Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего профессионального образования

"Национальный исследовательский технологический университет

"МИСиС"

В.А.Степанова, И.Ф. Уварова

ФИЗИКА Ч.2

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ. ОПТИКА

Сборник задач

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Национальный исследовательский технологический университет

МИСиС

Кафедра Физики

В.А. СТЕПАНОВА, И.Ф. УВАРОВА

ФИЗИКА Ч.2

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ. ОПТИКА

Сборник задач

Под редакцией профессора Д.Е. Капуткина

Рекомендовано редакционно-издательским советом университета

Москва Издательский дом МИСиС 2014

УДК

Р е ц е н з е н т
кандидат физ. - мат. наук *Ю.В. Осипов*

Степанова В.А.

Физика Ч.2. Электричество и магнетизм. Оптика: сб. задач/ В.А. Степанова, И.Ф. Уварова; под ред. Д.Е. Капуткина– М.: Изд. Дом МИСиС, 2014. – с.

Сборник содержит задачи по основным темам дисциплины "ФИЗИКА ч.2. Электричество и магнетизм. Оптика " для самостоятельного решения при выполнении домашних заданий студентами. В сборнике имеются методические указания к решению задач, приведены примеры решения типичных задач. В приложении содержатся некоторые справочные данные.

Предназначено для студентов – бакалавров ИИТАСУ, обучающихся по направлениям подготовки **220700, 230100, 230400, 230700, 231300**.

ОГЛАВЛЕНИЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЙ

Физика является одной из тех наук, знание которых необходимо для успешного изучения общенаучных и специальных дисциплин. При изучении дисциплины «Физика» большое значение имеет практическое применение теоретических знаний при решении задач. Хорошо известно, что единственный способ научиться решать задачи – пытаться решать их самостоятельно, поэтому освоение дисциплины «Физика» невозможно без развития навыков и культуры решения физических задач, умения применять физические законы к анализу реальных процессов и явлений. При этом решение физической задачи всегда предполагает создание модели физического процесса, которая учитывает лишь существенные стороны явления, содержит неизбежные приближения и допущения. Решение практически любой задачи допускает применение различных методов, основанных на одних и тех же физических законах. Результатом решения должно стать выражение требуемых физических величин через величины, известные из условия задачи.

Настоящий сборник содержит задачи по механике и молекулярной физике, сгруппированные в шесть разделов, в соответствии с программой дисциплины «Физика ч.2. Электричество и магнетизм. Оптика» для студентов-бакалавров ИИТАСУ. Каждая задача сформулирована в общем виде и дополнена таблицей числовых данных, размещенных в отдельных строках, которые обозначены соответственными номерами (шифрами). Физическая величина, числовое значение которой необходимо определить в данном шифре, обозначена знаком «?». Величины, обозначенные прочерком " – ", для решения данного шифра не требуются, т.е., определять их не нужно.

Единицы измерения, в которых необходимо выразить определяемую величину, указаны в заголовке соответствующей графы таблицы числовых данных (столбца). Во многих случаях используются дольные или кратные от единиц СИ, а также другие единицы, применяемые в науке и технике. Таблицы единиц измерения физических величин, соотношения между различными единицами, приставки для образования кратных и дольных единиц, а также значения основных физических постоянных содержатся в Приложении.

Номер задачи и номер шифра (строка числовых данных) студент выбирает в соответствии с маршрутом выполнения домашних заданий по своему номеру в журнале группы. Сроки и порядок сдачи (защиты) домашних заданий определяется графиком учебных занятий.

Задание должно быть оформлено в отдельной тонкой школьной тетради, на обложке которой указываются: фамилия и имя студента, номер группы, номер студента по журналу группы, номер домашнего задания, номера вошедших в него задач, шифр к задаче.

При решении каждой задачи необходимо полностью переписать условие, записать условие в кратком виде, при необходимости сделать поясняющий рисунок или схему. Образцы решения и оформления задач приведены в данном сборнике.

Приступая к решению задачи, внимательно ознакомьтесь с условием, вникните в постановку вопроса. Определите основные физические законы, которые можно использовать при решении задачи. В ходе решения необходимо пояснить и обосновать использование тех или иных законов, соотношений, формул. Ознакомьтесь с таблицами физических констант, которые даны в приложении, используя их при решении, не вводите иных обозначений и числовых значений для этих констант,

Для решения большинства задач требуется выполнить подробный и аккуратный чертеж, рисунок или схему (см. примеры решения). На чертеже указать все рассматриваемые объекты, обозначения, векторы, систему координат. В комментариях к рисунку разъяснить роль идеализаций и допущений, сделанных в задаче. В ряде случаев это облегчает решение задачи, позволяет представить физический процесс наглядно, а в задачах по механике решение без чертежа или рисунка, как правило, невозможно.

За редким исключением, каждая задача должна быть решена в общем виде, так чтобы искомая величина была выражена через заданные в условии величины. Решение в общем виде позволяет проанализировать результат, получить определенную закономерность, понять, как зависит искомая величина от заданных в условии параметров. Полученное в общем виде решение необходимо проверить с точки зрения размерности в обобщенном (буквенном) виде. Если размерность не соответствует искомой физической величине, нужно искать ошибки в решении. В отдельных случаях возможна подстановка числовых данных в промежуточные выражения, если это существенно облегчает решение, а выражение для искомой величины слишком громоздкое.

Приступая к вычислениям, выразите все числовые данные в одной системе единиц, желательно, в СИ. Если в выражение входят отношения однородных физических величин в одинаковой степени, то их можно выражать в любых, но одинаковых единицах. Получив числовой ответ, проанализируйте его на разумность. Так скорость движения человека не превышает нескольких километров в час, а давление идеального газа – нескольких атмосфер. Косвенной проверкой может служить сравнение полученного значения с данными для этой физической величины в таблице к задаче. Округлите полученный результат, сохранив в нем столько значащих цифр, сколько содержится в других значениях для этой физической величины в таблице. Обычно достаточно двух значащих цифр.

Физика – наука точная, широко использующая математический аппарат. Физические величины могут быть скалярными или векторными. Скалярные величины могут быть положительными и отрицательными и складываются алгебраически. Векторные величины складываются геометрически. При решении задач используют дифференциальное и интегральное исчисления. Следовательно, без знания основ математики решать задачи по физике невозможно.

Обобщая вышесказанное, сформулируем перечень основных методических рекомендаций по выполнению индивидуального домашнего задания:

1. Внимательно прочитать условие задачи.

2. Сделать краткую запись данных величин (выразив их значения в одной системе измерений) и искомых величин.

3. В зависимости от условия задачи (где это возможно) сделать чертеж, схему или рисунок с обозначением данных задачи.

4. Выяснив, какие физические законы или явления лежат в основе данной задачи, записать их математические выражения, прокомментировать применение именно данных законов и соотношений.

5. Решить задачу в общем виде, выразив искомую физическую величину через заданные в задаче величины и физические постоянные величины (в буквенных обозначениях без подставки числовых значений в промежуточные формулы).

6. Проверить правильность размерности искомой физической величины.

7. Произвести вычисления, подставив числа в окончательную формулу и указать единицу измерения искомой физической величины.

8. Записать ответ в кратком виде.

Если при решении задачи возникают осложнения с пониманием условии задачи и, как следствие, с конкретным способом её решения, необходимо внимательно ознакомиться с рекомендованной литературой, а именно, с теми разделами курса, которые нашли отражение в условиях. В случае неудачи рекомендуется обратиться за помощью к преподавателю.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1

Заряд q распределен равномерно по сфере радиуса R. На расстоянии r от центра сферы значение напряженности электрического поля равно E, а потенциал точек на поверхности сферы равен φ. Определить неизвестную величину.

q, мкКл	R, см	r, см	E, В/м	φ, кВ
_	20	25	?	90

Решение

В данном случае для расчета напряженности электрического поля целесообразно применять теорему Гаусса в вакууме:

$$\oint_S \vec{E}d\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon_0}. \tag{1}$$

В формуле (1) поток вектора напряженности $\Phi = \oint_S \vec{E}d\vec{S}$ может рассчитываться через любую замкнутую поверхность, q - суммарный заряд внутри поверхности. Вектор $d\vec{S}$ в каждой точке поверхности совпадает по направлению с внешней нормалью к поверхности.

Электрическое поле, созданное равномерно заряженной сферической поверхностью, будет центрально-симметричным, т.е. вектор напряженности $\vec{E}$ направлен вдоль радиуса сферы и величина напряженности зависит только от расстояния r до центра сферы. Тогда поток Φ удобно вычислять через сферическую замкнутую поверхность произвольного радиуса r с центром в центре сферы. На рис.1 показаны пунктиром две такие поверхности с радиусами $r_1 < R$ и $r_2 > R$.

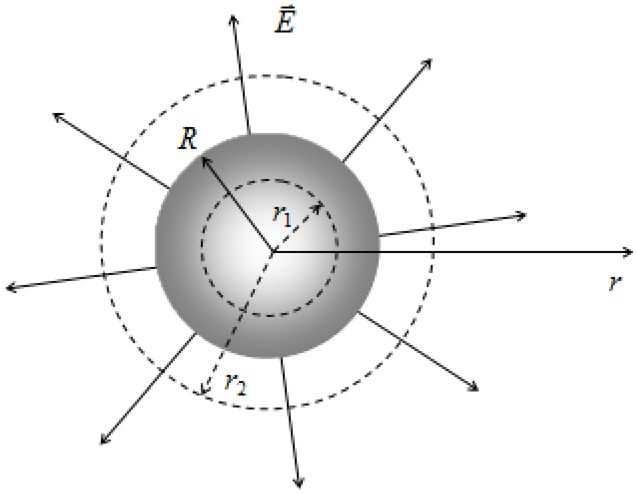

Рис. 1

В силу сделанных предположений о симметрии поля, вектор $\vec{E}$ совпадает по направлению с вектором нормали в каждой точке поверхности, поэтому $\vec{E} \uparrow\uparrow d\vec{S}$. Кроме того, значение напряженности E постоянно всюду на поверхности интегрирования. Тогда:

$$\oint_S \vec{E}d\vec{S} = \oint_S EdS = E\oint_S dS = E \cdot S \,,$$

где S – площадь поверхности интегрирования, т.е. $S = 4\pi \cdot r^2$. Окончательно для потока вектора напряженности через указанную поверхность интегрирования получим следующее выражение:

$$\oint_S \vec{E}d\vec{S} = E \cdot 4\pi \cdot r^2$$

Если $r < R$, то внутри поверхности интегрирования нет зарядов, т.к. заряд q распределен по поверхности сферы, следовательно:

$$E \cdot 4\pi \cdot r^2 = 0\,.$$

Поэтому при $r < R$ напряженность электрического поля $E = 0$.

Если $r > R$, то внутри поверхности интегрирования находится весь заряд сферы q, следовательно:

$$E \cdot 4\pi \cdot r^2 = \frac{q}{\varepsilon_0}\,.$$

Тогда напряженность электрического поля определяют по формуле:

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}.$$

Таким образом, внутри равномерно заряженной сферы электростатическое поле отсутствует, а вне сферы напряженность поля зависит от расстояния r так же, как поле точечного заряда q, помещенного в центр системы. При $r = R$ функция $E(r)$ терпит разрыв, скачком меняясь от нуля до значения

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R^2}.$$

Итак, зависимость $E(r)$ можно представить в виде следующей обобщенной формулы:

$$\begin{cases} E = 0; \ \ r < R \\ E = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 R^2}; \ \ r > R \end{cases} \qquad (2)$$

Используя формулу связи напряженности и потенциала, найдем сначала потенциал точек внутри сферы, при $r < R$:

$$\varphi = \int_r^\infty \vec{E}d\vec{r} = \int_r^R Edr + \int_R^\infty Edr \ .$$

При этом учтено, что вектор $\vec{E}$ совпадает по направлению с вектором $d\vec{r}$. Поскольку внутри заряженной сферы $E = 0$, то

$$\int_r^R Edr = 0.$$

Тогда, учитывая зависимость $E(r)$ в соответствии с (2) при $r > R$, получим для потенциала внутри заряженной сферы следующее выражение:

$$\varphi = \int_R^\infty Edr = \int_R^\infty \frac{qdr}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R}.$$

Потенциал внутри заряженной сферы одинаков во всех точках.

