = m \cdot c^2; \quad (1)$$

Зависимость массы от скорости определяется формулой

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}; \qquad (2)$$

Заменив массу m в формуле (1) ее выражением (2) и приняв во внимание, что произведение $m_0 \cdot c^2$ есть энергия E_0 частицы, получим

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{1-\beta^2}}; \qquad (3)$$

Возведя обе части равенства (3) в квадрат, найдем

$$E^2 = \frac{E_0{}^2}{1-\beta^2}$$

откуда

$$E^2 - (\beta \cdot E)^2 = E_0{}^2; \qquad (4)$$

Очевидно, что

$$\beta \cdot E = \frac{\upsilon}{c} \cdot m \cdot c^2 = m \cdot \upsilon \cdot c = p \cdot c$$

Поэтому равенство (4) можно переписать в виде

$$E^2 \cdot p^2 \cdot c^2 = E_0{}^2$$

откуда релятивистский импульс

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{E^2 - E_0{}^2} = \frac{1}{c}\sqrt{(E - E_0) - (E + E_0)}.$$

Разность между полной энергией и энергией покоя есть кинетическая энергия T частицы: $E - E_0 = T$.

Легко убедится, что $E + E_0 = T + 2E_0$, поэтому искомая связь между импульсом и кинетической энергией релятивистской частицы выразится формулой.

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{T \cdot (T + 2E_0)}$$

Вычисления удобно провести в два приема: сначала найти числовое значение радикала во внесистемных единицах, а затем перейти к вычислению в единицах СИ. Таким образом,

$$p = \frac{\sqrt{T \cdot (T + 2E_0)}}{c} = \frac{\sqrt{5 \cdot (5 + 2 \cdot 0{,}51)}}{c}$$

$$МэВ = \frac{5{,}5МэВ}{c} = \frac{5{,}5 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-13}}{3 \cdot 10^8\ м/с}\ Дж = 2{,}93 \cdot 10^{-21}\ кг \cdot м/с$$

П р и м е р 7. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, $\lambda_0 = 0{,}58 мкм$.

Определить энергетическую светимость (излучательность) R_e поверхности тела.

Р е ш е н и е Энергетическая светимость R_e абсолютно черного тела в соответствии с законом Стефана-Больцмана пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры и выражается формулой

$$R_e = \sigma \cdot T^4; (1)$$

где σ - постоянная Стефана-Больцмана; T - термодинамическая температура.

Температуру T можно вычислить с помощью закона смещения Вина

$$\lambda_0 = в/T. \quad (2)$$

где $в$ – постоянная закона смещения Вина.

Используя формулы (1) и (2) получим:

$$R_e = \sigma\left(\frac{в}{\lambda_0}\right)^4. \quad (3)$$

Выпишем числовые значения величин, входящих в эту формулу:

$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8} Вт/(м^2 K^4)$, $в = 2{,}90 \cdot 10^{-3} мК$, $\lambda_0 = 5{,}88 \cdot 10^{-7} м$,

и подставив числовые значения в формулу (3), произведём вычисления:

$$R_e = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\left(\frac{2{,}90 \cdot 10^{-3}}{5{,}8 \cdot 10^{-7}}\right)^4 Вт/м^2 = 3{,}54 \cdot 10^{-7}\ Вт/м^2 = 35{,}3 МВт/м^2$$

П р и м е р 8. Определить максимальную скорость υ_{max} фотоэлектронов, вырываемых с поверхности серебра: 1) ультрафиолетовыми лучами с длиной волны $\lambda_1 = 0{,}155 мкм$; γ - лучами с длиной волны $\lambda_2 = 1 пм$.

Р е ш е н и е. Максимальную скорость фотоэлектронов можно определить из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\varepsilon = A + T_{max}; \quad (1)$$

где ε – энергия фотона падающих на поверхность металла; A – работа выхода;

T_{max} – максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

Энергия фотона вычисляется также по формуле:

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}; \quad (2)$$

где h – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме; λ – длина волны.

Кинетическая энергия электрона может быть выражена или по классической формуле:

$$T = \frac{m_0 \upsilon^2}{2}; \quad (3)$$

или по релятивисткой формуле:

$$T = E_0\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right); \quad (4)$$

в зависимости от того, какая скорость сообщается фотоэлектрону.

Скорость фотоэлектрона зависит от энергии фотона, вызывающего фотоэффект: если энергия ε фотона много меньше энергии покоя E_0 электрона, то может быть применена формула (3), если же ε сравнима по величине с E_0, то вычисление по формуле (3) приводит к ошибке, поэтому нужно пользоваться формулой (4).

