

СОДЕРЖАНИЕ

3.2. Примеры решения задач	2
3.3. Задания для расчетно-графической работы №3	14
4.2. Примеры решения задач	22
4.3. Задания для расчетно-графической работы №4	28
Литература	32
Правила оформления контрольных и расчетно-графических работ ...	34

3.2. Примеры решения задач

Пример 1. На тонком стержне длиной $l = 20$ см находится равномерно распределенный электрический заряд $q = 40$ нКл. Определить напряженность электрического поля \vec{E} в точке A , расположенной на расстоянии $a = 10$ см от середины стержня.

Дано:

$$l = 0,2 \text{ м}$$

$$q = 4 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$a = 0,1 \text{ м}$$

$$b = 0,04 \text{ м}$$

$$\vec{E} - ?$$

Чтобы найти напряженность \vec{E} в точке A , надо воспользоваться принципом суперпозиции полей. Для этого на стержне выделим бесконечно малый участок длиной dl (рис. 3.16).

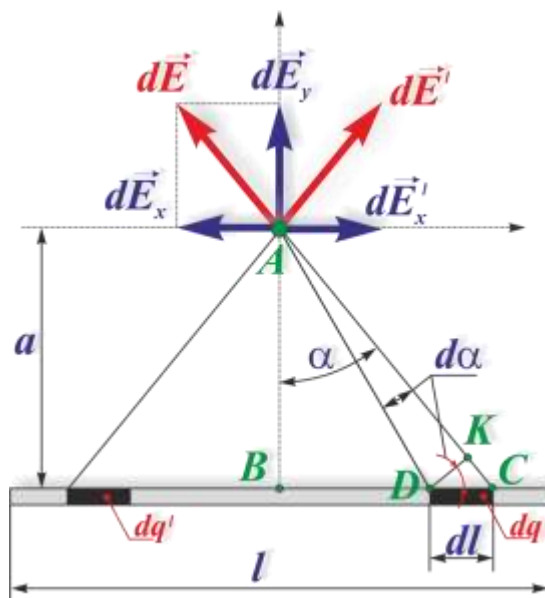


Рис. 3.16 Пример 1

Заряд этого участка $dq = \tau dl$ из-за малости dl можно считать точечным, поэтому элементарная напряженность поля, создаваемого этим зарядом в точке A может быть записана в виде:

$$d\vec{E} = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{e}_r \quad \text{или} \quad d\vec{E} = \frac{\tau dl}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{e}_r$$

Учитывая, что линейная плотность заряда на стержне $\tau = q/l$, получим:

$$d\vec{E} = \frac{q dl}{4\pi\epsilon_0 l r^2} \vec{e}_r.$$

Модуль элементарной напряженности:

$$dE = \frac{qdl}{4\pi\epsilon_0 lr^2}.$$

Результирующая напряженность находится как векторная сумма элементарных напряженностей от всех участков стержня:

$$\vec{E} = \int_l d\vec{E}.$$

Выберем системы координат так, чтобы начало координат совпало с точкой A , а ось Ox была бы параллельна стержню. Разложим вектор $d\vec{E}$ на две составляющие:

$$d\vec{E} = d\vec{E}_x + d\vec{E}_y = \vec{i}dE_x + \vec{j}dE_y,$$

где dE_x и dE_y – проекции вектора $d\vec{E}$ на координатные оси; \vec{i} и \vec{j} – орты.

Тогда напряженность в точке A :

$$\vec{E} = \vec{i} \int_l dE_x + \vec{j} \int_l dE_y.$$

Заметим, что для каждой пары зарядов dq и dq' ($dq = dq'$), расположенных симметрично относительно центра стержня, векторы $d\vec{E}_x$ и $d\vec{E}'_x$ в точке A равны по модулю и противоположны по направлению. Поэтому $\int_l dE_x = 0$. Тогда:

$$\vec{E} = \vec{j} \int_l dE_y.$$

Из рис. 3.2 видно, что $dE_y = dE \cos \alpha$. Следовательно:

$$\vec{E} = \vec{j} \int_l dE \cos \alpha = \vec{j} \int_l \frac{qdl \cos \alpha}{4\pi\epsilon_0 lr^2} = \vec{j} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l} \int_l \frac{dl \cos \alpha}{r^2}. \quad (1)$$

При интегрировании вдоль стержня переменными величинами являются расстояние от элемента dl до точки A – r , dl и угол α . Поэтому эти переменные надо выразить одни через другие, чтобы при интегрировании осталась только одна переменная величина.

Из $\triangle ABC$ (рис. 3.1б) следует, что

$$r = \frac{a}{\cos \alpha}. \quad (2)$$

Учитывая, что угол $d\alpha$ мал, то из $\triangle ADC$ следует, что $DK = r \cdot d\alpha$. С другой стороны, $DK = dl \cos \alpha$ ($\triangle DKC$). Тогда

$$rd\alpha = dl \cos \alpha \Rightarrow dl = \frac{rd\alpha}{\cos \alpha} \Rightarrow dl = \frac{ad\alpha}{\cos^2 \alpha}. \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в (1), получим:

$$\vec{E} = \vec{j} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l} \int_l \frac{a \cdot \cos \alpha \cdot \cos^2 \alpha \cdot d\alpha}{a^2 \cos^2 \alpha} = \vec{j} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 la} \int_l \cos \alpha \cdot d\alpha.$$

Приняв во внимание симметричное расположение стержня относительно оси Oy , пределы интегрирования возьмем от 0 до α , а результат удвоим:

$$\vec{E} = \vec{j} \frac{2q}{4\pi\epsilon_0 la} \int_0^\alpha \cos \alpha \cdot d\alpha = \vec{j} \frac{q}{2\pi\epsilon_0 la} \int_0^\alpha \cos \alpha \cdot d\alpha.$$

Найдем угол α . Для этого рассмотрим $\triangle ABC$. Этот треугольник является одновременно и равнобедренным и прямоугольным, поэтому угол $\alpha = \pi/4$. Таким образом,

$$\vec{E} = \vec{j} \frac{q}{2\pi\epsilon_0 la} \int_0^{\pi/4} \cos \alpha \cdot d\alpha = \vec{j} \frac{q}{2\pi\epsilon_0 la} \left(\sin \frac{\pi}{4} - \sin 0 \right) = \vec{j} \frac{\sqrt{2}q}{4\pi\epsilon_0 la}.$$

Из этой формулы видно, что напряженность поля по направлению совпадает с осью Oy .

Произведем вычисления:

$$E = \frac{\sqrt{2}q}{4\pi\epsilon_0 la} = \frac{\sqrt{2} \cdot 4 \cdot 10^{-8}}{4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 10^{-1} \cdot 1 \cdot 10^{-1}} \approx 25,4 \text{ кВ/м.}$$

Пример 2. Однородный фарфор имеет вид сферического слоя (рис.3.17) с радиусами $R_1 = 5 \text{ см}$ и $R_2 = 10 \text{ см}$. По внутренней поверхности слоя фарфора равномерно распределен положительный избыточный заряд с поверхностной плотностью $\sigma = 6 \text{ мкКл/м}^2$. Требуется: 1) найти зависимость $E(r)$ напряженности электрического поля от расстояния для трех областей: I, II, и III; 2) построить график $E(r)$.

Дано:

$$R_1 = 0,05 \text{ м}$$

$$R_2 = 0,1 \text{ м}$$

$$\sigma = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}^2$$

$$\varepsilon = 6$$

$$E = E(r)$$

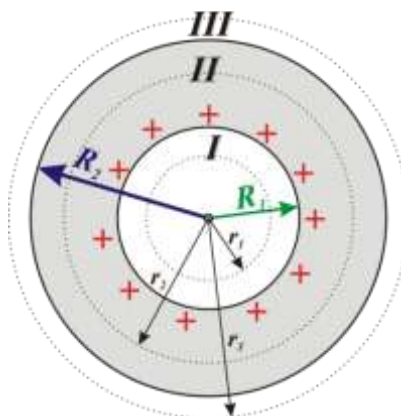


Рис. 3.17 Пример 2

1) Для определения напряженности E_1 области I проведем гауссову сферическую поверхность S_1 радиусом r_1 и воспользуемся теоремой Остроградского-Гаусса, учитывая, что суммарный заряд, находящийся внутри гауссовой поверхности, равен нулю:

$$\oint_{S_1} E_n dS = 0$$

Из соображений симметрии $E_n = E_1 = \text{const}$, поэтому:

$$E_1 \oint_{S_1} dS = 0 \quad \Rightarrow \quad E_1 S_1 = 0.$$

Следовательно, во всех точках, удовлетворяющих условию $r_1 < R_1$, т.е. в области I, напряженность поля E_1 равна нулю.