Для точек вне сферы, при $r > R$, получим:

$$\varphi = \int_r^\infty Edr = \int_r^\infty \frac{qdr}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}.$$

Таким образом, вне заряженной сферы потенциал поля зависит от расстояния r так же, как поле точечного заряда q, помещенного в центр системы. Обобщая полученные выше формулы для потенциала, запишем зависимость $\varphi(r)$ для равномерно заряженной сферы в виде:

$$\begin{cases} \varphi = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 R}; \; r \le R \\ \varphi = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}; \; r > R \end{cases} \tag{3}$$

Отметим, что при $r = R$ потенциал, в отличие от напряженности, не испытывает разрыва.

Полагая в (3) $r = R$ выразим заряд сферы:

$$q = 4\pi\varepsilon_0 R\varphi .$$

Тогда выражение для напряженности E при $r > R$ имеет вид:

$$E = \frac{R\varphi}{r^2} . \tag{4}$$

Выразим данные задачи в СИ, проверим размерность и проведем вычисления.

R = 0,2 м r = 0,25 м φ = 90 кВ	$[E] = \dfrac{\text{мВ}}{\text{м}^2} = \dfrac{\text{В}}{\text{м}}$ $E = \dfrac{0{,}2\cdot 90\cdot 10^3}{0{,}25^2} = 288\cdot 10^3$ (В/м) = 288 (кВ/м)
E = ?	Ответ: E = 288 кВ/м.

Задача 2

По двум длинным параллельным прямым проводам текут в одном направлении токи I_1 и I_2. Расстояние между проводами равно d. Значение магнитной индукции в точке, лежащей на расстоянии r_1 от провода с током I_1 и на расстоянии r_2 от провода с током I_2, равно B. Определить неизвестную величину.

I_1, А	I_2, А	r_1, см	r_2, см	d, см	B, мкТл
0,42	0,83	45	30	37	?

Решение

Токи, текущие по проводникам создают магнитные поля, векторы магнитной индукции которых обозначим $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ (рис.2).

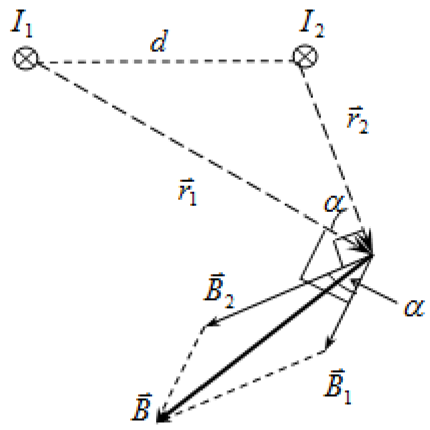

Рис.2

Каждый из векторов $\vec{B}_1$ или $\vec{B}_2$ образует с направлением тока в соответствующем проводнике и с вектором $\vec{r}_1$ или $\vec{r}_2$ правую тройку ортогональных векторов. Поэтому для выбранного на рис.2 направления токов угол между векторами $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ оказывается равным углу между векторами $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$. Индукцию результирующего магнитного поля $\vec{B}$ можно определить на основе принципа суперпозиции:

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

Для определения модулей векторов $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ воспользуемся формулой вычисления для магнитной индукции поля, созданного длинным прямолинейным проводником с током:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r},$$

где $\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная, I – сила тока в проводнике, r – расстояние от проводника до точки, в которой вычисляется магнитная индукция. Используя эту формулу, получим следующие выражения для B_1 и B_2:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r_1}; \quad B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r_2}. \qquad (5)$$

Модуль результирующего вектора $\vec{B}$ найдем по теореме косинусов:

$$B^2 = B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2\cos\alpha. \qquad (6)$$

Величину $\cos\alpha$ определим также по теореме косинусов, используя расстояние между токами и расстояния от токов до точки вычисления магнитной индукции поля

$$\cos\alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1r_2}. \qquad (7)$$

Подставляя в (6) формулы (5) и (7), получим для результирующего значения магнитной индукции следующее выражение:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{I_1}{r_1}\right)^2 + \left(\frac{I_2}{r_2}\right)^2 + \frac{I_1I_2\left(r_1^2 + r_2^2 - d^2\right)}{\left(r_1r_2\right)^2}}.$$

Выразим данные задачи в СИ, проверим размерность и проведем вычисления.

$I_1 = 0{,}42$ А

$I_2 = 0{,}83$ А

$d = 0{,}37$ м

$r_1 = 0{,}45$ м

$r_2 = 0{,}30$ м

$B = ?$

$$[B] = \frac{\text{Гн}}{\text{м}}\cdot\sqrt{\frac{\text{А}^2}{\text{м}^2}} = \frac{\frac{\text{м}^2\text{кг}}{\text{с}^2\text{А}^2}}{\text{м}}\cdot\frac{\text{А}}{\text{м}} = \frac{\text{кг}}{\text{с}^2\text{А}} = \text{Тл}$$

$$B = \frac{4\cdot 3{,}14\cdot 10^{-7}}{2\cdot 3{,}14}\sqrt{\left(\frac{0{,}42}{0{,}45}\right)^2 + \left(\frac{0{,}83}{0{,}30}\right)^2 + \frac{0{,}42\cdot 0{,}30\cdot\left(0{,}45^2 + 0{,}30^2 - 0.37^2\right)}{\left(0{,}45\cdot 0{,}30\right)^2}} =$$

$$= 0{,}68\cdot 10^{-6}\ (\text{Тл}) = 0{,}68\ (\text{мкТл})$$

Ответ: $B = 0{,}68$ мкТл.

Задача 3

Электрон влетает в область однородного магнитного поля перпендикулярно линиям магнитной индукции. Радиус кривизны траектории частицы равен *R*, период обращения равен *T*, на частицу со стороны магнитного поля действует сила *F*. Определить неизвестную величину.

R, см	*T*, мкс	*F*, Н
4,0	2,0	?

Решение

Поскольку скорость электрона перпендикулярна линиям магнитной индукции, то в однородном магнитном поле электрон будет двигаться по окружности радиуса R (рис.3) с постоянной по величине скоростью под действием силы Лоренца:

$$\vec{F} = e[\vec{\upsilon} \cdot \vec{B}],$$

где $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл - заряд электрона, $\vec{\upsilon}$ - скорость электрона, $\vec{B}$ - вектор магнитной индукции. Поскольку скорость частицы перпендикулярна $\vec{B}$, то модуль силы Лоренца F равен:

$$|\vec{F}| = |e|\upsilon \cdot B. \qquad (8)$$

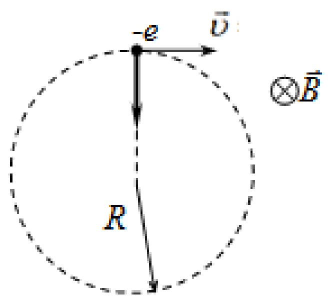

Рис.3

Запишем второй закона Ньютона с учетом выражения для силы Лоренца:

$$m\vec{a}_ц = e[\vec{\upsilon} \cdot \vec{B}], \qquad (9)$$

где $a_ц$ - центростремительное ускорение, которое определяется по формуле:

$$a_ц = \frac{m\upsilon^2}{R}. \qquad (10)$$

Масса электрона $m = 9 \cdot 10^{-31}$ кг. Подставляя (10) в (9) и переходя к скалярной записи, получим следующее уравнение:

$$\frac{m\upsilon^2}{R} = |e|\upsilon B. \qquad (11)$$

Из уравнения (11) можно выразить радиус окружности R:

$$R = \frac{m\upsilon}{|e|B}. \qquad (12)$$

Период обращения частицы T по окружности не зависит ни от скорости частицы, ни от радиуса окружности, а определяется удельным зарядом частицы и магнитной индукцией:

$$T = \frac{2\pi R}{\upsilon} = \frac{2\pi m}{|e|B}. \qquad (13)$$

Выразив из (12) и (13) υ и B, подставим эти параметры в (8) и получим окончательную формулу для силы Лоренца F:

$$F = \frac{4\pi^2 mR}{T^2}. \qquad (14)$$

Выразим данные задачи в СИ, проверим размерность и проведем вычисления.

$R = 0{,}040$ м
$T = 2{,}0 \cdot 10^{-6}$ с
$m = 9 \cdot 10^{-31}$ кг

$F = ?$

$$[F] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н}$$

$$F = \frac{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 9 \cdot 10^{-31} \cdot 0{,}040}{\left(2{,}0 \cdot 10^{-6}\right)^2} = 3{,}5 \cdot 10^{-19} \text{ (Н)}$$

Ответ: $E = 3{,}5 \cdot 10^{-19}$ Н.

Задача 4

Круговой контур, диаметр которого D, находится в однородном магнитном поле, линии магнитной индукции которого перпендикулярны плоскости контура. Индукция магнитного поля меняется во времени с постоянной скоростью $\frac{dB}{dt}$. Сопротивление контура равно R . Выделяющаяся в контуре тепловая мощность равна P. Определить неизвестную величину.

D, см	R, Ом	$\frac{dB}{dt}$, Тл/с	P, мкВт
5	0,03	0,15	?

Решение

При изменении магнитного поля меняется магнитный поток Φ через поверхность, ограниченную круговым контуром. В соответствии с законом электромагнитной индукции, в контуре возникает ЭДС индукции $\mathcal{E}_i$:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}. \tag{15}$$

Как следствие в проводящем контуре возникает индукционный ток I, величина которого определяется в соответствии с законом Ома для замкнутого контура:

$$I = \frac{|\mathcal{E}_i|}{R}.$$

В случае однородного магнитного поля с индукцией $\vec{B}$ магнитный поток через площадь S, ограниченную плоским контуром, вычисляется по формуле:

$$\Phi = BS\cos\alpha, \tag{16}$$

где α - угол между вектором нормали $\vec{n}$ к плоскости контура и вектором $\vec{B}$. Как следует из условия задачи, α = 90º (рис.4).

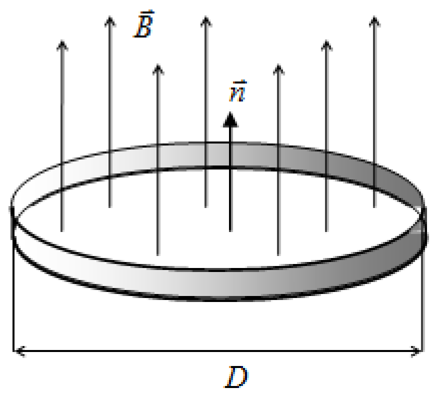

Рис.4

Учтем, что площадь S кругового контура постоянна и равна

$$S = \pi\frac{D^2}{4}. \tag{17}$$

Тогда, подставляя в (15) величины Φ и S в соответствии с уравнениями (16) и (17), получим для модуля ЭДС индукции $|\mathcal{E}_i|$ следующее выражение:

$$|\mathcal{E}_i| = \frac{\pi D^2}{4}\left|\frac{dB}{dt}\right|. \qquad (18)$$

Значение силы тока I вычисляется по формуле

$$I = \frac{|\mathcal{E}_i|}{R} = \frac{\pi D^2}{4R}\left|\frac{dB}{dt}\right|. \qquad (19)$$

Тепловую мощность P, выделяющуюся в контуре с сопротивлением R, находим по закону Джоуля-Ленца:

$$P = I^2 R. \qquad (20)$$

С учетом полученного выше выражения для силы тока (19), окончательная формула для тепловой мощности P принимает вид:

$$P = \frac{\pi^2 D^4}{16R}\left(\frac{dB}{dt}\right)^2.$$

Выразим данные задачи в СИ, проверим размерность и проведем вычисления.

$D = 0{,}05$ м

$R = 0{,}03$ Ом

$\frac{dB}{dt} = 0{,}15$ Тл/с

$P = ?$

$$[P] = \frac{\text{м}^4}{\text{Ом}}\left(\frac{\text{Тл}}{\text{с}}\right)^2 = \frac{\text{м}^4}{\left(\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{с}^3\text{А}^2}\right)}\left(\frac{\text{кг}}{\text{с}^3\text{А}}\right)^2 = \frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{с}^3} = \text{Вт}$$

$$P = \frac{3{,}14^2\cdot 0{,}05^4\cdot 0{,}15^2}{16\cdot 0{,}03} = 2{,}9\cdot 10^{-6}\ (\text{Вт}) = 2{,}9\ (\text{мкВт})$$

Ответ: $P = 2{,}9$ мкВт.

Задача 5

Собирающая тонкая линза с фокусным расстоянием f, дает действительное изображение предмета, линейное увеличение которого равно k. Расстояние от предмета до линзы равно a, а от линзы до изображения равно b. Расстояние от предмета до изображения равно ℓ. Определить неизвестную величину.

k	a, см	b, см	ℓ, см	f, м
5	—	—	72	?