1. Вычислим энергию фотона ультрафиолетовых лучей по формуле (2):

$$\varepsilon_1 = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1{,}55 \cdot 10^{-7}}\ Дж = 1{,}28 \cdot 10^{-18}\ Дж,$$

или

$$\varepsilon_1 = \frac{1{,}28 \cdot 10^{-18}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} эВ = 8 эВ,$$

Полученная энергия фотона (8*эВ*) много меньше энергии покоя электрона (0,51*МэВ*). Следовательно, для данного случая кинетическая энергия фотоэлектрона в формуле (1) может быть выражена по классической формуле (3):

$$\varepsilon_1 = A + \frac{m_0 \upsilon^2{}_{max}}{2}$$

откуда

$$\upsilon_{max} = \sqrt{\frac{2(\varepsilon_1 - A)}{m_0}}. \qquad (5)$$

Выпишем числовые значения величин: $\varepsilon_1 = 1{,}28 \cdot 10^{-18}$ *Дж* (вычислено выше),

$A = 4{,}7 эВ = 4{,}7 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *Дж* $= 0{,}75 \cdot 10^{-18}$ *Дж*, $m_0 = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ *кг*.

Подставив числовые значения в формулу (5), найдём:

$$\upsilon_{max} = \frac{2(1{,}28 \cdot 10^{-18} - 0{,}75 \cdot 10^{-18})}{9{,}11 \cdot 10^{-31}} \frac{м}{с} = 1{,}08 \cdot 10^6 \frac{м}{с}.$$

2. Вычислим энергию фотона γ – лучей:

$$\varepsilon_2 = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{10^{-12}} Дж = 1{,}99 \cdot 10^{-13} Дж,$$

или

$$\varepsilon_2 = \frac{1{,}99 \cdot 10^{-13}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} эВ = 1{,}24 \cdot 10^6 эВ = 1{,}24 МэВ.$$

Работа выхода электрона (A = 4,4*эВ*) пренебрежимо мала по сравнению с энергией фотона (ε_2 = 1,24*МэВ*), поэтому можно принять, что максимальная кинетическая энергия электрона равна энергии фотона: $T_{max} = \varepsilon_2 = 1{,}24 МэВ$. Так как в данном случае кинетическая энергия электрона больше его энергии покоя, то для вычисления скорости электрона следует взять релятивистскую формулу кинетической энергии (4). Из этой формулы найдём:

$$\beta = \frac{\sqrt{(2E_0 + T)T}}{E_0 + T}.$$

Заметив, что $\upsilon = c\beta$ и $T_{max} = \varepsilon_2$ получим:

$$\upsilon_{max} = c\frac{\sqrt{(2E_0 + \varepsilon_2)\varepsilon_2}}{E_0 + \varepsilon_2};$$

Подставим числовые значения величин [2] и произведём вычисления:

$$\upsilon_{max} = \frac{\sqrt{(2 \cdot 0{,}51 + 1{,}24)1{,}24}}{0{,}51 + 1{,}24} \cdot 2 \cdot 10^8 \frac{м}{с} = 2{,}85 \cdot 10^8 \frac{м}{с}.$$

Контрольные задания.

500. Над горизонтальной поверхностью помещены на высоте h = 2 *м*. И на расстоянии l = 1 *м* друг от друга два источника света дающие световые потоки по Ф = 300 *лм* каждый. Определить освещённость на поверхности на середине расстояния между ними.

501. Поток энергии, излучаемый электрической лампой, $Ф_e$ = 600 *Вт*. На расстоянии r = 2 *м* от лампы перпендикулярно падающим лучам расположено круглое плоское зеркало диаметром d = 2 *см*. Определить силу F светового давления на зеркало.

1) Энергия E_0 и E_2 входят в формулу в виде отношения, поэтому их можно не выражать в единицах СИ.

502. Параллельный пучок монохроматических лучей с длиной волны λ = 0,6 *мкм* падает на зачернённую поверхность и производит на неё давление P = 0,3 *мкПа*. Определить концентрацию фотонов в световом пучке.

503. На расстоянии 3 *м* друг от друга находятся две лампы силой света 15 и 50 *кд*. Определить, где следует поместить экран между лампами, чтобы он имел одинаковую освещённость с обеих сторон.