2) В области II гауссову поверхность проведем радиусом r_2 . Так как в этом случае внутри гауссовой поверхности находится только заряд q , расположенный на внутренней поверхности фарфора, то:

$$\oint_{S_2} E_n dS = \frac{q}{\varepsilon \varepsilon_0}$$

Из соображений симметрии $E_n = E_2 = \text{const}$, поэтому:

$$E_2 \oint_{S_2} dS = \frac{q}{\varepsilon \varepsilon_0} \quad \Rightarrow \quad E_2 S_2 = \frac{q}{\varepsilon \varepsilon_0} \quad \Rightarrow \quad E_2 = \frac{q}{\varepsilon \varepsilon_0 S_2},$$

где $q = \sigma \cdot S$, $S = 4\pi R_1^2$ – площадь внутренней поверхности фарфора, а $S_2 = 4\pi r_2^2$ – площадь гауссовой поверхности. Тогда

$$E_2 = \frac{\sigma \cdot 4\pi R_1^2}{4\pi \varepsilon \varepsilon_0 r_2^2} = \frac{\sigma \cdot R_1^2}{\varepsilon \varepsilon_0 r_2^2}.$$

3) В области III гауссова поверхность проводится радиусом r_3 . Обозначим напряженность электрического поля в этой области через

E_3 . Учитывая, что в этом случае гауссова поверхность охватывает заряд q , расположенный на внутренней поверхности фарфора, то

$$E_3 \oint_{S_3} dS = \frac{q}{\epsilon_0} \Rightarrow E_3 S_3 = \frac{q}{\epsilon_0} \Rightarrow E_3 = \frac{q}{\epsilon_0 S_3},$$

где $S_3 = 4\pi r_3^2$ – площадь гауссовой поверхности. Тогда

$$E_3 = \frac{\sigma \cdot 4\pi R_1^2}{4\pi \epsilon_0 r_3^2} = \frac{\sigma \cdot R_1^2}{\epsilon_0 r_3^2}.$$

Построим зависимость $E(r)$.

В области I ($r < R_1$) $E_1 = 0$.

В области II ($R_1 \leq r < R_2$) $E_2(r)$ изменяется по закону $1/r^2$. В точке $r = R_1$ напряженность электрического поля:

$$E_2 = \frac{\sigma \cdot R_1^2}{\epsilon \epsilon_0 R_1^2} = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0} = \frac{6 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \approx 113 \text{ кВ/м}.$$

В точке $r = R_2$ (r стремится к R_2 слева) напряженность электрического поля:

$$E_2 = \frac{\sigma \cdot R_1^2}{\epsilon \epsilon_0 R_2^2} = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-1}} \approx 56,5 \text{ кВ/м}.$$

В области III $r > R_2$ $E_2(r)$ изменяется по закону $1/r^2$, причем в точке $r = R_2$ (r стремится к R_2 справа) напряженность электрического поля:

$$E_3 = \frac{\sigma \cdot R_1^2}{\epsilon_0 R_2^2} = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-1}} \approx 339 \text{ кВ/м}.$$

Таким образом зависимость $E(r)$ имеет вид, представленный на рисунке 3.18.

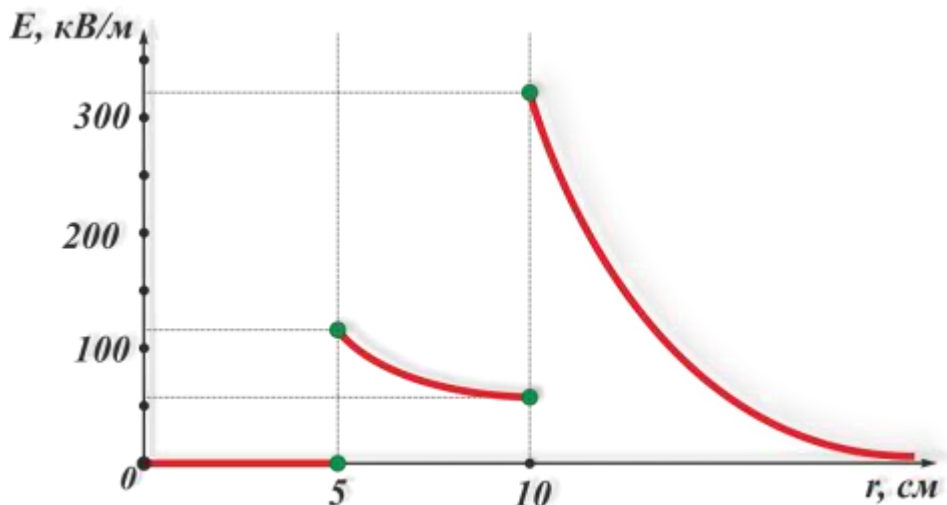


Рис. 3.18 К решению примера 2

Пример 3. Замкнутый контур (рис. 3.19) состоит из сопротивлений R_1 и R_2 , равных 10 Ом , сопротивления R_3 , равного 20 Ом и источника с ЭДС 12 В и внутренним сопротивлением $r = 1 \text{ Ом}$. По проводнику СА течет ток силой 1 А . Требуется: 1) определить силы токов на участках цепи; 2) изобразить изменение потенциала вдоль участка цепи АεВ.

Дано:

$$R_1 = R_2 = 10 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 20 \text{ Ом}$$

$$r = 1 \text{ Ом}$$

$$\varepsilon = 12 \text{ В}$$

$$I_1; I_2; \varphi = \varphi(x)$$

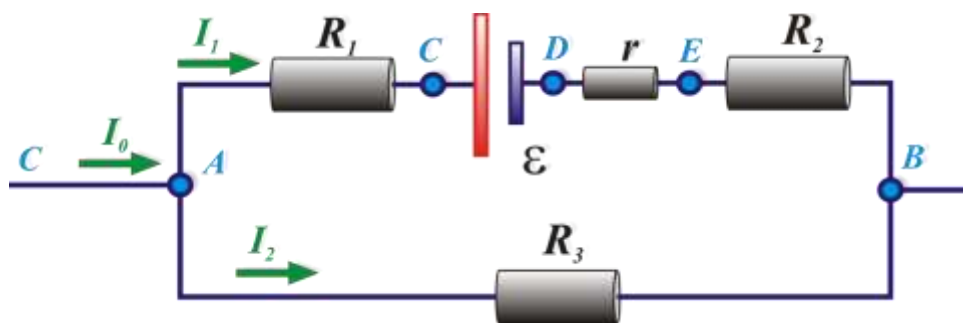


Рис. 3.19 Пример 2

Запишем первое правило Кирхгофа для узла А:

$$I_0 = I_1 + I_2.$$

Выберем направление обхода контура по часовой стрелке, тогда второе правило Кирхгофа имеет вид:

$$I_1(R_1 + R_2 + r) - I_2R_3 = -\varepsilon.$$

Решая совместно эти уравнения получим: $I_1 = 0,2 \text{ А}$, $I_2 = 0,8 \text{ А}$.

Изобразим изменение потенциала вдоль участка цепи АεВ. Для этого найдем разность потенциалов между точками А и В, используя закон Ома для неоднородного участка цепи:

$$I_1 = \frac{(\varphi_A - \varphi_B) - \varepsilon}{R_1 + R_2 + r}.$$

Следовательно

$$\varphi_A - \varphi_B = 16,2 \text{ В}.$$

Примем потенциал точки А равным нулю: $\varphi_B = 0$. Тогда потенциал точки В $\varphi_A = 16,2 \text{ В}$ (рис. 3.20). На сопротивлении R_1 происходит падение напряжения на 2 В , т.е. $\varphi_C = 14,2 \text{ В}$. Далее потенциал уменьшается на величину ЭДС источника тока, т.е. $\varphi_D = 2,2 \text{ В}$.

На внутреннем сопротивлении происходит уменьшение потенциала (падение напряжения) на величину $\varphi_D - \varphi_E = I_1 r = 0,2 \text{ В}$. Следовательно, $\varphi_E = \varphi_D - I_1 r = 2 \text{ В}$.

На участке ΕВ происходит уменьшение потенциала на сопротив-

лении R_2 на величину $U_{EB} = I_1 R_2 = 2 \text{ В}$, поэтому $\varphi_B = \varphi_E - U_{EB} = 0 \text{ В}$.