Решение

Решение почти всех задач по оптике, в том числе и расчетных, начинают с выполнения построения. Для построения изображения в тонкой линзе необходимо использовать не менее двух лучей, ход которых известен. Обычно выбирают следующие лучи (рис.5): луч 1, идущий через оптический центр (не изменяющий своего направления); луч 2, параллельный главной оптической оси (после преломления в линзе он или его продолжение проходит через главный фокус); луч 3, который проходит через фокус (после преломления идет параллельно главной оптической оси).

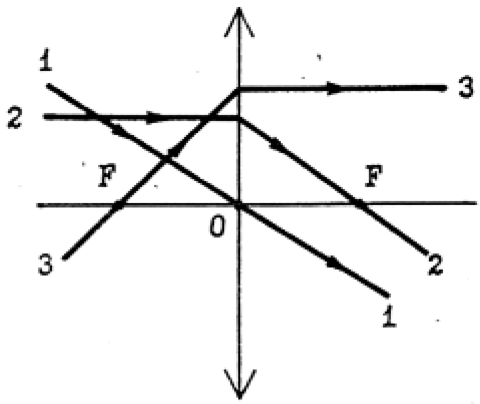

Рис. 5

Принцип построения хода лучей в линзе заключается в том, что от точки, изображение которой необходимо получить, проводят два луча до их пересечения или пересечения их продолжений. Точка пересечения и является изображением точки. Если точка находится на главной оптической оси, ее изображение располагается на той же оси. Исходя из этого, для построения изображают предмет в виде стрелки высотой Y, основание которой находится на главной оптической оси.

Линейное увеличение линзы (k) – это величина, равная отношению линейного размера изображения Y' к линейному размеру предмета Y

$$k = \frac{Y'}{Y}.$$

В геометрии в подобных треугольниках против равных углов лежат пропорциональные стороны, поэтому

$$k = \frac{Y'}{Y} = \frac{a}{b},$$

где a – расстояние от предмета до линзы; b – расстояние от линзы до изображения. В зависимости от расположения предмета и линзы, изображение может быть увеличенным, уменьшенным или равного размера, т.е. линейное увеличение k может быть больше, меньше или равно единице (рис.6). Указанные случаи расположения предмета дают следующие изображения:

- предмет (стрелка) расположен между фокусом и двойным фокусом - изображение действительное, увеличенное и перевернутое;
- предмет расположен от линзы на расстоянии большем, чем двойное фокусное расстояние $2f$ - изображение действительное, перевернутое, уменьшенное;
- предмет расположен на двойном фокусном расстоянии от линзы - изображение действительное перевернутое, размер которого равен размеру предмету.

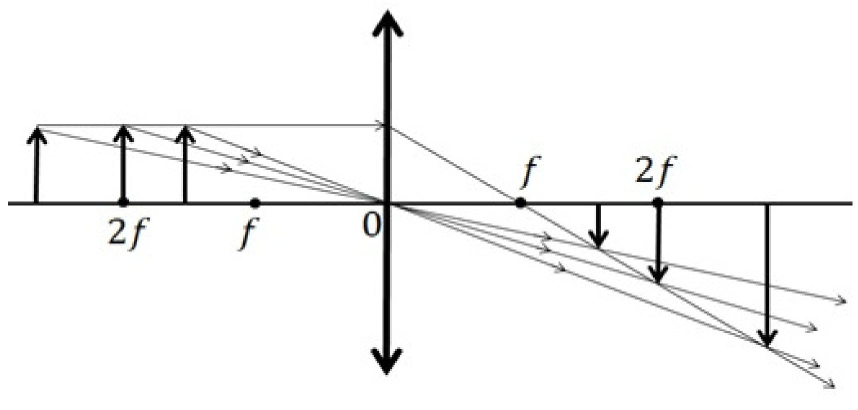

Рис.6

По условию задачи k=5, значит предмет (стрелка) расположен между фокусом и двойным фокусом (рис.7).

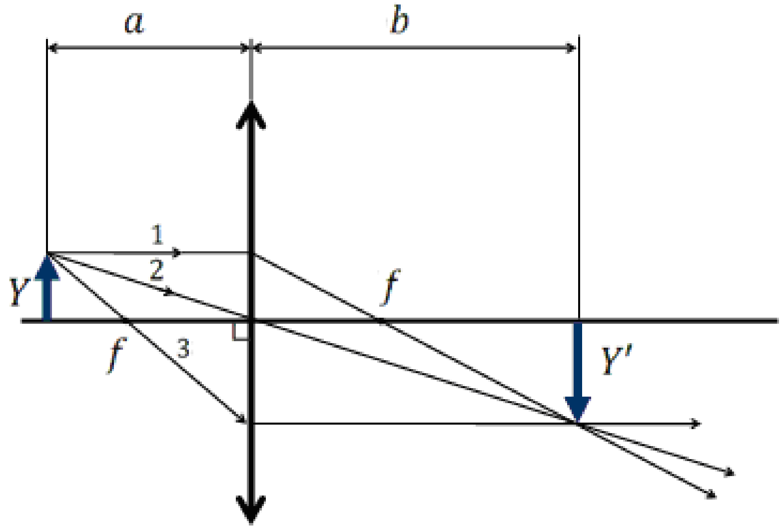

Рис. 7

Расстояние от предмета до изображения ℓ равно сумме расстояний от предмета до линзы a и от линзы до изображения b

$$\ell = a + b .$$

Учитывая соотношение между увеличением предмета и расстояниями, получаем

$$b = ka, \quad \ell = a(1+k), \quad a = \frac{\ell}{1+k} .$$

Для нахождения фокусного расстояния воспользуемся формулой линзы

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b},$$

где f – главное фокусное расстояние; a – расстояние от предмета до линзы; b – расстояние от линзы до изображения; если изображение мнимое, величине b придается знак минус. Подставляя значения a и b, получаем

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{ka} = \frac{1+k}{ka} = \frac{(1+k)^2}{k\ell} .$$

Откуда получаем формулу вычисления фокусного расстояния линзы

$$\boxed{f = \frac{k\ell}{(1+k)^2}}.$$

Выразим данные задачи в СИ, проверим размерность и проведем вычисления.

$k = 5$ $\ell = 0{,}72$ м	
$f = ?$	

$$[f] = \frac{(безразмерная\ величина)\cdot м}{(безразмерная\ величина)} = м$$

$$f = \frac{5\cdot 0{,}72}{6^2} = 0{,}10$$

Ответ: $f = 0{,}10$ м.

Задача 6

Плоскопараллельная прозрачная пластинка с показателем преломления n_1 находится в среде с показателем преломления n_2. На пластинку под углом i падает параллельный пучок белого света. При наименьшей толщине пластинки d отраженный от верхней и нижней поверхностей пластинки свет максимально окрасится в цвет длиной волны λ. Определить неизвестную величину.

n_1	n_2	i, градус	d, мкм	λ, нм
1,56	1,00	30	?	600

Решение

При падении световой волны на плоскопараллельную прозрачную пластинку происходит отражение от обеих её поверхностей и возникают когерентные волны. Для решения задачи выделим из падающего параллельного пучка белого света два параллельных луча, обозначив их номерами 1 и 2 (рис. 8).

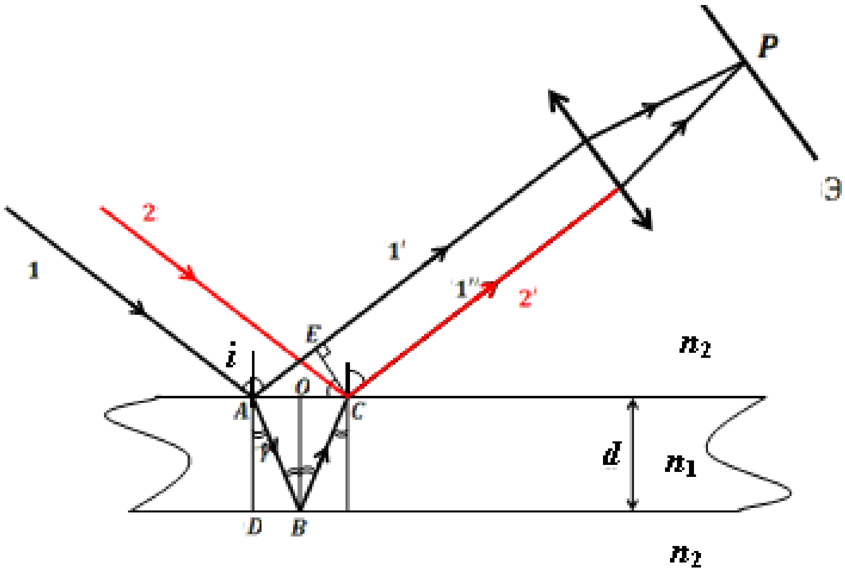

Рис. 8

Пластинка отбрасывает вверх два параллельных пучка света, которые образовались за счет отражения от верхней поверхности (лучи 1' и 2') или от её нижней поверхности (луч 1''). Если на пути параллельных между собой лучей 1' и 1'' поставить тонкую двояковыпуклую линзу перпендикулярно направлению распространения лучей, то на экране, расположенном в фокальной плоскости линзы, можно наблюдать интерференцию этих лучей. Лучи 1' и 2' интерферируют в любом месте после выхода их из точки *C*. Оптическая разность хода интерферирующих лучей Δ' вычисляется по одной и той же формуле, которую не трудно вывести, используя формулу определения оптической разности хода и геометрические равенства,

$$\Delta' = 2d\sqrt{n_1^2 - \sin^2 i}\ ,$$

где d – толщина пластинки, n_1 – абсолютный показатель материала пластинки, i – угол падения луча на пластинку.

В точках *A* и *C* при отражении световой волны от границы раздела оптически менее плотной (n_2) среды с оптически более плотной (n_1) происходит скачок фазы на π, а в точке *B* этого скачка не происходит, т.к. $n_1 > n_2$, т.е. здесь происходит отражение от границы раздела среды оптически более плотной со средой оптически менее плотной. В итоге, между лучами 1' и 1'' (как и между лучами 1' и 2') возникает дополнительная разность фаз π, которую можно учесть, добавив к Δ' половину длины волны в вакууме. В результате получаем формулу вычисления оптической разности хода интерферируемых при отражении от плоскопараллельной пластинки лучей

$$\Delta = 2d\sqrt{n_1^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}. \qquad (21)$$

Отраженный от верхней и нижней поверхностей пластинки свет максимально окрасится в цвет длиной волны λ при выполнении условия максимума при интерференции, которое для оптической разности хода записывают как

$$\Delta = 2m\frac{\lambda}{2}. \qquad (22)$$

где $m = 0,1,2,3\ldots$. Приравняв правые части равенств (21) и (22), получаем

$$2d\sqrt{n_1^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = 2m\frac{\lambda}{2} \quad \text{или} \quad d = \frac{\lambda(2m-1)}{4\sqrt{n_1^2 - \sin^2 i}}, \quad \text{где } m = 0,1,2,3\ldots$$

Минимальное значение величина d имеет при $m = 1$, т.к. при минимальном значении $m = 0$ величина d будет отрицательной, что невозможно. Тогда наименьшая толщина пластинки d, при которой отраженный от верхней и нижней поверхностей пластинки свет максимально окрасится в цвет длиной волны λ, вычисляется по формуле

$$\boxed{d = \frac{\lambda}{4\sqrt{n_1^2 - \sin^2 i}}}.$$

Выразим данные задачи в СИ, проверим размерность и проведем вычисления.

$n_1 = 1{,}56$	$$[d] = \frac{[\lambda]}{(\textit{безразмерная величина})} = м$$
$n_2 = 1{,}00$	
$i = 60^0$	$$d = \frac{6\cdot 10^{-7}}{4\sqrt{(1{,}56)^2 - \sin^2 60}} = 1{,}16\cdot 10^{-7} \approx 0{,}12\cdot 10^{-6}\,(м) = 0{,}12\,(мкм)$$
$\lambda = 6\cdot 10^{-7}$м	
$d = ?$	Ответ: $d = 0{,}12$ мкм.

Задача 7

Точечный источник монохроматического света с длиной волны λ расположен перед диафрагмой с круглым отверстием диаметром d на расстоянии a. Дифракционная картина наблюдается на экране, расположенном параллельно диафрагме на расстоянии b от него. Отверстие открывает m зон Френеля. Определить неизвестную величину.