504. Над центром круглого стола висит лампа, которую можно перемещать вверх и вниз. Где надо установить лампу, чтобы получить максимальную освещённость на край стола диаметром 2 *м*?

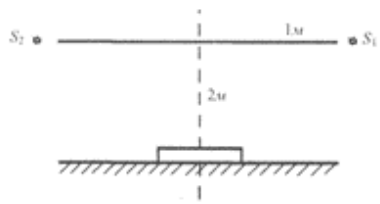
505. Над серединой чертёжной доски, образующей с горизонтальной плоскостью угол в 30°, на высоте 2 *м* висит лампа силой света 200 *кд*. Определить освещённость, яркость и светимость листа бумаги на доске, если коэффициент отражения бумаги 60%. Соответствует ли такая освещённость принятым нормам освещённости в 50 *лк*? (Лампу считать точечным источником).

506. Яркость светящегося куба одинакова во всех направлениях и равна 5000 *кд/м*^{2}, ребро куба равно 20 *см*. Определить максимальную силу света куба.

507. Над небольшой площадкой на высоте 5 *м* размещены два светильника, дающие полный световой поток соответственно 9420 и 12560 *лм*. Расстояние между ними 8,66 *м*. Чему равна освещенность площадки под светильниками на середине расстояния между ними?

508. Два точечных источника находятся на расстоянии 3 *м* друг от друга и на высоте 2 *м* над поверхностью книги, лежащей, как показано на рис.1. Источники создают одинаковую освещённость поверхности книги. Определить, какой из источников имеет большую силу света и во сколько раз.

Рис.1



509. На металлическую пластину с размерами $3 \times 2{,}0$ *м*^{2} падает световой поток 10500 *лк*. Коэффициент отражения пластины $k = 0{,}4$. Определить светимость поверхности.

510. Какую наименьшую толщину должна иметь мыльная плёнка, чтобы отражённые лучи имели красную окраску ($\lambda = 6{,}3 \cdot 10^{-5}$ *см*)? Белый луч падает на плёнку под углом 30°.

511. Найти расстояние Δl между двадцатым и двадцать первым светлыми кольцами Ньютона, если расстояние между вторым и третьим кольцами равно 1 *мм*, а кольца наблюдаются в отражённом свете.

512. Найти фокусное расстояние f плоско–выпуклой линзы, применённой для получения колец Ньютона, если радиус третьего светлого кольца равен 1,1 *мм*, $n_л = 1{,}6$; $\lambda = 5{,}890$ Å. Кольца наблюдаются в отражённом свете.

513. Для получения колец Ньютона используют плоско–выпуклую линзу. Освещая её монохроматическим светом с длиной волны 0,6 *мкм*, установили что, расстояние между пятым и шестым светлыми кольцами равно 0,56 *мм*. Определить радиус кривизны линзы.

514. На тонкую плёнку в направлении нормали к её поверхности падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 500$ *нм*. Отражённый от неё свет максимально усилен вследствие интерференции. Определить минимальную толщину d плёнки, если показатель преломления материала плёнки $n = 1{,}4$.

515. Расстояние L от щелей до экрана в опыте Юнга равно 1 *м*. Определить расстояние между щелями, если на отрезке длиной $l = 1$ *см* укладывается $N = 10$ тёмных интерференционных полос. Длина волны $\lambda = 0{,}7$ *мкм*.

516. Определить толщину воздушного зазора между плоско–выпуклой линзой и плоской стеклянной пластиной в том месте, где наблюдается шестое светлое кольцо Ньютона в отражённом свете, если на систему падает луч длиной волны 5820 *А*.

517. На тонкую плёнку с показателем преломления 1,5, расположенную в воздухе, падает нормально монохроматический свет (λ). Определить, какой должна быть наименьшая толщина плёнки, чтобы в отражённом свете она казалась тёмной. Какой цвет будет иметь плёнка, если её толщина будет 1,66?

518. В опыте Юнга расстояние между щелями равно 1,2 *мм*, источники посылают свет с длиной волны 0,57 *мкм*. На расстоянии 3,2 *м* от щелей помещён экран. Определить общее число световых интерференционных полос, расположенных на расстоянии 1 *см* от середины экрана.

519. Плоско–выпуклая линза с фокусным расстоянием $F = 1$ *м* лежит выпуклой стороной на стеклянной пластинке. Радиус пятого тёмного кольца Ньютона в отражённом свете $r_2 = 1{,}1$ *мм*. Определить длину световой волны λ.

