

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
САНКТ – ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ
ОПТИКА
КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Сборник задач

Санкт-Петербург
2017

ББК 22.33

Авторы:

Электромагнетизм. Оптика- Квантовая механика Сборник задач/ Под ред. *И.И. Коваленко*; СПб ГУАП. СПб., 2017. , ил.

Сборник включает задачи по курсу общей физики, из которых состав-
ляются контрольные задания для студентов заочной формы обучения
Института довузовского и высшего дистанционного образования.

Учебное издание

**Литвинова Надежда Николаевна
Плехоткина Галина Львовна
Тропин Алексей Николаевич
Царев Юрий Николаевич**

Сборник задач состоит из трех частей: электромагнетизм, оптика, квантовая механика. Каждая часть включает в себя несколько разделов. В начале каждого раздела приведены краткие теоретические сведения и основные формулы с комментариями. В конце задачника приведены справочные материалы и список рекомендованной литературы.

Из приведенных задач составляются контрольные задания для студентов. Номер варианта – это последняя цифра в номере студенческого билета или зачетной книжки

| Вар. | Задачи | | | | | | | | | |
|------|--------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|-------|
| | 1.1. | 2.1 | 3.1. | 4.1 | 5.1 | 6.1 | 7.1. | 8.1 | 9.1 | 10.1 |
| 1 | 1.1. | 2.1 | 3.1. | 4.1 | 5.1 | 6.1 | 7.1. | 8.1 | 9.1 | 10.1 |
| 2 | 1.2. | 2.2 | 3.2. | 4.2 | 5.2 | 6.2 | 7.2. | 8.2 | 9.2 | 10.2 |
| 3 | 1.3. | 2.3 | 3.3. | 4.3 | 5.3 | 6.3 | 7.3. | 8.3 | 9.3 | 10.3 |
| 4 | 1.4. | 2.4 | 3.4. | 4.4 | 5.4 | 6.4 | 7.4. | 8.4 | 9.4 | 10.4 |
| 5 | 1.5. | 2.5 | 3.5. | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.5. | 8.5 | 9.5 | 10.5 |
| 6 | 1.6. | 2.6 | 3.6. | 4.6 | 5.6 | 6.6 | 7.6. | 8.6 | 9.6 | 10.6 |
| 7 | 1.7. | 2.7 | 3.7. | 4.7 | 5.7 | 6.7 | 7.7. | 8.7 | 9.7 | 10.7 |
| 8 | 1.8. | 2.8 | 3.8. | 4.8 | 5.8 | 6.8 | 7.8. | 8.8 | 9.8 | 10.8 |
| 9 | 1.9. | 2.9 | 3.9. | 4.9 | 5.9 | 6.9 | 7.9. | 8.9 | 9.9 | 10.9 |
| 10 | 1.10. | 2.10 | 3.10. | 4.10 | 5.10 | 6.10 | 7.10. | 8.10 | 9.10 | 10.10 |

При выполнении контрольной работы для каждой задачи сначала записывается полное условие, затем – краткое, далее выполняется поясняющий рисунок (чертеж), потом следует решение, которое является связным текстом, содержащим обоснованные логические переходы и математические выводы расчетных формул.

Как правило, искомая величина должна быть выражена через данные задачи и константы. Решение сложных задач допускается выполнять поэтапно, т.е. можно разбить задачу на несколько частей и решать их последовательно, используя в следующей части результат, полученный в предыдущей.

Если нет специального указания в условии задачи, численный ответ следует приводить в международной системе единиц (СИ) в нормализованном виде. Следует иметь в виду, что правильный численный ответ сам по себе не является решением задачи.

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

1. Взаимодействие электрических зарядов. Напряженность электрического поля

Теоретические сведения

Закон Кулона

$$F = \frac{k|q_1q_2|}{\epsilon r^2}, \quad (1.1)$$

где F - сила взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2 ; r - расстояние между ними; ϵ - диэлектрическая проницаемость среды;

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}; \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф / м.}$$

Напряженность электрического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \quad (1.2)$$

где \vec{F} - сила, действующая на точечный электрический заряд q , помещенный в электрическое поле.