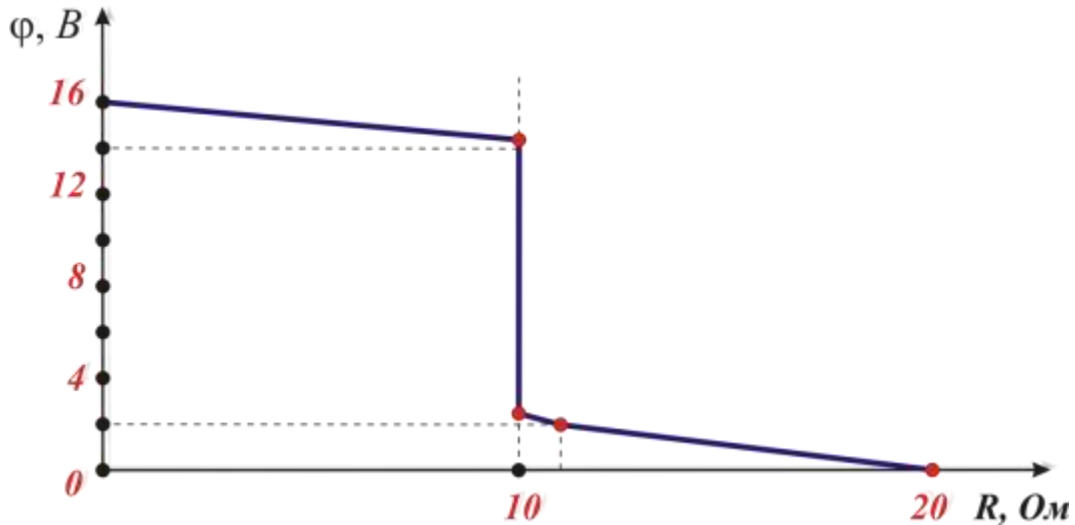


Рис. 3.20 Изменение потенциала

Пример 4. Бесконечно длинный провод изогнут так, как изображено на рисунке 3.21. Радиус R дуги окружности равен 10 см . Определить магнитную индукцию \vec{B} поля, создаваемого в точке O током $I = 80 \text{ А}$, текущим по этому проводу.

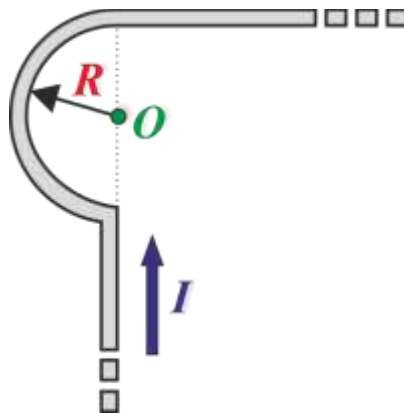


Рис. 3.21 Пример 3

Дано:
 $R = 0,1 \text{ м}$
 $I = 80 \text{ А}$

\vec{B}

Магнитную индукцию \vec{B} в точке O найдем, используя принцип суперпозиции магнитных полей. Для этого разобьем провод на три части (рис.3.22) два прямолинейных участка (1 и 3), одним концом уходящие в бесконечность, и дугу полуокружности (2) радиуса R . Тогда

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3,$$

где \vec{B}_1 , \vec{B}_2 и \vec{B}_3 – магнитные индукции в точке O , создаваемые током, текущим соответственно на первом, втором и третьем участках провода.

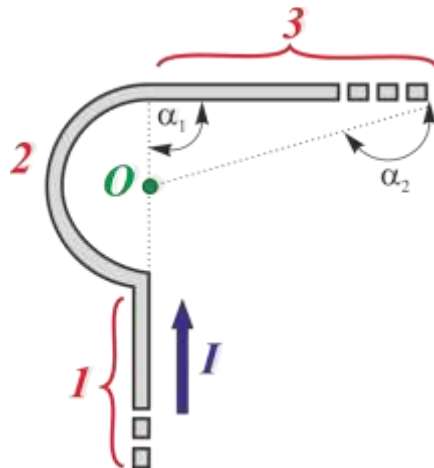


Рис. 3.22 К решению примера 4

Так как точка O лежит на оси провода 1, то $\vec{B}_1 = 0$. Следовательно,

$$\vec{B} = \vec{B}_2 + \vec{B}_3.$$

Используя правило правой руки, найдем, что векторы \vec{B}_2 и \vec{B}_3 направлены перпендикулярно плоскости чертежа от нас. Если также направить ось X , то получим, что модуль вектора \vec{B} равен

$$OX: \quad B = B_x = B_{2,x} + B_{3,x}.$$

Магнитную индукцию $B_{2,x}$ найдем, воспользовавшись выражением для магнитной индукции в центре кругового тока и учитывая, что в нашем случае магнитное поле в точке O создается половиной кругового тока:

$$B_{2,x} = \frac{\mu_0 I}{4R}.$$

Магнитную индукцию $B_{3,x}$ найдем, воспользовавшись соотношением:

$$B_{3,x} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2),$$

где $r = R$, $\alpha_1 = \pi/2$, $\alpha_2 \rightarrow \pi$.

Тогда

$$B_{3,x} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r}.$$

Таким образом, индукция магнитного поля в точке O :

$$B = \frac{\mu_0 I}{4r} + \frac{\mu_0 I}{4\pi r} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\pi + 1).$$

Выполнив вычисления, находим:

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 80}{4\pi \cdot 0,1} (\pi + 1) = 3,31 \cdot 10^{-4} \text{ Тл.}$$

Пример 5. Ток, текущий по длинному прямому соленоиду, радиус сечения которого R , меняется так, что магнитное поле внутри соленоида возрастает со временем по закону $B = \beta t^2$, где β – постоянная. Найти плотность тока смещения как функцию расстояния r от оси соленоида.

Дано:

$$B = \beta t^2$$

R

$j_{см}(r)$ - ?

Для определения плотности тока смещения $j_{см}$ воспользуемся формулой:

$$\vec{j}_{см} = \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}.$$

Для нахождения вектора \vec{E} воспользуемся уравнением Максвелла для циркуляции вектора \vec{E} , т.е. уравнением:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S},$$

где \vec{B} – вектор магнитной индукции.

В качестве контура L возьмем окружность радиуса r , плоскость которой совпадает с плоскостью витком соленоида, а центр располагается на его оси. Контур L ограничивает поверхность площадью S .

Так как угол между векторами \vec{E} и $d\vec{l}$, а также $\partial \vec{B}$ и $d\vec{S}$ равен нулю, то:

$$\oint_L E dl = \int_S \frac{\partial B}{\partial t} dS$$

Так как модуль вектора \vec{E} во всех точках на расстоянии r от оси соленоида одинаков, то E можно вынести за знак интеграла. Кроме того, так как магнитное поле внутри длинного соленоида однородно вдоль сечения соленоида, т.е. и вдоль поверхности S , то $\partial B / \partial t$ тоже можно вынести за знак интеграла. Таким образом,

$$E \oint_L dl = \frac{\partial B}{\partial t} \int_S dS.$$

Тогда, учитывая, что в длинном соленоиде магнитное снаружи отсутствует, то

$$\begin{aligned} \text{при } r < R & \quad 2\pi r E = \pi r^2 \frac{\partial B}{\partial t} \\ \text{при } r > R & \quad 2\pi r E = \pi R^2 \frac{\partial B}{\partial t}. \end{aligned}$$

Так как $B = \beta t^2$, то $\partial B / \partial t = 2\beta t$. С учетом этого напряженность электрического поля:

$$\begin{aligned} \text{при } r < R & \quad E = r\beta t \\ \text{при } r > R & \quad E = \frac{R^2}{r} \beta t. \end{aligned}$$

Таким образом, плотность ток смещения:

$$\begin{aligned} \text{при } r < R & \quad j_{см} = \varepsilon_0 r\beta \\ \text{при } r > R & \quad j_{см} = \varepsilon_0 \beta \frac{R^2}{r}. \end{aligned}$$

График зависимости $j_{см}(r)$ показана на рис. 3.23.

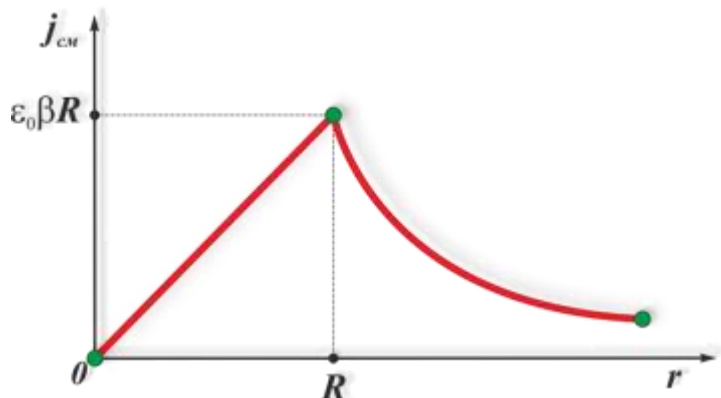


Рис. 3.23 К решению примера 5

Пример 6. Плоская световая волна с $\lambda = 0,64$ мкм и интенсивностью I_0 падает нормально на круглое отверстие радиуса $r = 1,2$ мм. Найти графическим методом, т.е. используя спираль Френеля, интенсивность в центре дифракционной картины на экране, отстоящем от отверстия на расстояние $b = 1,5$ м.

Дано:

$$\lambda = 0,64 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$r = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$b = 1,5 \text{ м}$$

I

Прежде всего вычислим число m зон Френеля, укладываемых в данное отверстие. Для этого воспользуемся формулой:

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

Так как волна, падающая нормально на данное отверстие, плоская, то $a \rightarrow \infty$. Следовательно,

$$r_m = \sqrt{m\lambda b}$$

Тогда число зон Френеля:

$$m = \frac{r^2}{\lambda b} = 1,5.$$

Так как в отверстии укладывается 1,5 зоны Френеля, то для ответа на вопрос задачи достаточно построить один первый веток спирали Френеля, который соответствует результирующему действию первых двух зон Френеля. При этом примем первый веток спирали Френеля за окружность (рис. 3.24).