520. На дифракционную решетку, содержащую 600 штрихов на 1 *мм* падает нормально монохроматический свет с длиной волны 5460 Å. Определить изменение угла отклонения лучей второго дифракционного максимума, если взять решетку со 100 штрихами на 1 *мм*.

521. Монохроматический свет с длиной волны 5750 Å падает нормально на дифракционную решетку с периодом 2,4 *мкм*. Определить наибольший порядок спектра и общее число главных максимумов в дифракционной картине.

522. Зелёный свет с длиной волны 500 *нм* падает на щель шириной 8 *мкм*. Определить, под каким углом наблюдается первый и второй минимумы.

523. Дифракционная решетка содержит 400 штрихов на 1 *мм*. На решетку падает монохроматический свет (красный), с длиной волны 650 *нм*. Под каким углом виден первый максимум?

524. Узкий пучок рентгеновских лучей падает под углом скольжения 20° на дифракционную решетку с периодом 2 *мкм*. Первый дифракционный максимум наблюдается под углом 12° к направлению пучка. Определить длину волны рентгеновских лучей.

525. На грань кристалла каменной соли под углом скольжения $\alpha = 31°3$ падает параллельный пучок рентгеновских лучей с длиной волны $\lambda = 1{,}47$ Å. Определить расстояние между атомными плоскостями в кристалле, если при этом угле скольжения наблюдается дифракционный максимум второго порядка.

526. Красный свет с длиной волны $\lambda = 655$ *мм* падает на щель шириной 10 *мкм*. Определить, под какими углами наблюдаются первый и второй максимумы.

527. Дифракционная решетка содержит 100 штрихов на один *мм*. На решетку падает монохроматический жёлтый свет с длиной волны 589 *мм*. Под каким углом виден первый максимум?

528. Пучок рентгеновских лучей падает на решетку с периодом 1 *мкм* под углом 89°30. Угол дифракции для спектра первого порядка равен 89°. Найти длину волны рентгеновских лучей.

529. На пластину со щелью, ширина которой $a = 0{,}04$ *мм* падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0{,}6$ *мкм*. Определить угол φ отклонения лучей, соответствующих первому дифракционному максимуму.

530. Луч света, проходящий через слой воды, падает на кварцевую пластину, частично отражается частично преломляется. Определить, каким должен быть угол падения, чтобы отражённый луч был перпендикулярен преломлённому.

531. Во сколько раз будет ослаблен луч естественного света, если его пропустить через два поляроида, плоскости поляризации составляют угол 66°? За счёт поглощения света теряется 5% энергии.

532. При прохождении света через слой 5%-ного сахарного раствора толщиной 15*см* плоскость поляризации света повернулась на угол 6,5°. На сколько повернёт плоскость поляризации 13%-ный раствор с толщиной слоя в 12 *см*?

533. На сколько процентов уменьшится интенсивность света после прохождения через призму Николя, если потери света составляют 5%?

534. Луч естественного света при прохождении двух николей был ослаблен в пять раз. В каждом николе интенсивность света за счёт отражения и поглощения уменьшилась на 10%. Определить угол между плоскостями поляризации николей.

535. При переходе луча света из первой среды во вторую, предельный угол полного внутреннего отражения оказался равным 61°. Под каким углом на границу раздела долен падать луч, идущий из второй среды в первую, чтобы отражённый луч был полностью поляризован?

536. Главные плоскости двух призм николя образуют между собой угол в 60°. На сколько следует изменить угол между главными плоскостями, чтобы интенсивность прошедшего света увеличилась вдвое.

537. Угол падения луча на поверхности стекла равен 60°. При этом отражённый луч оказался максимально поляризованным. Определить угол φ преломления луча.

538. При прохождении света через трубку длиной $l = 20$ *см*, содержащую раствор сахара с концентрацией $C = 10\%$, плоскость поляризации света повернулась на угол $\alpha = 13{,}3°$. В другом растворе сахара, налитом в трубку длиной $l_1 = 15$ *см*, плоскость поляризации повернулась на угол $\alpha_1 = 5{,}2°$. Определить концентрацию сахара во втором растворе.

539. Луч света, идущий в стеклянном сосуде с глицерином, отражается от дна сосуда. При каком угле падения отражённый луч максимально поляризован?

540. Максимальная длина волны, при которой возможен фотоэффект на вольфраме, равна 2300 $\mathring{A}$. Определить энергию электронов, вырываемых с поверхности вольфрама ультрафиолетовым светом с $\lambda = 1800$ $\mathring{A}$.