λ, мкм	a, см	b, м	d, мм	m
0,52	88,0	2,1	2,0	?

Решение

При падении световой волны на непрозрачный экран с круглым отверстием (его называют диафрагмой с круглым отверстием) наблюдают дифракцию Френеля. Открытые участки волнового фронта являются источниками вторичных волн, как показанные точки A_m и D (рис. 5). Из рисунка видно, что волновой фронт вторичных волн проникает в область геометрической тени.

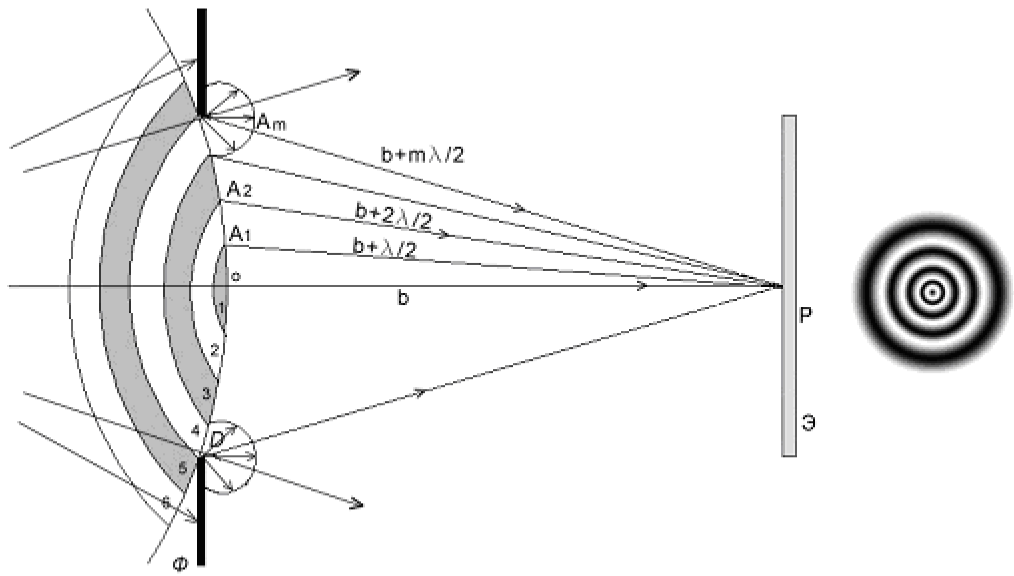

Рис. 9

Расположим экран так, чтобы перпендикуляр, опущенный из точечного источника света S, попал в центр отверстия, а продолжением его будет линия

OP, обозначенная на рис. 9. Такое расположение источника света, диафрагмы с круглым отверстием (преграда) и экрана схематично показано на рис. 10, а.

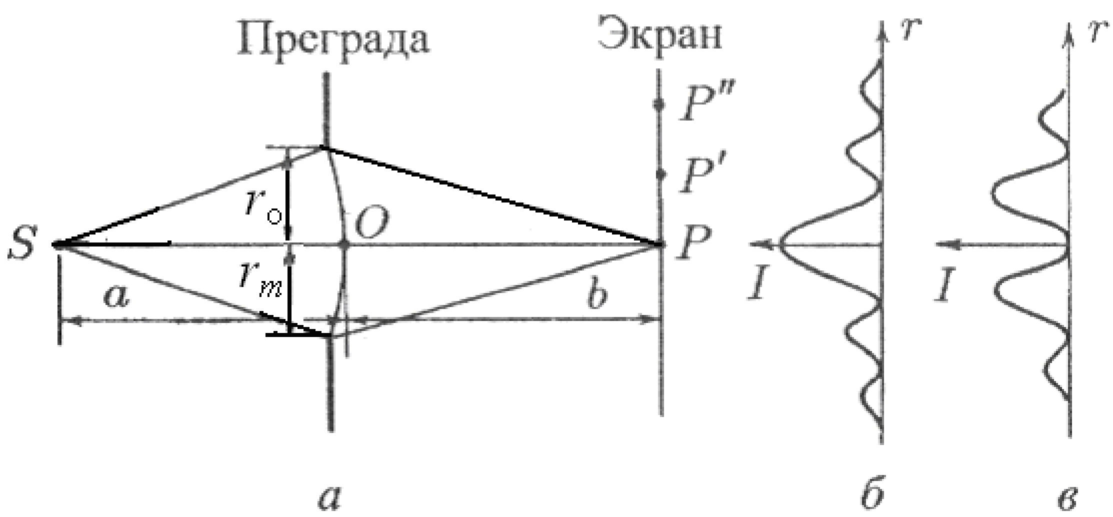

Рис. 10

Число зон Френеля, открываемых отверстием, зависит от его диаметра (или его радиуса r_0), так как радиус m - ой открытой зоны Френеля есть не что иное, как радиус отверстия $r_m = r_0$. Радиус m - ой открытой зоны Френеля вычисляют по формуле

$$r_m = \sqrt{\frac{m\lambda}{\frac{1}{a}+\frac{1}{b}}},$$

где λ – длина волны падающего света, a – расстояние от источника света до преграды, b – расстояние от преграды до экрана, m – номер максимально открытой зоны Френеля, m=1,2,3,... Тогда число открытых зон Френеля можно вычислить по формуле

$$m = \frac{r_0^2}{\lambda}\left(\frac{1}{a}+\frac{1}{b}\right).$$

В зависимости от размера отверстия, число открытых зон Френеля будет четным или нечетным и в центре дифракционной картины будет максимум (рис. 10, б) или минимум (рис. 10, в) интенсивности света.

По условию задачи дано отверстием диаметром d, поэтому

$$\boxed{m = \frac{d^2}{4\lambda}\left(\frac{1}{a}+\frac{1}{b}\right).}$$

Выразим данные задачи в СИ, проверим размерность и проведем вычисления.

$\lambda = 52 \cdot 10^{-8}$м

$a = 88 \cdot 10^{-2}$м

$b = 2{,}1$ м

$d = 2 \cdot 10^{-3}$м

$m = ?$

$$[m] = \frac{[d]^2}{[\lambda]} \cdot \frac{1}{[a]} = (\textit{безразмерная величина})$$

$$m = \frac{\left(2 \cdot 10^{-3}\right)^2}{4 \cdot 52 \cdot 10^{-8}} \left(\frac{1}{88 \cdot 10^{-2}} + \frac{1}{2{,}1} \right) = 3{,}1 \approx 3$$

Ответ: $m = 3$.

Задача 8

Интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор и анализатор, расположенных так, что угол между их главными плоскостями равен φ, уменьшилась в n раз. Угол φ острый. В поляризаторе теряется некоторая доля p падающего на него света, а в анализаторе доля потерь равна k. Определить неизвестную величину.

φ, градус	n	p	k
30	?	0,08	0.2

Решение

Поляризаторы (и анализаторы) свободно пропускают колебания, параллельные главной плоскости поляризатора (анализатора) – плоскости поляризации света, пропускаемого поляроидом, и полностью или частично задерживают колебания, перпендикулярные ей. Пусть естественный свет падает на поляризатор, который на рис. 11 обозначен буквой П.

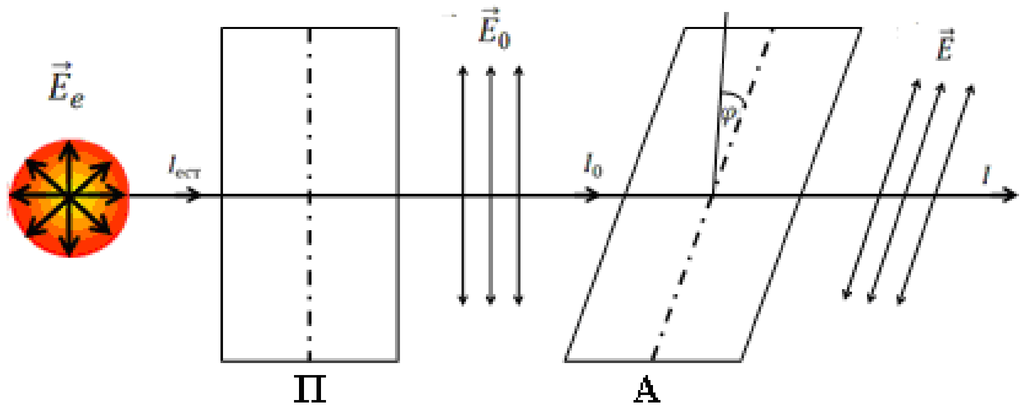

Рис. 11

Из поляризатора выйдет плоско поляризованный свет, интенсивность которого равна I_0, а колебания светового вектора $\vec{E}_0$ параллельны плоскости поляризатора. В естественном свете все значения угла φ_0 (угол между плоскостью колебаний светового вектора падающего естественного света и плоскостью поляризатора) равновероятны. Поэтому интенсивность света, прошедшего через поляризатор, будет кратна среднему значению $\cos^2\varphi_0$, равному ½ и с учетом потери доли p падающего на поляризатор света определяется выражением

$$I_0 = \frac{1}{2}(1-p)I_e,$$

где I_e – интенсивность естественного света, а I_0 – интенсивность плоско поляризованного света, вышедшего из поляризатора.

Через анализатор пройдет составляющая светового вектора падающей волны $\vec{E}$. Интенсивность I света, вышедшего из анализатора, согласно закону Малюса выразится через интенсивность I_0 плоско поляризованного света, падающего на анализатор, и с учетом потери доли k падающего на анализатор света определяется выражением

$$I = (1-k)I_0\cos^2\varphi,$$

где φ – угол между главными плоскостями поляризации поляризатора и анализатора.

Таким образом, интенсивность света, прошедшего через анализатор и поляризатор, равна

$$I = (1-p)(1-k)\frac{1}{2} I_e \cos^2 \varphi .$$

По условию задачи

$$n = \frac{I_e}{I} .$$

Тогда искомая величина, равная уменьшению естественного света, прошедшего через поляризатор и анализатор, расположенных так, что угол между их главными плоскостями равен φ, с учетом потерь энергии, вычисляется по формуле

$$\boxed{n = \frac{2}{(1-p)(1-k)\cos^2 \varphi}}.$$

Данные задачи выражены в СИ. Проведем вычисления.

$\varphi = 30^0$
$k = 0{,}2$
$p = 0{,}08$
$n = ?$

$$n = \frac{2}{(1-0{,}08)(1-0{,}2)\cos^2 30} = 3{,}6$$

Ответ: $n = 3{,}6$.

1. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Задача 1 — 01

В трех последовательных вершинах квадрата со стороной a находятся заряды q_1, q_2 и q_3. Напряженность и потенциал электрического поля в свободной вершине равны соответственно E и φ. Определить неизвестную величину.

шифр	a, см	q_1, нКл	q_2, нКл	q_3, нКл	φ, В	E, В/м
1	_	- 8,1	4,2	7,3	350	?
2	51	_	- 5,8	- 1,6	110	?
3	18	3,2	_	1,7	-160	?
4	23	-7,4	2,5	_	-430	?
5	12	1,1	1,5	-2,3	_	?

Задача 1 — 02

В двух противоположных по диагонали вершинах квадрата со стороной a находятся заряды q_1, и q_2 . В центре квадрата находится заряд q_3. Напряженность и потенциал электрического поля в каждой свободной вершине равны соответственно E и φ. Определить неизвестную величину.

шифр	a, см	q_1, мкКл	q_2, мкКл	q_3, мкКл	φ, кВ	E, кВ/м
1	_	-4,7	2,1	3,6	93	?
2	35	_	-3,9	2,7	180	?
3	17	5,2	_	-1,9	360	?
4	21	-1,4	-3,6	_	-520	?
5	11	2,8	-4,7	-2,1	_	?

Задача 1 — 03

Проводящая сфера радиуса R_1, заряд которой равен q_1, окружена концентрической тонкостенной проводящей оболочкой радиуса R_2, по которой равномерно распределен заряд к q_2. В точке, лежащей на расстоянии r от центра системы, напряженность и потенциал электрического поля равны соответственно E и φ. Потенциал внутренней сферы равен φ_1, потенциал внешней сферы равен φ_2. Определить неизвестную величину.