Изобразим на первом витке спирали Френеля векторы, соответствующие амплитудам колебаний: от всей волновой поверхности (\vec{A}_0), от первых полутора зон Френеля ($\vec{A}_{1,5}$) и от всех остальных зон ($\vec{A}_{ост}$). Так как все остальные зоны закрыты, то остается только вектор $\vec{A}_{1,5}$. Из рисунка 3.24 видно, что

$$A_{1,5} = \sqrt{2}A_0.$$

Учитывая, что $I \sim A^2$, то интенсивность $I = 2I_0$.

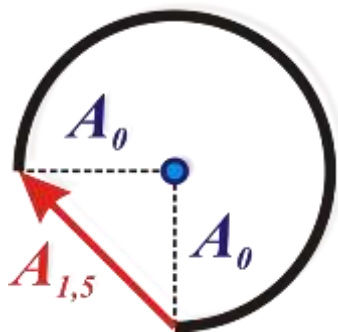


Рис. 3.24 «Действующая» часть первого витка спирали Френеля

Пример 7. Непрозрачный экран, имеющий форму полудиска, помещен между точечным источником S и точкой наблюдения P так, что точка O располагается на одной прямой с точками S и P . Радиус экрана r равен радиусу 3-й зоны Френеля. Используя спираль Френеля, определите интенсивность света в точке наблюдения, если в отсутствие экрана она равна I_0 .

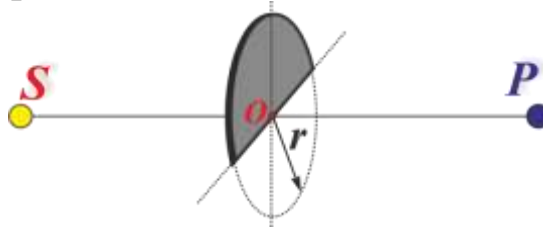


Рис. 3.25 Пример 7

Так как радиус экрана равен радиусу 3-й зоны Френеля, то для ответа на вопрос задачи достаточно построить первых полтора ветка спирали Френеля (рис. 3.26).

Вектор \vec{E}_3 представляет собой результирующее колебание, когда открыты первые три зоны Френеля. Непрозрачный полудиск уменьшает амплитуду \vec{E}_3 в два раза. Остальная часть волновой поверхности, начиная с четвертой зоны, создает в точке P колебание, характеризуемое вектором $\vec{E}_{4-\infty}$.

Таким образом, как видно из рисунка 3.26 амплитуда результирующего колебания в точке P равна:

$$E = 0,5 \cdot E_3 - E_{4-\infty} \approx 0.$$

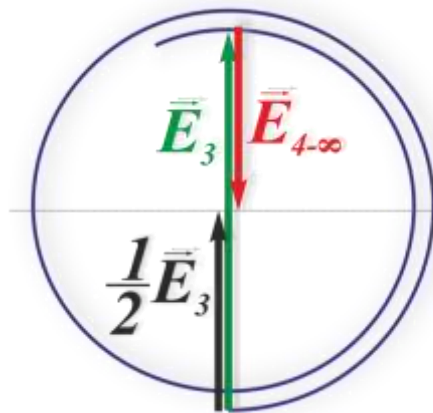


Рис. 3.26 К решению примера 7

3.3. Задания для расчетно-графической работы №3

Расчетно-графическая работа № 3 содержит 5 задач, которые оформляются в соответствии с требованиями, изложенными в правилах оформления.

Задача 1

Варианты 1- 10 (табл. 3.1). Внутри сферы радиусом R , на поверхности которой равномерно распределен заряд q_1 с поверхностной плотностью σ , находится шар радиусом $0,5R$, в объеме которого равномерно распределен заряд q_2 с объемной плотностью ρ (рис. 3.27). Требуется: 1) найти зависимость $E(r)$ напряженности электрического поля от расстояния для трех областей: I, II, и III; 2) построить график $E(r)$; 3) вычислить напряженность E в точке, удаленной от центра на расстояние r , и указать направление вектора \vec{E} . Диэлектрическую проницаемость считать равной единице.

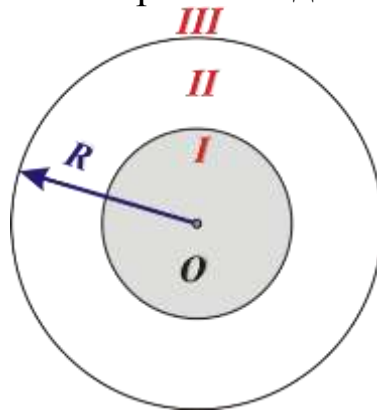


Рис. 3.27 Варианты 1 – 10

Таблица 3.1 Задача 1 расчетно-графической работы №3. Варианты 1- 10

Вариант	R , см	q_1 , нКл	σ нКл/м ²	q_2 , нКл	ρ , мкКл/м ³	r , м
1	20	1		2		15
2	10	1		-2		15
3	20	2			0,7	15
4	10	2			-10	15
5	20		3	2		15
6	10		3	-2		15
7	20		2		0,7	15
8	10		2		-10	15
9	20	-1			0,7	15
10	10		-3		10	15

Варианты 11- 20 (табл. 3.2). Внутри шара радиусом R_1 , заряженного равномерно с объемной плотностью заряда $\rho = a/r$ (a – постоянная, r – расстояние от центра шара) имеется сферическая полость радиусом R_2 , центр которой совпадает с центром шара (рис. 3.28). Требуется: 1) найти зависимость $E(r)$ напряженности электрического поля от расстояния для трех областей: I, II, и III; 2) построить график $E(r)$; 3) вычислить напряженность E в точке, удаленной от центра на расстояние r , и указать направление вектора \vec{E} . Диэлектрическую проницаемость считать равной единице.

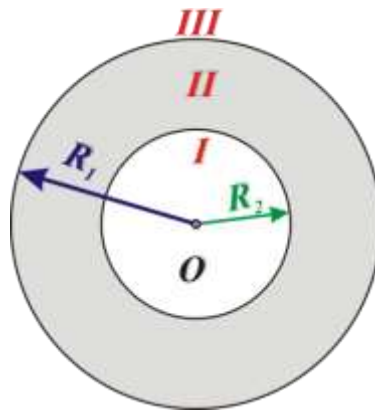


Рис. 3.28 Варианты 10 – 20

Таблица 3.2 Задача 1 расчетно-графической работы №3. Варианты 10- 20

Вариант	R_1 , см	R_2 , м	a , нКл/м ²	r , м
11	10	0	-1	25
12	20	5	-1	25
13	30	10	-1	25
14	10	5	1	25
15	20	15	1	25
16	30	0	1	25
17	10	5	-2	25
18	20	10	2	25
19	30	20	3	25
20	40	0	-3	25

Варианты 21 - 30 (табл. 3.3). На двух концентрических сферах радиусом R_1 и R_2 равномерно распределены заряды q_1 и q_2 с поверхностными плотностями σ_1 и σ_2 (рис. 3.29). Требуется: 1) найти зависимость $E(r)$ напряженности электрического поля от расстояния для трех областей: I, II, и III; 2) построить график $E(r)$; 3) вычислить

напряженность E в точке, удаленной от центра на расстояние r , и указать направление вектора \vec{E} . Диэлектрическую проницаемость считать равной единице.

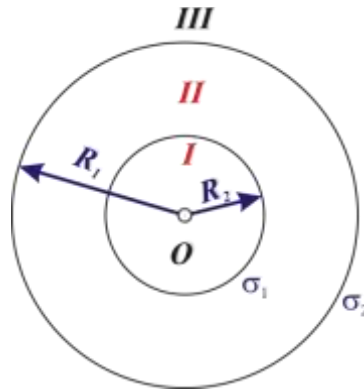


Рис. 3.29 Варианты 20 – 30

Таблица 3.3 Задача 1 расчетно-графической работы №3. Варианты 20- 30

Вариант	$R_1, \text{см}$	$R_2, \text{см}$	$q_1, \text{нКл}$	$\sigma_1, \text{нКл/м}^2$	$q_2, \text{нКл}$	$\sigma_2, \text{нКл/м}^2$	$r, \text{м}$
21	10	5	1			1	20
22	20	10	2			2	15
23	30	20	3			3	10
24	10	5		1	-3		10
25	20	10		2	-2		30
26	30	20		3	-1		25
27	10	5		-3		1	7
28	20	10		-2		2	15
29	30	20		-1		3	10
30	10	5		-3		-1	5

Задача 2

Варианты 1- 30 (табл. 3.4). Замкнутый контур состоит из сопротивлений R_1, R_2 и R_3 , источников с ЭДС ε_1 и ε_2 , внутреннее сопротивление которых r_1 и r_2 соответственно. По проводнику АВ течет ток I_0 . Требуется: 1) определить силы токов I_1, I_2 и I_3 , текущие через соответствующие сопротивления; 2) изобразить изменение потенциала вдоль: всей цепи (варианты 1-12); вдоль контура ABCA.