541. Вычислить длину волны для длинноволновой границы фотоэффекта на серебре, если работа выхода электрона из серебра $A_{вых} = 4{,}28$ *эВ*.

542. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вылетающих из медного электрода, освещаемого монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 250$ *нм*. Работа выхода электрона из меди $A_{вых} = 4{,}17$ *эВ*.

543. На фотоэлемент с катодом из лития падают лучи с длиной волны $\lambda = 200$ *нм*. Найти наименьшее значение задерживающей разности потенциалов U_{min}, которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок.

544. Какова должна быть длина волны γ – лучей, падающих на платиновую пластинку, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была $\upsilon_{max} = 3$ *мм/с*?

545. Работа выхода электронов для натрия равна $A_{вых} = 2{,}27$ *эВ*. Найти красную границу фотоэффекта для натрия.

546. На поверхность металла подают монохроматические лучи с длиной волны $\lambda = 0{,}1$ *мкм*. Красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 0{,}3$ *мкм*. Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии.

547. Ток насыщения, протекающий через вакуумный фотоэлемент при его освещении, равен $I = 3\cdot10^{-10}$ *А*. Найти число N электронов вырываемых светом из катода фотоэлементов в одну секунду.

548. Работа выхода электрона с поверхности цезия равна $A_{вых} = 1{,}89$ *эВ*. С какой максимальной скоростью вылетают электроны из цезия, если металл освещён тёмным светом с длиной волны $\lambda = 0{,}589$ *мкм*?

549. Красная граница фотоэффекта для железа, лития, калия определяется соответственно длинами волн: 285, 520, 580 *нм*. Найти работу выхода электронов из металлов и выразить её в электронвольтах.

550. Определить температуру T и энергетическую светимость R, абсолютно чёрного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волну $\lambda = 600$ *нм*.

551. Из смотрового окошечка печи излучается поток $\Phi = 4$ *кДж/мин*. Определить температуру печи T, если площадь окошечка $S = 8$ *см*^{2}?

552. Поток излучения абсолютно чёрного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda = 0{,}8$ *мкм*. Определить площадь излучающей энергии.

553. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно чёрного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра ($\lambda_1 = 780$ *нм*) на фиолетовую ($\lambda_2 = 390$ *нм*)?

554. Абсолютно чёрное тело имеет температуру $T_1 = 500$ *К*. Какова температура T_2 тела, если при нагревании поток излучения увеличится $n = 5$ раз?

555. Длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения абсолютно чёрного тела $\lambda = 0{,}65$ *мкм*. Определить температуру T тела.

556. Установить, какой слой толщины вещества ослабит интенсивность монохроматического света в 2 раза. Коэффициент линейного поглощения данного вещества равен $0{,}69\ \frac{1}{м}$.

557. Перед пучком лучей установлена преграда, уменьшающая интенсивность света, коэффициент линейного поглощения вещества равен $0{,}25\ \frac{1}{м}$. Во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении слоя вещества толщиной 2,77 *м*?

558. Два защитных слоя одинаковой толщины ослабляет интенсивность монохроматического пучка лучей. Первый слой ослабляет интенсивность лучей в 2 раза при коэффициенте поглощения $0{,}05\ \frac{1}{см}$. Второй слой ослабляет лучи в 5 раз. Найти коэффициент линейного поглощения этого слоя.

559. При прохождении через первый защитный слой вещества толщиной 2 *м* интенсивность света уменьшается в 2 раза, при прохождении второго слоя толщиной 1 *м* интенсивность света I уменьшается ещё в 3 раза. Определить линейные показатели поглощения слоёв.

Литература:

1. И.В. Савельев, Курс общей физики: В 3 т. Т. 2,3.-М.: Наука, 1973.

2. Б.М. Яворский, А.А. Пинский, Основы физики. В 2 т. Т.2.- М.: Наука, 1972.

3. Б.М. Яворский, А.А. Детлаф, Справочник по физике. М.: Наука, 1977

4. Г.А. Зисман, О.М. Тодес, Курс общей физики. М.: Наука, 1972

Подписано в печать 4.01.03. Формат 60 84/16.
Объем 2,75. Тираж 1500. Заказ № 17 .Цена 11руб.
Отпечатано на ризографе.
Кемеровский технологический институт пищевой промышленности,
650056, г.Кемерово, 56, б-р Строителей, 47.
Лаборатория множительной техники КемТИППа.
650010, г.Кемерово, 10, ул. Красноармейская, 52