шифр	q_1, нКл	q_2, нКл	R_1, см	R_2, см	r, см	φ_1, В	φ_2, В	φ, кВ	E, В/м
1	_	_	18	35	21	- 97	6,0	?	_
2	5,4	_	12	24	30	_	- 49	_	?
3	_	1,1	23	28	25	- 110	_	?	_
4	_	- 4,1	14	42	37	_	_	- 240	?
5	4,8	_	27	34	41	90	_	?	_

Задача 1 — 04

Две проводящие сферы радиусов R_1 и R_2, находящиеся на расстоянии, многократно превышающем их радиусы, заряжены до потенциалов φ_1 и φ_2 соответственно, а их энергии равны W_1 и W_2. После того, как сферы соединяют тонкой проволокой, емкостью которой можно пренебречь, потенциал сфер становится равным φ. Определить неизвестную величину.

шифр	R_1, см	R_2, см	φ_1, В	φ_2, В	W_1, мкДж	W_2, мкДж	φ, В
1	_	15	310	_	1,86	?	- 230
2	12	27	- 2700	500	_	_	?
3	13	_	_	2700	?	101	850
4	30	_	?	-370	_	3,52	520
5	36	_	450	1800	_	41,4	?

Задача 1 — 05

Пространство между обкладками плоского конденсатора целиком заполнено двумя последовательно расположенными диэлектрическими слоями с толщинами d_1 и d_2, диэлектрические проницаемости которых равны соответственно ε_1 и ε_2. Площадь каждой обкладки конденсатора равна S, напряжение на конденсаторе U, энергия конденсатора W. Определить неизвестную величину.

шифр	d_1, мм	d_2, мм	ε_1	ε_2	S, см^2	U, В	W, мкДж
1	?	4,2	6,7	3,6	26	240	44
2	3,7	?	3,1	4,8	18	170	15
3	1,5	5,2	?	2,1	35	320	55
4	2,7	4,0	4,5	?	49	130	16
5	6,3	2,2	2,8	5,2	57	?	63

Задача 1 — 06

Внутри плоского заряженного конденсатора параллельно линиям напряженности электрического поля перемещается точечный заряд q на расстояние Δr (Δr меньше расстояния между обкладками, считать $\Delta r>0$, если частица движется в направлении линии напряженности). При этом силы электрического поля совершают работу, равную A. Площадь каждой обкладки равна S, обкладки конденсатора притягиваются с силой F. Определить неизвестную величину.

шифр	S, см^2	F, мкН	q, мкКл	Δr, мм	A, мкДж
1	31	?	3,7	2,4	150
2	14	5,4	-2,7	1,6	?
3	27	3,9	2,6	?	- 190
4	18	2,1	?	- 3,5	240
5	?	3,8	-1,3	4,2	-130

2. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Задача 2 — 01

По двум длинным параллельным прямым проводам текут в противоположных направлениях токи I_1 и I_2. Расстояние между проводами равно d. В точке, лежащей на равном расстоянии $d/2$ от каждого провода, значение магнитной индукции равно B_0. Значение магнитной индукции в точке, лежащей на расстоянии r_1 от провода с током I_1 и на расстоянии r_2 от провода с током I_2, равно B. Определить неизвестную величину.

шифр	I_1, А	I_2, А	r_1, см	r_2, см	d, см	B_0, мкТл	B, мкТл
1	4,1	7,9	21	17	_	14,1	?
2	8,2	2,3	45	30	37	_	?
3	_	3,8	12	24	29	8,82	?
4	5,4	_	31	16	41	8,39	?
5	4,5	2,9	27	13	_	?	2,90

Задача 2 — 02

В центре плоского квадратного контура со стороной a, по которому протекает ток I_1, расположен маленький круговой виток радиуса r, ($r<<a$), по которому протекает ток I_2. Плоскость витка образует с плоскостью квадратного контура угол α. Магнитный момент кругового витка равен p. Вращающий момент, действующий на круговой виток, равен M. Определить неизвестную величину.

шифр	I_1, А	a, см	I_2, А	r, мм	α, градус	p, мкА·м^2	M, нН·м
1	?	71	0,85	6,4	28	_	0,78
2	2,7	67	_	_	35	66,4	?
3	4,0	?	0,48	3,0	19	_	0,12
4	3,2	84	_	_	47	?	0,70
5	4,9	58	0,63	3,5	?	_	0,11

Задача 2 — 03

По трем длинным параллельным прямым проводам текут токи I_1, I_2 и I_3. Если один из токов $I < 0$, то его направление противоположно направлению двух других токов. Провода проходят через три последовательные вершины квадрата, сторона которого равна a. Плоскость квадрата перпендикулярна проводам. Значение напряженности магнитного поля в свободной вершине квадрата равно H. Определить неизвестную величину.

шифр	I_1, А	I_2, А	I_3, А	a, см	H, А/м
1	5,9	3,1	- 3,4	25	?
2	- 4,8	2,5	1,9	11	?
3	1,5	- 4,2	3,7	18	?
4	2,1	5,6	4,5	34	?
5	1,2	5,5	- 6,1	42	?

Задача 2 — 04

По длинному прямому цилиндрическому проводу, радиус сечения которого равен R, течет ток постоянной плотности j. На расстояниях и r_1 и r_2 от центра провода значения напряженности магнитного поля одинаковы и равны H. Максимальное значение напряженности магнитного поля, созданного проводом, равно H_0. Определить неизвестную величину.

шифр	j, кА/м^2	R, мм	r_1, мм	r_2, мм	H_0, А/м	H, А/м
1	2,4	_	13	21	?	_
2	_	15	_	37	14,5	?
3	?	27	_	41	_	7,14
4	_	32	18	_	10,5	?
5	0,67	_	25	_	_	?

Задача 2 — 05

По двум длинным параллельным прямым проводам текут в одном направлении токи I_1 и I_2. Расстояние между проводами d. Сила взаимодействия, приходящаяся на единицу длины проводов, равна F. Значение магнитной индукции в точке, лежащей на равном расстоянии d от каждого провода, равно B. Определить неизвестную величину.

шифр	I_1, А	I_2, А	d, см	F, мкН/м	B, мкТл
1	7,2	_	37	13,6	?
2	6,5	2,9	_	?	6,27
3	_	3,8	29	12,3	?
4	5,1	_	41	?	2,79
5	4,3	7,9	_	3,09	?

Задача 2 — 06

По плоскому круговому витку, магнитный момент которого равен p, а радиус равен R, протекает ток I_1. Длинный прямой провод с током I_2 перпендикулярен оси витка и пересекает ее на расстоянии d от центра витка. Напряженность магнитного поля в центре витка равна H. Определить неизвестную величину.

шифр	I_1, А	p, мА·м^2	R, см	I_2, А	d, см	H, А/м
1	_	?	7,5	5,3	17	16
2	6,5	_	10	2,4	?	33
3	3,3	47	_	8,1	11	?
4	_	77	?	9,7	23	10
5	3,6	_	21	?	9,5	15

3. ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ И МАГНИТНОМ ПОЛЯХ

Задача 3 — 01

Электрон движется по окружности радиуса R в однородном магнитном поле с индукцией B. Кинетическая энергия электрона равна W. В некоторый момент времени, параллельно магнитному полю включается однородное электрическое поле с напряженностью E. Через время t кинетическая энергия электрона увеличивается в n раз. Определить неизвестную величину.

шифр	R, см	B, мТл	W, кэВ	E, В/м	t, мкс	n
1	3,3	1,2	_	24	0,33	?
2	1,1	3,1	_	?	0,11	2
3	_	_	?	12	0,37	10
4	?	2,1	_	27	0,19	4
5	_	_	0,070	18	?	7

Задача 3 — 02

Плоский конденсатор, расстояние между пластинами которого равно d, заряжен до напряжения U и помещен в однородное магнитное поле с индукцией B. Частица с удельным зарядом q/m, пройдя ускоряющую разность потенциалов U_0, влетает в конденсатор параллельно его пластинам и продолжает двигаться внутри конденсатора с постоянной по величине и направлению скоростью. Определить неизвестную величину.

шифр	d, см	U, В	B, мТл	q/m, Мкл/кг	U_0, В
1	?	150	60	24	200
2	3,0	?	40	14	250
3	7,5	300	?	8,9	100
4	3,5	250	30	?	300
5	6,5	200	65	8,0	?

Задача 3 — 03

В однородном магнитном поле с индукцией B находится прямая бесконечно длинная нить, заряженная с линейной плотностью заряда λ. Нить параллельна линиям магнитной индукции. В плоскости, перпендикулярной нити, по окружности радиуса R, центр которой лежит на нити, движется положительно заряженная частица с удельным зарядом q/m. Период обращения частицы равен T_1. В отсутствие магнитного поля частица движется по той же окружности, но период ее обращения становится равным T_2. Определить неизвестную величину.

шифр	B, мТл	λ, нКл/м	R, см	q/m, МКл/кг	T_1,мкс	T_2,мкс
1	14	_	_	?	15	18
2	31	-0,92	?	_	24	20
3	?	_	_	14	11	14
4	25	?	3,7	_	17	22
5	17	-2,38	4,1	_	23	?

Задача 3 — 04

Ион с удельным зарядом q/m, пройдя ускоряющую разность потенциалов U, влетает в область однородного магнитного поля с индукцией B под углом α к направлению вектора магнитной индукции и движется по винтовой линии, радиус витков которой равен R. За некоторое время ион совершает N полных оборотов по этой траектории. За то же время перемещение электрона равно S. Определить неизвестную величину.

шифр	U, кВ	B, мТл	q/m, Мкл/кг	R, см	α, градус	N	S, м
1	6,7	37	96	_	15	7	?
2	1,9	88	14	?	45	_	_
3	_	_	_	9,7	?	5	8,40
4	2,1	52	48	_	30	?	5,87
5	4,3	?	28	_	25	3	8,50

Задача 3 — 05

Горизонтально летящий электрон с кинетической энергией W попадает в область однородного электрического поля с напряженностью E. Линии напряженности направлены вертикально вверх. Ширина области, в которой создано электрическое поле, равна L. При вылете из данной области смещение электрона в вертикальной плоскости от направления первоначального движения равно d. Сразу после вылета из области электрического поля электрон попадает в однородное поперечное магнитное поле с индукцией B, в котором движется по дуге окружности радиуса R. Определить неизвестную величину.

шифр	E, кВ/м	d, см	L, см	W, эВ	B, мТл	R, см
1	10	_	15	570	?	4,23
2	8,0	3,5	_	?	4,3	2,17
3	?	_	12	720	7,8	1,67
4	9,0	?	_	370	3,8	2,58
5	15	_	9,0	700	2,7	?

Задача 3 — 06

В области пространства, представляющей собой плоскопараллельный слой толщины d, создано однородное магнитное поле с индукцией B. Линии магнитной индукции направлены вертикально вверх и параллельны границам слоя. Протон, ускоренный разностью потенциалов U, влетает в область магнитного поля перпендикулярно границам слоя. Пройдя внутри слоя путь S, частица покидает магнитное поле, отклонившись от первоначального направления на угол α. Определить неизвестную величину.

шифр	B, Тл	U, В	S ,см	d ,см	α, градус
1	26	?	_	8,6	65
2	14	250	13	_	?
3	?	180	_	6,5	50
4	10	430	?	_	35
5	34	320	_	?	75

4. КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

Задача 4 — 01

Металлический диск радиуса R помещен в однородное магнитное поле с напряженностью H. Линии магнитной индукции поля параллельны оси диска. Диск вращается с постоянной угловой скоростью ω вокруг своей оси. Разность потенциалов между центром и ободом диска равна U. Напряженность электрического поля в точке, отстоящей на расстояние $R/2$ от центра диска равна E. Линейная скорость точки на краю диска равна $\boldsymbol{v}$. Определить неизвестную величину.

шифр	H, кА/м	R, см	ω, рад/с	v, м/с	U, мВ	E, В/м
1	4,0	_	130	33	?	_
2	?	14	420	_	45	_
3	_	_	?	85	30	0,12
4	7,7	12	170	_	_	?
5	4,4	20	_	?	25	_

Задача 4 — 02

Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью L и плоского воздушного конденсатора. Площадь каждой обкладки S, расстояние между ними d. Сопротивление контура пренебрежимо мало. Максимальный заряд и максимальное напряжение на конденсаторе равны соответственно q и U, максимальный ток в контуре равен I. Определить неизвестную величину.