Сила, действующая на точечный заряд q в электрическом поле,

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}. \quad (1.3)$$

Напряженность электрического поля точечного заряда q на расстоянии r от него

$$E = \frac{k|q|}{\epsilon r^2}. \quad (1.4)$$

Принцип суперпозиции для напряженности электрического поля от N точечных источников

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_N = \sum_i^N \vec{E}_i. \quad (1.5)$$

Напряженность электрического поля от длинной равномерно заряженной нити с линейной плотностью заряда λ на расстоянии r от нее

$$E = \frac{2k|\lambda|}{\epsilon r} = \frac{|\lambda|}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r}. \quad (1.6)$$

Напряженность электрического поля равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью заряда σ

$$E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon\epsilon_0}. \quad (1.7)$$

Напряженность электрического поля внутри плоского конденсатора с разноименно заряженными обкладками с поверхностной плотностью заряда σ

$$E = \frac{|\sigma|}{\varepsilon\varepsilon_0}. \quad (1.8)$$

Задачи

1.1. Расстояние между двумя одинаковыми по величине 1 мкКл разноименными точечными зарядами равно 10 см. Какая сила будет действовать на третий заряд 0,1 мкКл, помещенный на расстояниях 6 см от одного и 8 см другого заряда?

1.2. Два одинаковых точечных заряда находятся на расстоянии 20 см от друга. На каком расстоянии от первого заряда надо поместить третий заряд другого знака вдвое больший по величине, чтобы второй заряд оказался в равновесии?

1.3. Длинный тонкий стержень равномерно заряжен с линейной плотностью заряда 10 мкКл/м. На расстоянии 20 см от его середины находится точечный заряд 10 мкКл. С какой силой взаимодействуют стержень и заряд?

1.4. Два точечных заряда 6,7 и $-13,2$ нКл находятся на расстоянии 5 см друг от друга. Найти напряженность электрического поля в точке на расстоянии 3 см от первого заряда и 4 см от второго.

1.5. Бесконечно длинный тонкий прямой заряженный стержень ($\lambda=1$ мкКл/см) расположен параллельно бесконечной заряженной плоскости ($\sigma=8,85$ мкКл/м²). Найти силу, действующую на единицу длины стержня.

1.6. В трех вершинах квадрата со стороной 40 см находятся одинаковые заряды по 5 нКл каждый. Найти напряженность поля в четвертой вершине.

1.7. Два одноименных заряда q и $9q$ разнесены на расстояние 8 см. На каком расстоянии от первого заряда находится точка, напряженность электрического поля в которой равна нулю?

1.8. Два разноименных заряда q и $-9q$ разнесены на расстояние 8 см. На каком расстоянии от первого заряда находится точка, напряженность электрического поля в которой равна нулю?

1.9. Две одинаковые плоские пластины площадью по 100 см² каждая расположены рядом друг с другом на расстоянии 2 см. Заряды пластин 100 нКл и -100 нКл. Найти силу притяжения пластин. Считать поле между пластинами однородным.

1.10. Две параллельные бесконечно длинные прямые нити равномерно заряжены с линейными плотностями 0,1 и 0,2 мкКл/м. Расстояние между нитями 10 см. Найти силу, приходящуюся на отрезок нити длиной 1 м.

2. Потенциальная энергия и потенциал электрического поля

Теоретические сведения

Потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2 на расстоянии r друг от друга

$$W = \frac{kq_1q_2}{\varepsilon r}, \quad (2.1)$$

где ε - диэлектрическая проницаемость среды;

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}; \quad \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м.}$$

Потенциал электрического поля

$$\varphi = \frac{W}{q}, \quad (2.2)$$

где W - потенциальная энергия точечного электрического заряда q , помещенного в электрическом поле.

Потенциальная энергия точечного заряда q в электрическом поле,

$$W = q\varphi. \quad (2.3)$$

Потенциал электрического поля точечного заряда q на расстоянии r от него

$$\varphi = \frac{kq}{r}. \quad (2.4)$$

Принцип суперпозиции для потенциала электрического поля от N точечных источников

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots + \varphi_N = \sum_i^N \varphi_i. \quad (2.5)$$

Принцип суперпозиции для потенциала электрического поля непрерывно распределенного заряда

$$\varphi = \int \frac{dq}{r}. \quad (2.6)$$

В этой формуле интегрирование ведется по всему заряженному телу.