Таблица 3.4 Задача 2 расчетно-графической работы №3

Вариант	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$I_0, \text{ А}$	$\varepsilon_1, \text{ В}$	$r_1, \text{ Ом}$	$\varepsilon_2, \text{ В}$	$r_2, \text{ Ом}$	Цепь
1	20	25	100		12	2	18	3	
2	R	R	R	2	18	2	12	3	
3	100	25	20		30	5	0	0	
4	20	0	20		15	2	15	3	
5	25	100	20		-15	3	30	2	
6	20	25	100		12	2	18	0	
7	20	25	100		12	2	18	3	
8	R	R	R	2	18	2	12	3	
9	100	25	20		30	5	0	0	
10	20	0	20		15	2	15	3	
11	25	100	20		-15	3	30	2	
12	20	25	100		12	0	18	3	
13	100	100	100		12	1	15	2	
14	100	100	200		-15	1	12	2	
15	100	200	200		0	0	12	2	
16	100	200	300		24	1	-9	0,5	
17	100	0	100		12	2	9	0	
18	100	100	100		0	1	15	2	
19	300	200	100		12	1	15	2	
20	300	200	100		-12	1	15	2	
21	100	200	300		-12	1	-9	0	
22	100	200	300		12	0	-9	1	
23	100	25	20		12	1	-9	2	
24	100	25	20		12	1	0	2	
25	20	25	100		12	2	18	3	
26	20	25	100		12	0	18	3	
27	100	200	50		-12	1	15	2	
28	100	200	50		12	1	-9	2	
29	50	50	50		12	1	-9	0	
30	50	50	50		15	0	-9	0	

Задача 3

Варианты 1- 30 (табл. 3.5). Провод, которому течет ток I , изогнут так как это показано на рисунке. Найти напряженность магнитного поля в точке O .

Таблица 3.5 Задача 3 расчетно-графической работы №3

Вариант	$R_1, \text{ см}$	$R_2, \text{ см}$	$\varphi, ^\circ$	$I, \text{ А}$	$a, \text{ см}$	Направление тока	Форма проводника
1	20	50	30	10		↻	
2	20	50	45	10		↻	
3	20	50	60	10		↻	
4	20	50	90	10		↻	
5	20	50	120	10		↻	
6	20	50	180	10		↻	
7	20		15	5	40	↻	
8	20		30	5	40	↻	
9	20		45	5	40	↻	
10	20		60	5	40	↻	
11	20		75	5	40	↻	
12	20		90	5	40	↻	
13	20	50	60	10		↻	
14	20	50	90	10		↻	
15	20	50	180	10		↻	
16	50	20	30	10		↻	
17	50	20	90	10		↻	
18	50	20	120	10		↻	
19	50		30	1	10	↻	
20	50		60	2	10	↻	
21	50		90	3	10	↻	
22	10		120	4	50	↻	
23	10		180	5	50	↻	
24	10		270	6	50	↻	
25	50		30	5	10	↻	
26	50		90	5	10	↻	
27	50		180	5	10	↻	
28	10		30	5	50	↻	
29	10		60	5	50	↻	
30	10		180	5	50	↻	

Задача 4

Варианты 1- 30 (табл. 3.6). Ток, текущий по длинному прямому соленоиду, радиус сечения которого R , а число витков на единицу длины n , меняется со временем $I(t)$ так, что магнитное поле внутри соленоида возрастает со временем по закону $B(t)$, а напряженность – $H(t)$. Найти плотность тока смещения $j_{см}$ как функцию расстояния r от оси соленоида. Построить график зависимости $j_{см}(r)$.

Таблица 3.6 Задача 4 расчетно-графической работы №3. Варианты 1- 30

Вариант	$I(t), \text{мА}$	$R, \text{см}$	$n, \text{м}^{-1}$	$B(t), \text{мкТл}$	$H(t), \text{А/м}$
1	$100t^2$	10	2000		
2	$-100t^2$	10	2000		
3	$100t^2+50t$	10	2000		
4	$-100t^2-50t$	10	2000		
5	$100(1+t^2)$	10	2000		
6	$100(1-t^2)$	10	2000		
7	$100t^2+50t+25$	10	2000		
8	$-100t^2-50t+25$	10	2000		
9		10		$125t^2$	
10		10		$-125t^2$	
11		10		$125t^2+50t$	
12		10		$-125t^2+50t$	
13		10		$125(1+t^2)$	
14		10		$125(1-t^2)$	
15		10		$125t^2+50t+30$	
16		10		$-125t^2+50t-30$	
17		10			$100t^2$
18		10			$-100t^2$
19		10			$100t^2+50t$
20		10			$-100t^2+50t$
21		10			$100(1+t^2)$
22		10			$100(1-t^2)$
23		10			$100t^2+50t+25$
24		10			$-100t^2-50t+25$
25	$-100\sin t$	20	5000		
26	$100\cos t$	20	5000		
27		20		$250\sin t$	
28		20		$-250\cos t$	
29		20			$-100\sin t$
30		20			$100\cos t$

Задача 5

Варианты 1- 10 (табл. 3.7). Свет длиной волны λ и интенсивностью I_0 падает на круглое препятствие диаметром d , отстоящего от источника света на расстояние a . Найти графическим методом, т.е. используя спираль Френеля, интенсивность в центре дифракционной картины на экране, отстоящем от отверстия на расстояние b .

Таблица 3.7 Задача 5 расчетно-графической работы №3. Варианты 1-10

Вариант	λ , мкм	d , мм	a , м	b , м	Вид преграды
1	0,6	3	3,75	3,75	отверстие
2	0,6	3	∞	2,5	отверстие
3	0,6	3	15	3	отверстие
4	0,6	3	∞	3,75	отверстие
5	0,5	2	8	8	отверстие
6	0,6	3	3,75	3,75	диск
7	0,6	3	∞	2,5	диск
8	0,6	3	15	3	диск
9	0,6	3	∞	3,75	диск
10	0,5	2	8	8	диск

Варианты 11-20 (табл. 3.8). Плоская световая волна интенсивности I_0 падает нормально на преграду, в которой для точки наблюдения A открыты только некоторые зоны Френеля. Найти графическим методом, т.е. используя спираль Френеля, интенсивность света в точке A .

Таблица 3.8 Задача 5 расчетно-графической работы №3. Варианты 11-20

Вариант	Открытые зоны Френеля
11	первая половина 1-й зоны и первая половина 2-й зоны
12	первая половина 1-й зоны и вторая половина 2-й зоны
13	первая половина 1-й зоны и вся 2-я зона
14	вторая половина 1-й зоны и первая половина 2-й зоны
15	вторая половина 1-й зоны и вторая половина 2-й зоны
16	вторая половина 1-й зоны и вся 2-я зона
17	вся 1-я зона и первая половина 2-й зоны
18	вся 1-я зона и вторая половина 2-й зоны
19	вся 1-я зона и вся 2-я зона
20	только 1-я и 3-я зоны

Варианты 21-32 (табл. 3.9). Между точечным монохроматиче-

ским источником света и точкой P наблюдения перпендикулярно соединяющей их линии помещен экран имеющий форму, представленную на рисунке. Радиус R_1 экрана равен радиусу 1-ой зоны Френеля, а радиус R_2 – радиусу 2-ой зоны Френеля. Используя спираль Френеля, определите интенсивность света в точке наблюдения, если в отсутствие экрана она равна I_0 .

Таблица 3.9 Задача 5 расчетно-графической работы №3. Варианты 21-30

Вариант	Форма экрана	Вариант	Форма экрана	Вариант	Форма экрана
21		25		29	
22		26		30	
23		27		31	
24		28		32	

4.2. Примеры решения задач

Пример 1. На рис. 4.1 представлено распределение энергии в спектре абсолютно черного тела для температуры 300 K . Используя это распределение, найти приблизительное значение энергетической светимости R_e абсолютно черного тела при данной температуре.