шифр	L, мГн	S, см^2	d, мм	q, нКл	U, В	I, мА
1	20	12	2,5	_	200	?
2	15	?	4,0	1,5	_	5,5
3	35	21	3,0	_	?	4,0
4	25	32	5,0	?	_	3,0
5	?	27	3,5	_	350	9,0

Задача 4 — 03

По длинному соленоиду с плотностью числа витков n протекает ток, сила которого меняется с течением времени по закону: $I = I_0 \sin(\omega t)$. На соленоид плотно надет круговой виток радиуса r, имеющий сопротивление R. За время, равное периоду изменения тока в соленоиде, в витке выделяется количество тепла Q и протекает заряд q. Определить неизвестную величину. Самоиндукцией контура пренебречь.

шифр	n, м$^{-1}$	I_0, А	ω, рад/с	r, см	R, мкОм	Q, Дж	q, Кл
1	2500	3,5	230	24	43	?	_
2	1700	2,0	_	17	19	_	?
3	3200	4,5	340	21	_	?	2,60
4	2000	5,0	280	30	?	4,57	_
5	4100	1,5	450	15	_	3,35	?

Задача 4 — 04

Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью L и конденсатора емкости C. Сопротивление контура пренебрежимо мало. Сила тока в контуре меняется со временем по закону: $I = I_0 \sin(\omega t)$. Напряжение и заряд конденсатора в начальный момент времени соответственно равны U_0 и q_0. Определить неизвестную величину.

шифр	L, мГн	C, нФ	U_0, В	q_0, нКл	ω, рад/с	I_0, мА
1	45	_	340	15	_	?
2	_	0,12	250	_	$6{,}5\cdot10^5$	?
3	30	?	_	23	_	12
4	25	_	?	_	$3{,}7\cdot10^5$	32
5	?	0,15	_	26	_	19

Задача 4 — 05

Круговой контур, имеющий площадь S и сопротивление R, вращается в однородном магнитном поле с постоянной частотой n вокруг оси, совпадающей с диаметром, который перпендикулярен линиям индукции однородного магнитного поля. Индукция магнитного поля равна B. За один полный оборот через контур протекает электрический заряд q. Максимальное значение тока в контуре равно I. Определить неизвестную величину. Самоиндукцией контура пренебречь.

шифр	S, см^2	R, мОм	n, с$^{-1}$	B, мТл	I, А	q, мКл
1	45	3,5	230	2,7	?	_
2	32	?	_	5,1	_	17
3	37	4,5	?	_	7,5	20
4	?	5,0	280	3,5	2,9	_
5	54	1,5	_	6,7	_	?

Задача 4 — 06

Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью L и двух параллельно соединенных конденсаторов, емкости которых C_1 и C_2. Сопротивление контура пренебрежимо мало. В начальный момент тока в контуре нет, конденсаторы заряжены до напряжения U_0, а заряд батареи конденсаторов равен q_0. Когда значение напряжения на конденсаторах равно U, ток в контуре равен I. Определить неизвестную величину.

шифр	L, мГн	C_1, нФ	C_2, нФ	U_0, В	q_0, мкКл	U, В	I, А
1	1,5	12	37	200	_	?	0,52
2	3,7	30	20	_	14	150	?
3	?	15	43	300	_	200	0,12
4	2,5	32	16	_	?	100	0,19
5	4,1	26	21	?	23	250	0,57

5. ЭЛЕМЕНТЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

Задача 5 — 01

Две отполированные плоскопараллельные стеклянные пластины с показателями преломления n_1 и n_2 плотно сложены вместе и находятся в среде с показателем преломления n_0, при этом $n_0 < n_1 < n_2$. Толщина пластинок равна, соответственно, d_1 и d_2. Луч света падает на первую пластину под углом α_0 и пройдя её падает на вторую пластину под углом α_1. Боковое смещение луча, прошедшего через две пластины, равно ℓ. Если убрать вторую пластину, боковое смещение прошедшего луча равно s. Определить неизвестную величину.

шифр	n_1	n_2	n_0	α_0,градус	α_1,градус	d_1,см	d_2,см	ℓ,см	s,см
1	1,50	1,60	1,00	30	—	3,2	4,3	?	—
2	1,54	—	1,33	46	—	2,5	—	—	?
3	1,68	—	1,47	—	45	?	—	—	0,8
4	—	1,52	1,00	60	—	—	?	1,4	0,6
5	—	1,66	1,34	52	?	2,0	3,4	1,2	—

Задача 5 — 02

На дне сосуда, наполненного жидкостью до высоты h_1, находится точечный источник света. На поверхности жидкости плавает непрозрачный диск так, что его центр находится над источником. При минимальном диаметре диска равном d лучи от источника света не будут выходить из жидкости, показатель преломления которой равен n_1. Если заменить жидкость на другую, скорость распространения света в которой равна v, оставив высоту столба жидкости неизменной, то на экране, расположенном параллельно поверхности жидкости на высоте h_2, видна тень от диска, размер которой равен D. Определить неизвестную величину.

шифр	h_1, см	h_2, см	n_1	v, 10^8 м/с	d, см	D, см
1	10,0	—	1,48	—	?	—
2	—	8,0	1,42	2,26	18,0	?
3	?	6,4	1,48	2,21	—	31,8
4	—	?	1,47	2,26	8,6	24,6
5	—	4,0	1,48	?	8,6	64,2

Задача 5 — 03

На дне неглубокого широкого сосуда, глубиной h, находится светящаяся точка. Наблюдатель, рассматривая эту точку через толстую плоскопараллельную стеклянную пластинку, которая лежит на сосуде сверху, видит её изображение на высоте h_1 от светящейся точки. Толщина пластинки равна d, её показатель преломления равен n_1. Если убрать пластинку и сосуд до верха наполнить жидкостью с показателем преломления n_2, то для наблюдателя, рассматривающего светящуюся точку, она будет видна на расстоянии h_2 от поверхности жидкости. В глаз наблюдателя попадает световой поток, лучи которого образуют между собой весьма малые углы, падающие от источника света на границу раздела под небольшими углами. Определить неизвестную величину.

шифр	h, см	h_1, см	h_2, см	d, см	n_1	n_2
1	—	?	—	3,0	1,50	—
2	6,9	—	?	—	—	1,33
3	—	1,6	—	?	1,62	—
4	?	—	4,2	—	—	1,47
5	—	1,1	—	2,7	?	—

Задача 5 — 04

На расстоянии ℓ от тонкой собирающей линзы параллельно её плоскости поставлен светящийся предмет в виде квадрата. При таком расположении линзы и предмета площадь четкого изображения на экране равна S. Если линзу передвинуть на расстояние $\Delta\ell$ от предмета, то площадь четкого изображения на экране становится равной kS_0, где S_0 - это площадь предмета. Предмет неподвижен, экран для получения четкого изображения передвигают. Оптическая сила линзы равна D. Определить неизвестную величину.

шифр	ℓ, м	$\Delta\ell$, см	S, см^2	k	S_0, см^2	D, дптр
1	1,0	30	400	0,6	?	—
2	1,2	45	—	0,5	—	?
3	0,8	?	420	0,7	220	—
4	0,9	—	?	—	240	1,6
5	?	50	320	0,4	160	—

Задача 5 — 05

Двояковыпуклая линза из материала с показателем преломления n имеет одинаковые радиусы кривизны поверхностей, равные R. С помощью этой линзы получают изображение предмета с увеличением равным k_1, если расстояние от предмета до линзы превышает её фокусное расстояние на величину a. Когда предмет переместили на расстояние ℓ от первоначального положения, получили изображение предмета с увеличением равным k_2. Расстояние от линзы до изображения равно b. Определить неизвестную величину.

шифр	n	R, см	k_1	k_2	a, см	b, см	ℓ, см
1	—	—	2,0	—	6,0	?	—
2	—	—	1,0	0,3	10,2	—	?
3	1,56	14	1,5	—	—	?	—
4	—	—	1,0	1,8	?	—	20,0
5	1,60	26	?	—	8,4	—	—

Задача 5 — 06

Двояковыпуклая линза из материала с показателем преломления n_1 имеет оптическую силу, равную D_1. При её погружении в жидкость, показатель преломления которой равен n_2, линза действует как рассеивающая и её оптическая сила равна D_2. Светящаяся точка находится на главной оптической оси на расстоянии от линзы равном a и это расстояние больше фокусного расстояния линзы в воздухе. Изображение светящейся точки для собирающей линзы находится на расстоянии b_1 от линзы, а для рассеивающей линзы - на расстоянии b_2. Определить неизвестную величину.

шифр	n_1	n_2	D_1, дптр	D_2, дптр	a, см	b_1, см	b_2, см
1	1,50	1,72	4,0	?	—	—	—
2	1,54	1,80	6,0	—	25,0	—	?
3	—	—	3,5	- 0,8	—	?	- 44,1
4	1,60	1,84	—	- 2,0	?	36,8	—
5	—	—	?	-0,9	—	38,2	- 42,2

6. ИНТЕРФЕРЕНИЯ И ДИФРАКИЯ СВЕТА

Задача 6 — 01

В опыте Юнга расстояние между щелями равно d, а расстояние от щелей до экрана равно ℓ. Щели освещают монохроматическим светом с длиной волны λ_1, при которой положение m - ой светлой полосы определяется координатой X_1, а m - ой тёмной полосы определяется координатой X_2. Если заменить светофильтр (длина волны монохроматического света станет равной λ_2) и поместить всю систему в среду с показателем преломления n, то ширина интерференционных полос равняется ΔX. Определить неизвестную величину.

шифр	d, мм	ℓ, м	λ_1,мкм	λ_2,мкм	X_1, мм	X_2, мм	ΔX, мм	n
1	1,0	3	0,50	—	3,0	?	—	—
2	0,5	2	—	0,60	—	—	?	1,3
3	—	—	—	—	?	2,4	1,5	1,0
4	0,6	?	0,70	—	—	—	1,2	1,0
5	0,4	1	—	0,50	1,6	2,3	—	?

Задача 6 — 02

Плоскопараллельная прозрачная пленка с показателем преломления n помещена между двумя средами с показателями преломления n_1 и n_2, соответственно. На пленку падает под углом α белый свет. При наименьшей толщине пленки d отраженный от верхней и нижней поверхностей пленки свет с длиной волны λ_1 оказывается максимально усиленным, а свет с длиной волны λ_2 оказывается максимально ослабленным. Определить неизвестную величину.

шифр	d, мкм	n	n_1	n_2	λ_1,мкм	λ_2,мкм	α ,градус
1	0,12	1,5	1,0	1,0	?	—	30
2	?	1,6	1,3	1,7	—	0,56	0
3	0,11	1,4	1,0	1,3	0,48	—	?
4	0,13	1,5	1,0	1,6	—	?	40
5	?	1,4	1,5	2,4	0,52	—	0

Задача 6 — 03

Плосковыпуклая стеклянная линза, радиус которой равен R, выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Монохроматический свет с длиной волны λ_1 падает нормально на плоскую поверхность линзы. При наблюдении в отраженном свете радиус k - ого светлого кольца Ньютона равен r_{k1}, а толщина слоя воздуха между линзой и пластинкой в месте, где видно это кольцо, равна d. Если пространство между линзой и пластинкой заполнить средой, показатель преломления которой n меньше показателя преломления стекла, и заменить светофильтр (длина волны падающего света станет равной λ_2), то в отраженном свете радиус (k+2) - ого темного кольца Ньютона равен r_{k2}, а в проходящем свете расстояние между соседними светлыми кольцами Ньютона равняется ℓ. Определить неизвестную величину.

шифр	λ_1,нм	λ_2,нм	k	r_{k1},мм	r_{k2},мм	R,м	d, мкм	n	ℓ, мм
1	450	?	3	1,06	1,77	—	—	1,0	—
2	—	600	—	—	2,42	3,2	—	1,3	?
3	680	630	—	2,05	3,00	6,0	—	?	—
4	—	—	—	?	—	2,5	0,15	1,0	—
5	480	610	4	?	—	—	—	1,2	0,26

Задача 6 — 04

На непрозрачную преграду с отверстием, диаметр которого равен d, падает монохроматический свет с длиной волны λ_1 от точечного источника, расположенного на расстоянии ℓ от экрана, на котором наблюдается дифракционная картина. Когда расстояние от источника света до преграды равно a_1, в центре дифракционной картины наблюдается максимум интенсивности света. При уменьшении расстояния до значения a_2, максимум интенсивности света меняется на минимум интенсивности. Если заменить светофильтр, длина волны падающего монохроматического света станет равной λ_2 и отверстие открывает m зон Френеля. Определить неизвестную величину.