Связь между напряженностью и потенциалом электрического поля

$$\vec{E} = -grad\varphi = -\left(\vec{i} \frac{\partial\varphi}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial\varphi}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial\varphi}{\partial z}\right); \quad (2.7)$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{(1)}^{(2)} \vec{E} \cdot d\vec{r}. \quad (2.8)$$

Разность потенциалов электрического поля от длинной равномерно заряженной нити с линейной плотностью заряда λ на расстояниях r_1 и r_2 от нее

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2k\lambda}{\varepsilon} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right). \quad (2.9)$$

Напряжение между обкладками плоского конденсатора, расстояние между которыми равно d

$$U = E \cdot d. \quad (2.10)$$

Задачи

2.1. Электрическое поле создано точечным зарядом 1 нКл. Найти потенциал в точке, удаленной от заряда на 20 см.

2.2. Заряды 1 и -1 мкКл находятся на расстоянии 10 см друг от друга. Найти потенциал поля в точке, лежащей на перпендикуляре к отрезку, соединяющему заряды, из конца этого отрезка. Расстояние от первого заряда до точки наблюдения 10 см.

2.3. Вычислить потенциальную энергию двух точечных зарядов 100 и 10 нКл, находящихся на расстоянии 10 см друг от друга.

2.4. Найти потенциальную энергию системы трех точечных зарядов 10, 20 и -30 нКл, расположенных в вершинах равностороннего треугольника со стороной 10 см.

2.5. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами $2q$ и $-q$, находящимися на расстоянии 12 см друг от друга. В каких точках на прямой, проходящей через заряды, потенциал поля равен нулю. Указать расстояния до второго заряда.

2.6. Тонкий стержень длиной 1 м несет равномерно распределенный по длине заряд 1 нКл. Определить разность потенциалов электрического поля в точках, лежащих на серединном перпендикуляре к стержню на расстояниях 2 мм и 16 мм. Считать стержень длинным и тонким.

2.7. Бесконечно длинная тонкая прямая нить несет равномерно распределенный по ее длине заряд с линейной плотностью 10 нКл/м. Найти разность потенциалов в двух точках, удаленных от нити на 2 и 4 см.

2.8. Заряд равномерно распределен по бесконечной плоскости с поверхностной плотностью 10 нКл/м². Найти разность потенциалов двух точек поля, одна из которых находится на плоскости, а другая удалена от нее на 10 см.

2.9. Две бесконечные параллельные плоскости находятся на расстоянии 0,5 см друг от друга. На плоскостях равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями 0,2 и $-0,3$ мкКл/м². Найти разность потенциалов между плоскостями.

2.10. Две бесконечные параллельные плоскости находятся на расстоянии 1 см друг от друга. На плоскостях равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями 0,2 и 0,5 мкКл/м². Найти разность потенциалов между плоскостями.

3. Электрическая емкость. Конденсаторы

Теоретические сведения

Емкость уединенного проводника

$$C = \frac{q}{\varphi}, \quad (3.1)$$

где q - электрический заряд, сообщенный проводнику, φ - созданный этим зарядом потенциал.

Емкость уединенного проводящего шара радиуса R

$$C = \frac{\varepsilon R}{k} = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R, \quad (3.2)$$

где ε - диэлектрическая проницаемость среды,

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}; \quad \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м.}$$

Энергия заряженного проводника

$$W = \frac{1}{2} q\varphi = \frac{1}{2} C\varphi^2 = \frac{q^2}{2C}. \quad (3.3)$$

Два близко расположенных проводника, несущих одинаковые по величине разноименные заряды $\pm q$, образуют конденсатор. Емкость конденсатора равна

$$C = \frac{q}{U}, \quad (3.4)$$

где U - напряжение (разность потенциалов) между его обкладками.

Емкость плоского конденсатора равна

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}, \quad (3.5)$$

где S - площадь обкладок, d - расстояние между ними.

Емкость цилиндрического конденсатора (коаксиального кабеля) равна

$$C = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 l}{\ln(R_2/R_1)} = \frac{\varepsilon l}{2k \ln(R_2/R_1)}, \quad (3.6)$$

где l - длина кабеля, R_1 и R_2 - его внутренний и внешний радиусы.

Емкость N параллельно соединенных конденсаторов:
в общем случае $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N$; (3.7)

в случае одинаковых конденсаторов $C = C_1 \cdot N$. (3.8)

Емкость N последовательно соединенных конденсаторов:

в общем случае $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_N}$. (3.9)

в случае двух конденсаторов $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$, (3.10)

в случае N одинаковых конденсаторов $C = C_1/N$. (3.11)

Энергия заряженного конденсатора

$$W = \frac{1}{2}qU = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{q^2}{2C}. \quad (3.12)$$

Задачи

3.1. Батарея состоит из 4 одинаковых последовательно соединенных конденсаторов. Во сколько раз изменится электроемкость батареи, если конденсаторы соединить параллельно?