Дано:

$$T = 300\text{ K}$$

$R_e - ?$

Энергетическая светимость R_e абсолютно черного тела численно равна площади криволинейной трапеции, образованной кривой $r_\lambda(\lambda)$ и осью абсцисс. Из рис. 4.1 видно, что ее площадь приблизительно равна площади треугольника ABC , то есть:

$$R_e \approx S_{ABC} = \frac{31 \cdot 10^6 \cdot 28 \cdot 10^{-6}}{2} = 434 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

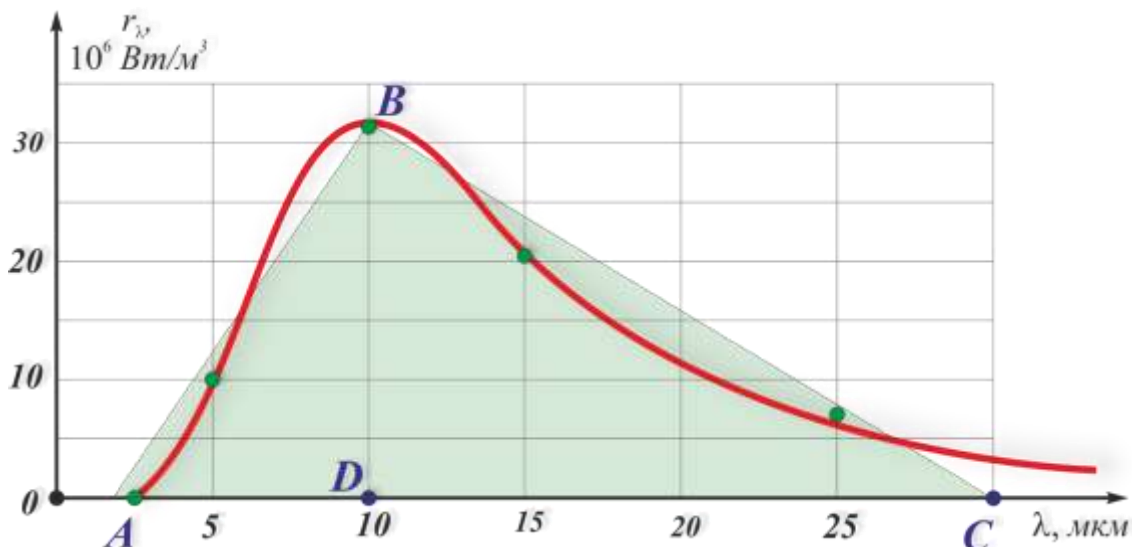


Рис. 4.1 Распределение энергии в спектре черного тела ($T = 300\text{ K}$)

Оценим, насколько найденное значение энергетической светимости отличается от значения, найденного по закону Стефана–Больцмана:

$$R_e = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} (300)^4 \approx 459 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Таким образом, ошибка составила около 5%.

Пример 2. Атомарный водород возбуждают на 3-й энергетический уровень. Определить: а) количество спектральных линий, испускаемых атомом водорода; б) длины волн испускаемых линий се-

рии Лаймана. Изобразить схему энергетических уровней атома водорода, поясняющую возникновение найденного количества спектральных линий.

Дано:	Количество спектральных линий можно найти о формуле:
$m = 3$	
$n = 1$	
$N - ?$	

$$N = \frac{1}{2}m(m-1).$$

Тогда

$$N = \frac{1}{2} \cdot 3(3-1) = 3.$$

Количество линий также можно найти, изобразив схему энергетических уровней атома водорода, и указав на ней все возможные переходы электрона, соответствующие излучению различных спектральных линий (рис. 4.2).

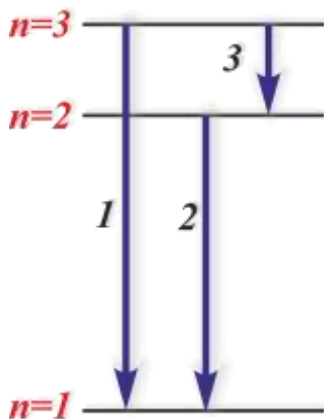


Рис. 4.2 Схема уровней энергии атома водорода

Из рисунка видно, что количество переходов электрона, а значит и количество спектральных линий равно трем. При этом две спектральные линии, соответствующие переходам 1 и 2, принадлежат серии Лаймана, и одна – серии Бальмера.

Так как в серии Лаймана переход осуществляется на первую орбиту со всех остальных (в нашем случае с третьей), то формулу Бальмера-Ритца можно записать в виде:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) = R \left(1 - \frac{1}{m^2} \right),$$

где R – постоянная Ридберга, $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$, n – целое число, опре-

деляющее серию спектральных линий, m – целое число, определяющее линию этой серии.

Тогда длину волн, испускаемых линий серии Лаймана, можно найти по формуле:

$$\lambda = \frac{m^2}{R(m^2 - 1)}.$$

При $m = 3$

$$\lambda_{3-1} = \frac{3^2}{1,097 \cdot 10^7 (3^2 - 1)} = 1,03 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

При $m = 2$

$$\lambda_{2-1} = \frac{2^2}{1,097 \cdot 10^7 (2^2 - 1)} = 1,22 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Пример 3. На рис. 4.3 представлена зависимость максимальной кинетической энергии $E_{к,мах}$ фотоэлектронов, вырываемых с поверхности бария, от частоты облучающего света ν . Используя эту зависимость определить значение постоянной Планка h , частоту, соответствующую красной границе фотоэффекта ν_0 , и работу выхода $A_{вых}$ электронов из бария.

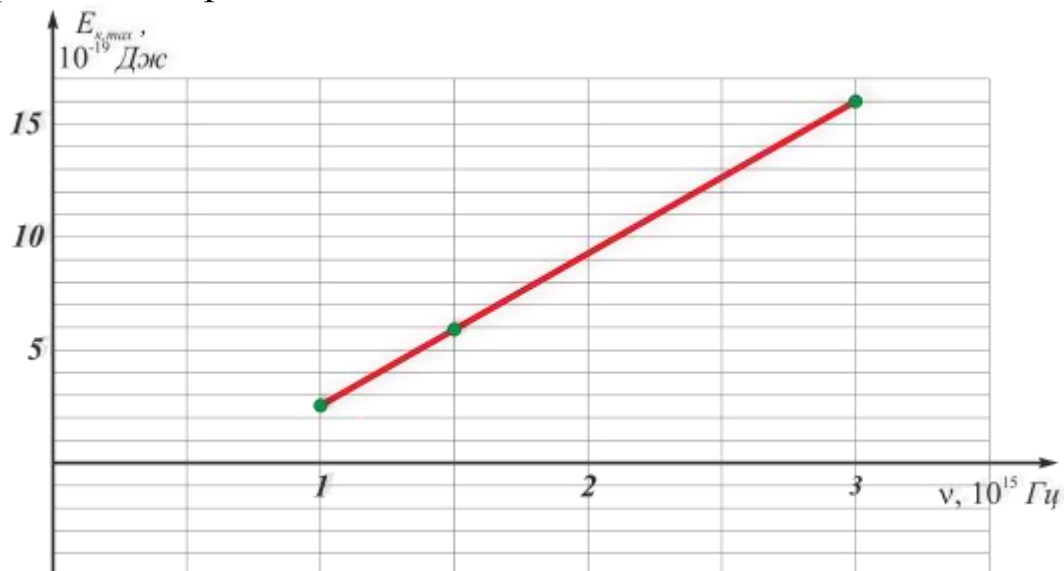


Рис. 4.3 Пример 3

Дано:

B – барий

$E_{к, max}(ν)$

h – ?

$ν_0$ – ?

$A_{вых}$ – ?

Красная граница фотоэффекта – это частота $ν_0$, ниже которой фотоэффект отсутствует, т.е. частота при которой кинетическая энергия фотоэлектронов равна нулю. Экстраполируя график зависимости $E_{к, max}(ν)$ до пересечения с осью абсцисс, найдем частоту излучения $ν_0$, при которой у фотоэлектронов кинетическая энергия отсутствует. Из рис. 4.4 видно,

что $ν_0 ≈ 0,6 \cdot 10^{15}$ Гц.

Заметим, что точка пересечения графика с осью ординат определяет работу выхода $A_{вых}$ электронов. Из рис. 4.4 видно, что $A_{вых} ≈ 4 \cdot 10^{-19}$ Дж.