шифр	λ_1,мкм	λ_2,мкм	ℓ,м	a_1,м	a_2,м	m	d, мм
1	—	0,52	2,0	1,5	—	?	2,0
2	?	—	3,0	2,0	1,0	—	1,2
3	0,62	0,48	?	1,6	0,8	3	—
4	0,50	—	3,4	1,8	1,4	—	?
5	0,66	?	3,6	2,0	1,0	4	—

Задача 6 — 05

На щель шириной b нормально падает параллельный пучок света от монохроматического источника с длиной волны λ. В дифракционной картине, проецируемой с помощью линзы, находящейся непосредственно за щелью, на экран, расположенный от линзы на расстоянии L, ширина центрального максимума равна ℓ. Угол между первоначальным направлением пучка света и направлением на k - ую светлую дифракционную полосу равен φ, а расстояние между нулевым и k - ым дифракционными максимумами равно Δx. Определить неизвестную величину.

шифр	b, мм	λ,мкм	L,м	ℓ,см	k	φ,градус	Δx,см
1	0,1	0,60	1,0	?	—	—	—
2	0,2	0,58	1,2	—	5	—	?
3	—	—	?	6,1	4	10	—
4	?	0,68	1,1	—	2	—	2,1
5	0,1	?	1,3	1,2	—	—	—

Задача 6 — 06

На дифракционную решетку нормально к её поверхности падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны λ. Помещенная вблизи решетки тонкая собирающая линза, фокусное расстояние которой равно f, проецирует дифракционную картину на плоский экран, расположенный в фокальной плоскости линзы. Расстояние между двумя максимумами интенсивности первого порядка, наблюдаемыми на экране, равно ℓ; число максимумов, которое при этом видно в дифракционной картине, равно N, а максимальный угол отклонения лучей, соответствующий последнему дифракционному максимуму, равен φ_{max}. Постоянная дифракционной решетки равна d, число штрихов на 1см равно n. Определить неизвестную величину.

шифр	λ, мкм	f, м	ℓ, см	N	φ_{max},градус	d, мкм	n
1	0,50	1,0	20,2	—	—	?	—
2	0,52	1,8	22,4	—	—	—	?
3	—	1,4	32,2	?	—	—	—
4	0,55	—	—	—	?	—	2000
5	?	0,9	19,8	—	—	4,84	—

7. ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

Задача 7 — 01

Луч естественного света падает на полированную поверхность стеклянной пластины, погруженной в жидкость. Отраженный от пластины луч составляет угол φ с падающим лучом, а угол преломления равен γ. Отраженный свет полностью поляризован, если показатель преломления жидкости равен n_1, а показатель преломления стекла равен n_2. Скорость света в жидкости и в стекле равна, соответственно, v_1 и v_2. Определить неизвестную величину.

шифр	φ,градус	γ,градус	n_1	n_2	v_1, 10^8 м/с	v_2, 10^8м/с
1	97	—	?	1,50	—	—
2	—	?	1,62	—	—	1,97
3	—	40	—	?	2,20	—
4	?	—	—	1,52	1,74	—
5	100	—	—	—	2,14	?

Задача 7 — 02

Луч естественного света проходит через жидкость, налитую в стеклянный сосуд, и отражается от дна. Отраженный луч полностью поляризован при падении света на дно сосуда под углом α_1 в жидкости с показателем преломления n_1. В жидкости с показателем преломления n_2 при падении света на дно сосуда под углом α_2 наступает полное внутреннее отражение света. Скорость света в стекле равна v. Определить неизвестную величину.

шифр	α_1,градус	α_2,градус	n_1	n_2	v, 10^8 м/с
1	49	—	?	—	1,92
2	?	70	1,33	1,64	—
3	—	61	—	1,73	?
4	46	?	1,38	1,58	—
5	47	68	1,42	?	—

Задача 7 — 03

Интенсивность естественного света, прошедшего через частично поглощающий поляроид, уменьшилась в n_1 раз. Если за первым поляроидом поставить второй такой же поляроид так, что угол между их главными плоскостями будет равен α_1, то вышедший из второго поляроида свет будет ослаблен в n_2 раз по сравнению с естественным светом. Если за вторым поляроидом поставить третий поляроид, в котором теряется некоторая доля p падающего на него света, то интенсивность естественного света, прошедшего через эту систему, уменьшилась в n_3 раз. Угол между главными плоскостями второго и третьего поляроидов равен α_2. Углы α_1 и α_2 острые. Определить неизвестную величину.

шифр	n_1	n_2	n_3	α_1,градус	α_2,градус	p
1	2,3	?	—	60	—	—
2	2,4	—	?	30	20	0,15
3	—	5,6	8,0	—	?	0,08
4	?	—	5,9	45	30	0,10
5	2,2	—	12,4	?	10	0,02

Задача 7 — 04

Частично поляризованный свет падает на поляроид, который может вращаться. Отношение максимальной интенсивности пропущенного поляроидом света к минимальной интенсивности равно m. При повороте поляроида на углы α_1 и α_2 из положения максимального пропускания света, отношение интенсивностей пропущенного поляроидом света (соответственно равных I_1 и I_2) равно $I_1/I_2=k$. Углы α_1 и α_2 острые. Отношение интенсивностей естественного и линейно поляризованного света, составляющих падающий свет, равно $I_е/I_п=n$. Определить неизвестную величину.

шифр	m	α_1,градус	α_2,градус	k	n
1	2,4	10	30	?	—
2	2,6	?	32	0,70	—
3	—	16	?	1,80	0,4
4	?	60	20	0,46	—
5	—	16	36	1,28	?

Задача 7 — 05

Пучок частично поляризованного света падает на поляроид. Первоначально поляроид установлен так, что его плоскость пропускания параллельна плоскости колебаний линейно поляризованного света. При повороте поляроида из первоначального положения на угол φ_1 интенсивность пропущенного поляроидом света уменьшилась в m_1 раз, а при повороте поляроида из первоначального положения на угол φ_2 интенсивность пропущенного поляроидом света уменьшилась в m_2 раз. Отношение интенсивностей естественного и линейно поляризованного света, составляющих падающий свет, равно $I_е/I_п= k$, а степень поляризации этого света равна P. Углы φ_1 и φ_2 острые. Определить неизвестную величину.

шифр	φ_1,градус	φ_2,градус	m_1	m_2	k	P
1	23	?	1,4	1,8	—	—
2	?	—	2,2	—	—	0,75
3	35	55	?	2 ,5	—	—
4	—	25	—	?	0,6	—
5	—	60	—	2,8	—	?

Задача 7 — 06

Пучок частично поляризованного света, степень поляризации которого равна P, рассматривается через два поляроида. Угол между плоскостью колебаний линейно поляризованного света и плоскостью пропускания первого поляроида равен φ_1, угол между плоскостями первого и второго поляроидов равен φ_2. Углы φ_1 и φ_2 острые. После прохождения первого поляроида интенсивность пропущенного света уменьшается в m_1 раз, после прохождения всей системы - уменьшается в m_2 раз по сравнению с падающим светом. При прохождении второго поляроида теряется некоторая доля k светового потока. Определить неизвестную величину.

шифр	P	φ_1,градус	φ_2,градус	m_1	m_2	k
1	0,25	?	—	2,2	—	—
2	—	—	?	3,1	4,2	0,12
3	0,75	10	15	—	?	0,10
4	—	—	20	2,3	3,6	?
5	?	10	35	—	2,8	0,25

8.ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ ОПТИКИ

Задача 8 — 01

Энергия, излучаемая Солнцем в виде электромагнитных волн за время t, равна W, а масса, теряемая Солнцем за это время вследствие излучения, равна Δm. За время τ масса Солнца вследствие излучения уменьшается в k раз. Если принять Солнце за абсолютно черное тело, то длина волны, на которую приходится максимум его спектральной плотности энергетической светимости, равна λ. Температура поверхности Солнца равна t^0. Определить неизвестную величину.

шифр	$W, \cdot 10^{30}$Дж	t,мин	λ,нм	t^0, C	Δm,кг	τ, лет	k
1	?	10,0	500	—	—	—	—
2	—	525600,0	—	5527	?	—	—
3	12610,1	525600,0	—	—	—	?	2
4	0,3	?	500	—	—	—	—
5	1,4	59,8	—	?	—	—	—

Задача 8 — 02

Абсолютно черное тело имеет температуру t_1. В результате нагревания тела до температуры t_2 поток излучения увеличивается в k раз. Вследствие изменения температуры тела, максимум спектральной плотности его энергетической светимости сместился с λ_1 на λ_2, при этом величина энергетической светимости изменилась в m раз и стала равной $R_{э2} = m\ R_{э1}$. Определить неизвестную величину.

шифр	$t_1, {}^0C$	$t_2, {}^0C$	λ_1,нм	λ_2,нм	k	m	$R_{э2}, \cdot 10^6$Дж/м^{2}с
1	227	?	—	—	3	—	—
2	—	—	2400	800	—	?	—
3	—	—	760	390	?	—	—
4	—	—	?	—	—	20	30,9
5	2627	—	—	—	4	—	?

Задача 8 — 03

Сила тока, протекающего в электрической лампочке по вольфрамовой спирали диаметром d и длиной ℓ при включении в сеть напряжением U, равна I. Равновесная температура излучения спирали равна t. При установившемся равновесии, некоторая доля p энергии излучения спирали рассеивается. Поглощательная способность поверхности спирали равна A_T. Удельное электросопротивление спирали при данной температуре излучения равно ρ. Температура окружающей проволоку среды равна t_0. Определить неизвестную величину.

шифр	d, мм	ℓ, см	t, ^0C	I, А	U, В	p	A_T	ρ,$\cdot 10^{-7}$Ом·м	t_0, ^0C
1	0,8	—	2800	?	—	—	0,34	9,2	17
2	0,3	6	?	0,18	220	0	0,32	—	—
3	?	4	2177	0,59	127	0	0,31	—	—
4	0,7	?	2627	4,02	220	0,23	1	—	—
5	0,6	7	2427	?	127	0,10	1	—	

Задача 8 — 04

Задерживающее напряжение для металлической пластинки (работа выхода электронов из которой равна A_1) при падении на неё света длиной волны λ, равно U_1. При тех же условиях для другой пластинки из металла с красной границей фотоэффекта λ_2 задерживающее напряжение равно U_2. Определить неизвестную величину.

шифр	λ, мкм	λ_2, мкм	A_1, эВ	U_1, В	U_2, В
1	0,40	—	2,2	?	—
2	—	?	6,3	3,7	5,3
3	0,33	0,62	—	—	?
4	—	0,20	?	6,0	3,7
5	?	—	2,4	0,8	—

Задача 8 — 05

При освещении катода вакуумного элемента монохроматическим светом с длиной волны λ_1 фототок прекращается при задерживающем напряжении равном U_1. При изменении длины волны на $\Delta\lambda$, изменение величины задерживающего напряжения равно ΔU. Постоянная Планка равна h. Работа выхода электронов из металла катода равна A, максимальный импульс вырванных фотоэлектронов равен P. Определить неизвестную величину.

шифр	λ_1,нм	$\Delta\lambda$, нм	U_1, В	ΔU, В	$h,\cdot10^{-34}$Дж·с	A, эВ	$P,\cdot10^{-25}$кг·м/с
1	310	90	—	0,902	?	—	—
2	180	—	—	—	6,63	4,5	?
3	?	—	0,8	—	6,63	2,3	—
4	160	—	—	—	6,63	?	8,3
5	450	- 125	—	?	6,63	—	—

Задача 8 — 06

Плоский электрод в вакууме освещается монохроматическим светом с частотой ν. Красная граница фотоэффекта для металла этого электрода равна λ_1. Вырываемый светом фотоэлектрон в задерживающем электрическом поле с напряженностью E может удалиться от электрода на максимальное расстояние ℓ_1. При тех же условиях для электрода, красная граница фотоэффекта которого λ_2, фотоэлектрон может удалиться от электрода на максимальное расстояние ℓ_2. Определить неизвестную величину.

шифр	$\nu,\cdot10^{16}$Гц	λ_1, мкм	λ_2, мкм	E, В/см	ℓ_1, см	ℓ_2, см
1	0,36	0,264	—	10,0	?	—
2	—	0,364	0,468	15,0	1,22	?
3	—	0,427	0,635	?	1,04	2,04
4	—	0,486	?	12,2	1,64	1,24
5	?	—	0,527	9,8	—	1,32

Литература

Основная литература

Савельев И.В. Курс общей физики. Механика. Кн. 1. – М.: АСТ. Астрель, 2005.
Савельев И.В. Курс общей физики. Электричество и магнетизм. Кн. 2. – М.: АСТ. Астрель, 2005.
Савельев И.В. Курс общей физики. Волны. Оптика. Кн. 4. – М.: АСТ. Астрель, 2006.
Савельев И.В. Курс общей физики. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Кн. 5. – М.: АСТ. Астрель, 2007.