3.2. Два одинаковых металлических диска диаметрами по 12 см расположены параллельно друг другу и разделены диэлектриком с проницаемостью равной 2 и толщиной 2 мм. Диска сдвинуты так, что центр одного находится напротив края другого. Найти электроемкость конденсатора.

3.3. Найти силу взаимодействия обкладок плоского воздушного конденсатора емкостью 20 мкФ, если расстояние между ними 1 мм, а поверхностная плотность зарядов 2 мкКл/м².

3.4. Определить электроемкость коаксиального кабеля длиной 10 км, радиус внутренней жилы которого равен 1 мм, а внешней оболочки - 2 мм. Кабель заполнен веществом с диэлектрической проницаемостью равной 2.

3.5. Конденсатор, заполненный веществом с диэлектрической проницаемостью равной 2, зарядили до 220 В и отключили от источника. Диэлектрик удалили из конденсатора и вдвое увеличили расстояние между обкладками. Найти напряжение на конденсаторе.

3.6. Напряжение между обкладками плоского воздушного конденсатора 25 В, расстояние между ними 5 мм, их площадь 200 см². Определить энергию конденсатора.

3.7. Последовательно соединенные 5 одинаковых конденсаторов, подключены к источнику постоянного напряжения. Во сколько раз изменится энергия конденсаторов, если их подключить к тому же источнику параллельно?

3.8. Параллельно трем последовательно соединенным конденсаторам по 0,36 мкФ включены два последовательно соединенных конденсатора 0,2 и 0,3 мкФ. Найти электроемкость этой батареи.

3.9. На два последовательно соединенных конденсатора емкостями 10 нФ и 100 нФ подано напряжение 220 В. Определить напряжение на первом конденсаторе.

3.10. На два последовательно соединенных конденсатора емкостями 10 нФ и 50 нФ подано напряжение 12 В. Определить напряжение на втором конденсаторе.

4. Расчет магнитных полей и магнитных моментов

Теоретические сведения

Закон Био – Савара – Лапласа

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r^2} \cdot \left[\frac{d\vec{\ell} \times \vec{r}}{r} \right], \quad (4.1)$$

где $d\vec{B}$ - магнитная индукция, создаваемая элементом проводника $d\vec{\ell}$ с током I на расстоянии r от него. Здесь μ - магнитная проницаемость, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

Величина вектора dB выражается формулой

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I \sin \alpha}{r^2} d\ell, \quad (4.2)$$

где α - угол между векторами $d\vec{\ell}$ и \vec{r} .

Магнитная индукция в центре кругового витка с током

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R}, \quad (4.3)$$

где R - радиус витка.

Если провод является дугой окружности радиуса R , опирающейся на угол β (рис.4.1.а.), магнитная индукция в его центре равна

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R} \cdot \frac{\beta}{2\pi}. \quad (4.4)$$

Магнитная индукция, создаваемая отрезком проводника

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi \cdot b} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2). \quad (4.5)$$

Обозначения ясны из рис.4.1.б. При симметричном расположении проводника относительно точки наблюдения $\cos \alpha_1 = -\cos \alpha_2 = \cos \alpha$,

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi \cdot b} \cos \alpha. \quad (4.6)$$

В случае, когда провод можно считать бесконечно длинным,

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi \cdot b}. \quad (4.7)$$

Магнитная индукция тороида или длинного соленоида в средней его части

$$B = \mu\mu_0 nI. \quad (4.8)$$

В этой и следующих формулах n - плотность намотки провода, т.е. количество витков, приходящихся на единицу длины катушки.

Магнитная индукция соленоида конечной длины

$$B = \frac{1}{2} \mu \mu_0 n I \cdot (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \quad (4.9)$$

Смысл всех обозначений ясен из рис.4.1.в.