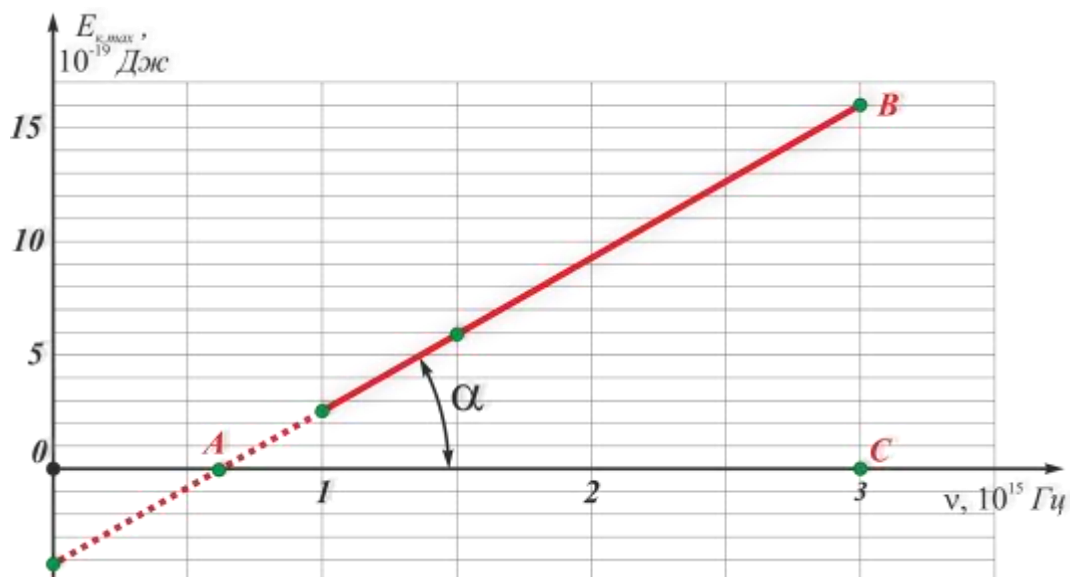


Рис. 4.4 К решению примера 3

Из рис. 4.4 видно, что зависимость $E_{к, max}$ от $ν$ линейна. Используя формулу Эйнштейна для фотоэффекта

$$hν = A_{вых} + E_{к, max},$$

найдем уравнение этой прямой:

$$E_{к, max} = hν - A_{вых}.$$

Это уравнение вида $y = ax + b$, где a – угловой коэффициент, причем $a = \text{tg}α$. Таким образом, по наклону зависимости $E_{к, max}(ν)$ можно найти постоянную Планка. Для этого рассмотрим $\triangle ABC$ (рис. 4.4), из которого следует, что

$$h = \operatorname{tg} \alpha = \frac{E_{\kappa, \max}}{v - v_0}$$

Тогда

$$h = \frac{16 \cdot 10^{-19}}{3 \cdot 10^{15} - 0,6 \cdot 10^{15}} = 6,67 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Пример 4. Частица в бесконечно глубокой одномерной, прямоугольной потенциальной яме шириной l находится в основном ($n = 1$). Определить в каких точках ямы плотность вероятности нахождения частицы максимальна. Решение пояснить графиком.

Дано:

$$n = 1$$

$$\omega = \max$$

$$x - ?$$

Волновая функция ψ , описывающая состояние частицы в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной l , имеет вид:

$$\psi = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{n\pi x}{l}.$$

Согласно физическому смыслу волновой функции

$$|\psi|^2 = \omega,$$

где ω – плотность вероятности обнаружения частицы в точке с координатой x .

Т.к. частица находится в основном состоянии ($n = 1$), то:

$$\omega = \frac{2}{l} \sin^2 \frac{\pi x}{l}.$$

Из последней формулы следует, что плотность вероятности максимальна при $\sin(\pi x/l) = \pm 1$. Это возможно если:

$$\frac{\pi x}{l} = \frac{\pi}{2} + \pi k, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Решая это уравнение, получим:

$$x = l \left(\frac{1}{2} + k \right).$$

Перебирая значения k , находим, что лишь при $k = 0$ частица находится в пределах ямы $0 < x < l$. При этом $x = l/2$.

Таким образом, в основном энергетическом состоянии с наибольшей вероятностью частицу можно обнаружить в середине ямы.

Для того чтобы пояснить полученное решение графически, построим график функции $\psi(x)$. На рисунке рис. 4.5 пунктирной линией показана зависимость $\psi(x)$, а распределение плотности вероятности –

сплошной. Рисунок 4.5 подтверждает ранее сделанный вывод о максимальной вероятности нахождения части в центре ямы.

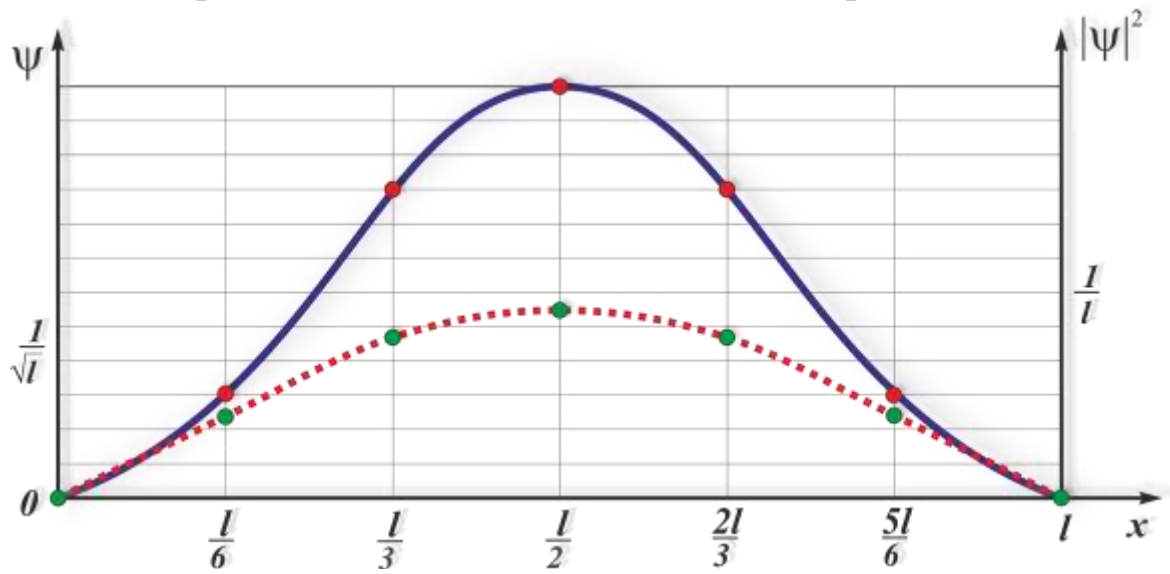


Рис. 4.5 К решению примера 4

4.3. Задания для расчетно-графической работы №4

Расчетно-графическая работа №4 содержит 4 задачи, которые оформляются в соответствии с требованиями, изложенными в правилах оформления.

Задача 1

Варианты 1- 30. (табл. 4.1). Формула Планка для спектральной испускательной способности $r_{\lambda,T}$ абсолютно черного тела имеет вид:

$$r_{\lambda,T} = 2\pi hc^2 \cdot \frac{\lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}.$$

Приняв температуру абсолютно черного тела равной T , используя формулу Планка, постройте зависимость $r_{\lambda}(\lambda)$ для диапазона длин волн от 300 нм до 1500 нм с шагом 100 нм. С помощью полученного графика определите: 1) частоту ν_{max} , на которую приходится максимум испускательной способности абсолютно черного тела; 2) постоянную b закона смещения Голицына–Вина; 3) приблизительное значение энергетической светимости R_e абсолютно черного тела (проверить найденное значение с помощью закона Стефана–Больцмана).

Таблица 4.1 Задача 1 расчетно-графической работы №4. Варианты 1-30

Вариант	T, К	Вариант	T, К	Вариант	T, К
1	3500	11	4500	21	5500
2	3600	12	4600	22	5600
3	3700	13	4700	23	5700
4	3800	14	4800	24	5800
5	3900	15	4900	25	5900
6	4000	16	5000	26	6000
7	4100	17	5100	27	6100
8	4200	18	5200	28	6200
9	4300	19	5300	29	6300
10	4400	20	5400	30	6400

Задача 2

Варианты 1-30. (табл. 4.2). Атомарный водород возбуждают на n -й энергетический уровень, при переходе с которого в серии Бальмера испускается спектральная линия длиной волны λ_B . Определить: 1) количество линий, испускаемых водородом при переходе в основное состояние; 2) количество линий, испускаемых водородом при переходе в m -ое возбужденной состоянии; 3) длины волн испускаемых линий при переходе атома водорода в m -ое возбужденной состоянии. Изобразить схему энергетических уровней атома водорода, поясняющую возникновение найденного количества спектральных линий (см. п. 2).

Таблица 4.2 Задача 2 расчетно-графической работы №4. Варианты 1-30

Вариант	$\lambda_B, \text{нм}$	m
1	486,138	1
2	434,051	2
3	410,178	3
4	397,011	4
5	388,909	5
6	383,453	6
7	379,793	7
8	377,067	8
9	375,018	9
10	373,44	10
11	372,197	11
12	371,201	12
13	370,389	13
14	369,719	14
15	369,159	15

Вариант	$\lambda_B, \text{нм}$	m
16	368,686	16
17	368,284	17
18	367,938	18
19	367,639	19
20	367,38	20
21	367,151	21
22	366,95	22
23	366,772	23
24	366,613	24
25	366,471	25
26	366,344	26
27	366,229	27
28	366,125	28
29	656,28	1
30	486,138	2

Задача 3

Варианты 1-30. (табл. 4.3). Используя значение работы выхода $A_{\text{вых}}$ электронов из металла (табл. 4.4.), постройте зависимость максимальной кинетической энергии $E_{k,\text{max}}$ фотоэлектронов, вырываемых с поверхности данного металла, от частоты ν облучающего света. С помощью полученного графика найдите: 1) значение постоянной Планка h ; 2) длину волны λ_0 , соответствующую красной границе фотоэффекта; 3) задерживающую разность потенциалов U_3 при длине волны облучающего света, равной λ .