Дополнительная литература:

Ландсберг Г.С. Оптика. - М.: Физматлит. 2006.
Степанова В.А. Физика. **Основы волновой оптики.** – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1. Основные единицы СИ

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			международное	русское
Длина	L	Метр	m	м
Масса	M	Килограмм	kg	кг
Время	T	Секунда	s	с
Электрический ток (сила электрического тока)	I	Ампер	A	А
Термодинамическая температура	Θ	Кельвин	K	К
Количество вещества	N	Моль	mol	моль
Сила света	J	Кандела	cd	кд

Таблица П2.Примеры производных единиц СИ, наименования и обозначения которых образованы с использованием наименований и обозначений основных единиц СИ

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			международное	русское
Площадь	L^2	Квадратный метр	m^2	$м^2$
Объем, вместимость	L^3	Кубический метр	m^3	$м^3$
Скорость	LT^{-1}	Метр в секунду	m/s	м/с
Ускорение	LT^{-2}	Метр на секунду в квадрате	m/s^2	$м/с^2$
Плотность	$L^{-3}M$	Килограмм на кубический метр	kg/m^3	$кг/м^3$
Плотность электрического тока	$L^{-2}I$	Ампер на квадратный метр	A/m^2	$А/м^2$
Напряженность магнитного поля	$L^{-1}I$	Ампер на метр	A/m	А/м
Яркость	$L^{-2}J$	Кандела на квадратный метр	cd/m^2	$кд/м^2$

Таблица П3. Примеры производных единиц СИ, имеющих специальные наименования, обозначения

Величина		Единица			
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение		Выражение через основные и производные единицы СИ
			международное	русское	
Плоский угол	*1*	Радиан	rad	рад	$m \cdot m^{-1}=1$
Телесный угол	*1*	Стерадиан	sr	ср	$m^2 \cdot m^{-2}=1$
Частота	T^{-1}	Герц	Hz	Гц	s^{-1}
Сила	LMT^{-2}	Ньютон	N	Н	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Давление	$L^{-1}MT^{-2}$	Паскаль	Pa	Па	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	L^2MT^{-2}	Джоуль	J	Дж	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Мощность	L^2MT^{-3}	Ватт	W	Вт	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Электрический заряд, количество электричества	TI	Кулон	C	Кл	$s \cdot A$
Электрическое напряжение, электрический потенциал, электродвижущая сила	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	Вольт	V	В	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	Фарад	F	Ф	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	Ом	Ω	Ом	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	Сименс	S	См	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Магнитный поток	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	Вебер	Wb	Вб	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Магнитная	$MT^{-2}I^{-1}$	Тесла	T	Тл	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$

индукция					
Индуктивность, взаимная индукция	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	Генри	H	Гн	$\mathrm{m^2{\cdot}kg{\cdot}s^{-2}{\cdot}A^{-2}}$
Температура Цельсия	Θ	Градус Цельсия	°C	°C	K
Световой поток	J	Люмен	lm	лм	$\mathrm{cd{\cdot}sr}$
Освещенность	$L^{-2}J$	Люкс	lx	лк	$\mathrm{m^{-2}{\cdot}cd{\cdot}sr}$

Таблица П4. Примеры производных единиц СИ, наименования и обозначения которых образованы с использованием специальных наименований и обозначений, указанных в табл.П3.

Величина		Единица			
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение		Выражение через основные и производные единицы СИ
			международное	русское	
Момент силы	L^2MT^{-2}	Ньютон-метр	N·m	Н·м	$\mathrm{m^2{\cdot}kg{\cdot}s^{-2}}$
Пространственная плотность электрического заряда	$L^{-3}TI$	Кулон на кубический метр	$\mathrm{C/m^3}$	Кл/м^3	$\mathrm{m^{-3}{\cdot}s{\cdot}A}$
Электрическое смещение	$L^{-2}TI$	Кулон на квадратный метр	$\mathrm{C/m^2}$	Кл/м^2	$\mathrm{m^{-2}{\cdot}s{\cdot}A}$
Напряженность электрического поля	$LMT^{-3}I^{-1}$	Вольт на метр	V/m	В/и	$\mathrm{m{\cdot}kg{\cdot}s^{-3}{\cdot}A^{-1}}$
Диэлектрическая проницаемость	$L^{-3}M^{-1}T^4I^2$	Фарад на метр	F/m	Ф/м	$\mathrm{m^{-3}{\cdot}kg^{-1}{\cdot}s^4{\cdot}A^2}$
Магнитная проницаемость	$LMT^{-2}I^{-2}$	Генри на метр	H/m	Гн/м	$\mathrm{m{\cdot}kg{\cdot}s^{-2}{\cdot}A^{-2}}$
Удельная энергия	L^2T^{-2}	Джоуль на килограмм	J/kg	Дж/кг	$\mathrm{m^2{\cdot}s^{-2}}$

Теплоемкость системы, энтропия системы	$L^2MT^{-2}\,\Theta^{-1}$	Джоуль на кельвин	J/K	Дж/К	$m^2\cdot kg\cdot s^{-2}\cdot K^{-1}$
Удельная теплоемкость, удельная энтропия	$L^2T^{-2}\,\Theta^{-1}$	Джоуль на килограмм-кельвин	J/(kg·K)	Дж/(кг·К)	$m^2\cdot s^{-2}K^{-1}$
Поверхностная плотность потока энергии	MT^{-3}	Ватт на квадратный метр	W/m^2	$Вт/м^2$	$kg\cdot s^{-3}$
Молярная внутренняя энергия	$L^2MT^{-2}N^{-1}$	Джоуль на моль	J/mol	Дж/моль	$m^2\cdot kg\cdot s^{-2}\cdot mol^{-1}$
Молярная энтропия, молярная теплоемкость	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$	Джоуль на моль-кельвин	J/(mol·K)	Дж/(моль·К)	$m^2\cdot kg\cdot s^{-2}K^{-1}\cdot mol^{-1}$
Угловая скорость	T^{-1}	Радиан в секунду	rad/s	рад/с	s^{-1}
Угловое ускорение	T^{-2}	Радиан на секунду в квадрате	rad/s^2	$рад/с^2$	s^{-2}
Сила излучения	L^2MT^{-3}	Ватт на стерадиан	W/sr	Вт/ср	$m^2\cdot kg\cdot s^{-3}sr^{-1}$
Энергетическая яркость	MT^{-3}	Ватт на стерадиан-квадратный метр	$W/(sr\cdot m^2)$	$Вт/(ср\cdot м^2)$	$kg\cdot s^{-3}sr^{-1}$

Таблица П5. Множители и приставки, используемые для образования наименований и обозначений десятичных кратных и дольных единиц СИ

Десятичный множитель	Приставка	Обозначение приставки		Десятичный множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		между-народное	русское			между-народное	русское

10^{24}	Иотта	Y	И	10^{-1}	Деци	d	д
10^{21}	Зетта	Z	З	10^{-2}	Санти	c	с
10^{18}	Экса	E	Э	10^{-3}	Милли	m	м
10^{15}	Пета	P	П	10^{-6}	Микро	μ	мк
10^{12}	Тера	T	Т	10^{-9}	Нано	n	н
10^{9}	Гига	G	Г	10^{-12}	Пико	p	п
10^{6}	Мега	M	М	10^{-15}	Фемто	f	ф
10^{3}	Кило	k	к	10^{-18}	Атто	a	а
10^{2}	Гекто	h	г	10^{-21}	Зепто	z	з
10^{1}	Дека	da	да	10^{-24}	Иокто	y	и

Таблица П6. Основные физические константы

Величина	Обозначение, численное значение
Скорость света в вакууме	$c = 3\cdot10^{8}$ м/с
Гравитационная постоянная	$G = 6{,}67\cdot10^{-11}$ м^3/(кг·с^2)
Стандартное ускорение свободного падения	$g = 9{,}81$ м/с^2
Постоянная Авогадро	$N_A = 6{,}02\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$
Газовая постоянная	$R = 8{,}31$Дж/(моль·К)
Постоянная Больцмана	$k = 1{,}38\cdot10^{-23}$ Дж/К
Элементарный заряд	$e = 1{,}60\cdot10^{-19}$ Кл
Масса электрона	$m_e = 0{,}91\cdot10^{-31}$ кг
Масса протона	$m_p = 1{,}67\cdot10^{-27}$ кг
Масса Солнца	$1{,}989\cdot10^{30}$ кг
Постоянная Планка	$h = 6{,}62\cdot10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5{,}67\cdot10^{-8}$ Вт/(м^2·К^2)
Постоянная закона смещения Вина	$b = 2{,}9\cdot10^{-3}$ м·К
Электрическая постоянная	$\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 1{,}26\cdot10^{-6}$ Гн/м

Таблица П7. Математические константы, производные, интегралы некоторых функций

Константа	**Обозначение, численное значение**

Число π		$\pi \approx 3{,}14$
Основание натурального логарифма		$e \approx 2{,}72$
Функция	**Производная**	**Интегралы**
x^n	nx^{n-1}	$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1}, n \neq 1$
$\frac{1}{x}$	$-\frac{1}{x^2}$	$\int \frac{dx}{x} = \ln x$
$\frac{1}{x^n}$	$-\frac{n}{x^{n+1}}$	$\int \sin x dx = -\cos x$
e^{nx}	ne^{nx}	$\int \cos x dx = \sin x$
a^x	$a^x \ln a$	$\int \mathrm{tg} x dx = -\ln(\cos x)$
$\ln x$	$\frac{1}{x}$	$\int \frac{dx}{x^2+1} = \mathrm{arctg} x$
$\sin x$	$\cos x$	$\int \frac{dx}{\cos^2 x} = \mathrm{tg} x$
$\cos x$	$- \sin x$	$\int \frac{dx}{\sin^2 x} = -\mathrm{ctg} x$
$\mathrm{tg}\, x$	$\frac{1}{\cos^2 x}$	$\int \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \arcsin x$
$\mathrm{ctg}\, x$	$-\frac{1}{\sin^2 x}$	$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2-1}} = \ln\left(x+\sqrt{x^2-1}\right)$

Таблица П8. Основные тригонометрические тождества

$\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$	$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \sin\beta\cos\alpha$
$1 + \mathrm{tg}^2\alpha = \frac{1}{\cos^2\alpha}; \alpha \neq \frac{\pi}{2} + \pi n, n \in Z$	$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \mp \sin\alpha\sin\beta$
$1 + \mathrm{ctg}^2\alpha = \frac{1}{\sin^2\alpha}; \alpha \neq \pi n, n \in Z$	$\sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha$
$\sin\alpha \pm \sin\beta = 2\sin\left(\frac{\alpha\pm\beta}{2}\right)\cos\left(\frac{\alpha\mp\beta}{2}\right)$	$\cos 2\alpha = \cos^2\alpha - \sin^2\alpha$
$\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right)\cos\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)$	$\mathrm{tg}2\alpha == \frac{2\mathrm{tg}\alpha}{1-\mathrm{tg}^2\alpha}$
$\cos\alpha - \cos\beta = -2\sin\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right)\sin\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)$	$\mathrm{ctg}2\alpha == \frac{\mathrm{ctg}^2\alpha - 1}{2\,\mathrm{ctg}\alpha}$

Таблица П9. Формулы для приближенных вычислений

Формула	Значение аргумента*
$\frac{1}{1 \pm x} \approx 1 \mp x$	$x < 0{,}031$
$\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{1}{2}x$	$x < 0{,}093$
$\sqrt{1-x} \approx 1 - \frac{1}{2}x$	$x < 0{,}085$
$e^{\pm x} \approx 1 \pm x$	$x < 0{,}045$
$\ln(1 \pm x) \approx \pm x$	$x < 0{,}045$
$\sin x \approx x$	$x < 0{,}077$ рад (4,4º)
$\cos x \approx 1 - \frac{1}{2}x^2$	$x < 0{,}387$ рад (22,2º)

*Неравенства указывают значения аргумента, при которых расчеты по приближенным формулам приводят к ошибкам, не превышающим 0,1%.