Таблица 4.3 Задача 3 расчетно-графической работы №4. Варианты 1-30

Вариант	Металл	λ	Вариант	Металл	λ
1	<i>Ag</i>	$0,5\lambda_0$	16	<i>Na</i>	$0,7\lambda_0$
2	<i>Al</i>	$0,5\lambda_0$	17	<i>Ni</i>	$0,7\lambda_0$
3	<i>Au</i>	$0,5\lambda_0$	18	<i>Pb</i>	$0,7\lambda_0$
4	<i>Ba</i>	$0,5\lambda_0$	19	<i>Rb</i>	$0,8\lambda_0$
5	<i>Ca</i>	$0,5\lambda_0$	20	<i>Pt</i>	$0,8\lambda_0$
6	<i>Co</i>	$0,5\lambda_0$	21	<i>Sn</i>	$0,8\lambda_0$
7	<i>Cr</i>	$0,6\lambda_0$	22	<i>Ta</i>	$0,8\lambda_0$
8	<i>Cs</i>	$0,6\lambda_0$	23	<i>Th</i>	$0,8\lambda_0$
9	<i>Cu</i>	$0,6\lambda_0$	24	<i>Ti</i>	$0,8\lambda_0$
10	<i>Fe</i>	$0,6\lambda_0$	25	<i>W</i>	$0,9\lambda_0$
11	<i>Hg</i>	$0,6\lambda_0$	26	<i>Zn</i>	$0,9\lambda_0$
12	<i>K</i>	$0,6\lambda_0$	27	<i>Ba/W</i>	$0,9\lambda_0$
13	<i>Li</i>	$0,7\lambda_0$	28	<i>Cs/Pt</i>	$0,9\lambda_0$
14	<i>Mg</i>	$0,7\lambda_0$	29	<i>Cs/W</i>	$0,9\lambda_0$
15	<i>Mo</i>	$0,7\lambda_0$	30	<i>Th/W</i>	$0,9\lambda_0$

Таблица 4.4 Работа выхода электронов

Металл	$A_{\text{вых}}, \text{эВ}$	Металл	$A_{\text{вых}}, \text{эВ}$	Металл	$A_{\text{вых}}, \text{эВ}$
Алюминий, <i>Al</i>	3,7	Магний, <i>Mg</i>	3,6	Серебро, <i>Ag</i>	4,7
Барий, <i>Ba</i>	2,4	Медь, <i>Cu</i>	4,4	Тантал, <i>Ta</i>	4,07
Барий на вольф- фраме, <i>Ba/W</i>	1,1	Молибден, <i>Mo</i>	4,3	Титан, <i>Ti</i>	4,0
Вольфрам, <i>W</i>	4,5	Натрий, <i>Na</i>	2,3	Торий, <i>Th</i>	3,4
Золото, <i>Au</i>	4,3	Никель, <i>Ni</i>	4,39	Торий на вольф- фраме, <i>Th/W</i>	2,6
Железо, <i>Fe</i>	4,31	Олово, <i>Sn</i>		Хром, <i>Cr</i>	4,6
Калий, <i>K</i>	2,2	Платина, <i>Pt</i>	6,3	Цезий, <i>Cs</i>	2,0
Кальций, <i>Ca</i>	2,8	Ртуть, <i>Hg</i>	4,34	Цезий на вольф- фраме, <i>Cs/W</i>	1,4
Кобальт, <i>Co</i>	4,4	Рубидий, <i>Rb</i>	2,1	Цезий на плати- не, <i>Cs/Pt</i>	1,3
Литий, <i>Li</i>	2,3	Свинец, <i>Pb</i>	4,0	Цинк, <i>Zn</i>	4,2

Задача 4

Варианты 1-30 (табл. 4.5). В одномерной потенциальной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками ($0 < x < l$) находится частица в энергетическом состоянии n . Найти вероятность P пребывания частицы в области $a < x < b$. Решение пояснить графиком.

Таблица 4.5 Задача 4 расчетно-графической работы №4. Варианты 1-30

Вариант	Энергетическое состояние, n	Область $a < x < b$
1	2	$0 < x < l/2$
2	2	$0 < x < l/3$
3	2	$l/3 < x < 2l/3$
4	2	$l/3 < x < l$
5	2	$2l/3 < x < l$
6	2	$0 < x < l/4$
7	2	$l/4 < x < l/2$
8	2	$l/4 < x < 3l/4$
9	2	$l/2 < x < 3l/4$
10	2	$3l/4 < x < l$
11	3	$0 < x < l/2$
12	3	$0 < x < l/3$
13	3	$l/3 < x < 2l/3$
14	3	$l/3 < x < l$
15	3	$2l/3 < x < l$

Вариант	Энергетическое состояние, n	Область $a < x < b$
16	3	$0 < x < l/4$
17	3	$l/4 < x < l/2$
18	3	$l/4 < x < 3l/4$
19	3	$l/2 < x < 3l/4$
20	3	$3l/4 < x < l$
21	4	$0 < x < l/2$
22	4	$0 < x < l/3$
23	4	$l/3 < x < 2l/3$
24	4	$l/3 < x < l$
25	4	$2l/3 < x < l$
26	1	$0 < x < l/3$
27	1	$0 < x < l/4$
28	1	$l/3 < x < 2l/3$
29	1	$2l/3 < x < l$
30	1	$l/4 < x < 3l/4$

ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов, В.А. Электромагнитное поле / В.А. Астахов, Ю.М. Широков. – М.: Издательство «Наука» Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 360 с.
2. Вафин, Д.Б. Задания для самостоятельной работы по физике. Часть 1: учебное пособие / Д.Б. Вафин. – Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО КГТУ, 2010. – 120 с.
3. Вафин, Д.Б. Задания для самостоятельной работы по физике. Часть 2: учебное пособие / Д.Б. Вафин. – Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО КГТУ, 2011. – 116 с.
4. Вафин, Д.Б. Задания для самостоятельной работы по физике. Часть 3: учебное пособие / Д.Б. Вафин. – Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2012. – 166 с.
5. Иродов, И.Е. Основные законы механики: Учеб: пособие для вузов / И.Е. Иродов. - М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 309.
6. Иродов, И.Е. Физика макросистем. Основные законы: Учеб: пособие для вузов / И.Е. Иродов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 207.
7. Иродов, И.Е. Электромагнетизм. Основные законы: Учеб: пособие для вузов / И.Е. Иродов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 319.
8. Иродов, И.Е. Волновые процессы. Основные законы: Учеб: пособие для вузов / И.Е. Иродов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 264.
9. Иродов, И.Е. Квантовая физика. Основные законы: Учеб: пособие для вузов / И.Е. Иродов. - М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 256.
10. Краткий справочник физико-химических величин. Издание десятое, испр. и дополн. / Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой - СПб.: «Иван Федоров», 2003 г.
11. Наумов, А.И. Электродинамика: Учебное пособие для студентов физических факультетов педвузов / А.И. Наумов. - М.: Изд-во "Прометей" МГПИ имени В.И. Ленина, 1989. – 302 с.
12. Парфентьева, Н.А. Решение задач по физике. В помощь по-

ступающим в вузы. Часть 2 / Н.А. Парфентьева, М.В. Фомина. – М.: Мир, 1993. – 206 с.

13. Рудакова, Л.И. Практический курс физики. Волновая оптика. / Л.И. Рудакова, Е.Ю. Соколова. - М.: ОАО «Авиаиздат», 2006. - 136 с.

14. Чертов, А.Г. Задачник по физике: учеб. пособие для втузов / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2001. – 640 с.

15.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ И РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

1. Расчетно-графические и контрольные работы выполняются в простых ученических тетрадях в клетку.

2. На обложке необходимо написать:

Расчетно-графическая работа по физике № ____

Вариант № ____

студента группы _____ (Ф.И.О.)

Проверил: _____

3. При оформлении решения необходимо выполнить следующее:

а) Начинать решение каждой задачи с новой страницы. Для работы над ошибками после каждой задачи оставлять свободное место.

б) Записать конкретное словесное условие задачи с числовыми значениями соответствующего варианта

в) Дать краткую запись исходных данных задачи в системе СИ.

г) Выполнить чертеж (при необходимости), поясняющий содержание задачи.

д) Решение задачи сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями, раскрывающими физический смысл употребляемых формул (указать основные законы, их название, буквенные обозначения величин).

е) Решить задачу в общем виде и получить рабочую формулу, т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи.

ж) Выполнить вычисление искомых величин путем подстановки числовых значений в полученную формулу, руководствуясь правилами приближенных вычислений. Числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 3520 надо писать $3,52 \cdot 10^3$, вместо 0,00129 записать $1,29 \cdot 10^{-3}$.

з) Выполнить построение графиков с помощью чертежных принадлежностей (графики должны занимать не менее половину страницы).

и) Записать ответ, сформулировать вывод.