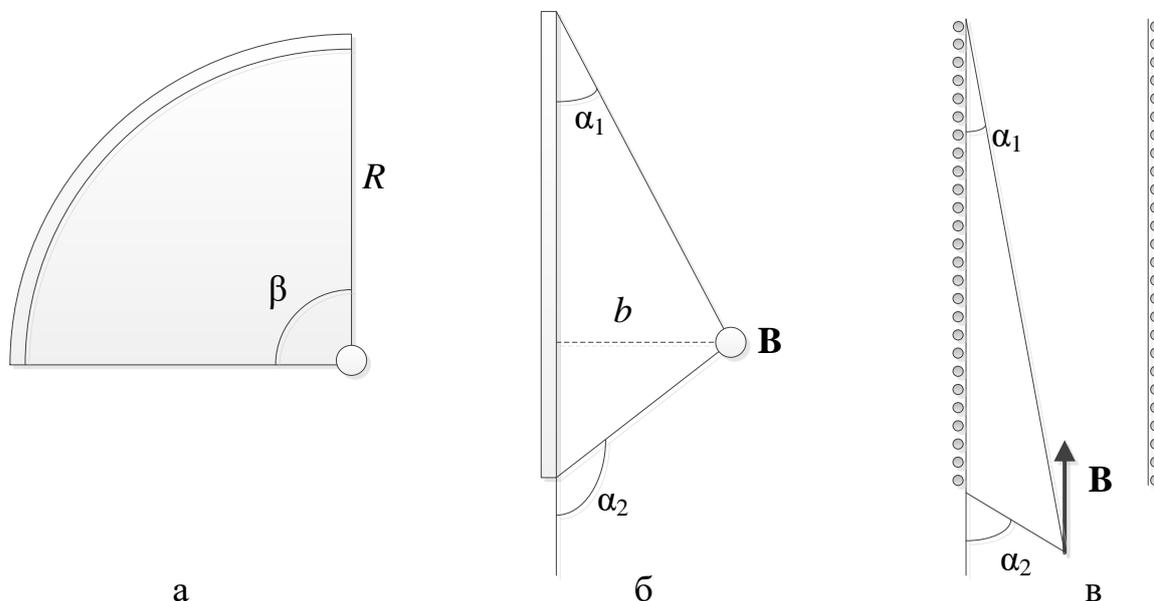


Рис.4.1. Определение магнитной индукции от различных проводников

Магнитная индукция электрического заряда q , летящего со скоростью v

$$\vec{B} = \frac{\mu \mu_0 q}{4\pi r^2} \cdot \left[\frac{\vec{v} \times \vec{r}}{r} \right]. \quad (4.10)$$

Здесь r - текущее расстояние от точки наблюдения до заряда. Величину магнитной индукции движущегося заряда можно найти по формуле

$$B = \frac{\mu \mu_0 v q}{4\pi r^2} \cdot \sin \alpha, \quad (4.11)$$

в которой α - угол между векторами v и r .

Принцип суперпозиции магнитных полей: магнитная индукция результирующего поля равна векторной сумме магнитных индукций складываемых полей

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots + \vec{B}_N = \sum_i^N \vec{B}_i. \quad (4.12)$$

В частном случае наложения двух полей B_1 и B_2 величина магнитной индукции будет равна

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2 \cos \alpha}. \quad (4.13)$$

В этой формуле α - угол между направлениями векторов B_1 и B_2 .

Теорема о циркуляции вектора магнитной индукции в вакууме: циркуляция вектора магнитной индукции по замкнутому контуру равна алгебраической сумме всех токов, охваченных этим контуром;

$$\oint_{(l)} (\vec{B} d\vec{l}) = \mu_0 \cdot \sum_i I_i. \quad (4.14)$$

Суммирование токов нужно проводить с учетом направлений, в которых они пересекают контур циркуляции.

Магнитный момент контура с током равен

$$\vec{P}_m = I \vec{S}, \quad (4.15)$$

где \vec{S} - вектор, равный по модулю площади контура, и направленный по нормали к ней.

Эквивалентный круговой ток, возникающий при вращении заряженного тела вокруг некоторой оси, можно найти по формуле

$$I = q/T = q\nu, \quad (4.16)$$

в которой T - период, а ν - частота вращения тела.

Задачи

4.1. По двум длинным параллельным проводам, расположенным на расстоянии 10 см друг от друга, текут токи 50 и 100 А в одном направлении. Найти магнитную индукцию в точке, удаленной от обоих проводов на одинаковом расстоянии 10 см.

4.2. По квадрату со стороной 20 см течет ток 50 А. Определить магнитную индукцию в центре этого квадрата.

4.3. По прямоугольнику со сторонами 30 и 40 см течет ток 60 А. Определить магнитную индукцию в центре этого прямоугольника.

4.4. По проводу, изогнутому в виде правильного шестиугольника со стороной 10 см, течет ток 25 А. Найти магнитную индукцию в центре этого контура.

4.5. Электрон в невозбужденном атоме водорода движется вокруг ядра по окружности радиусом 53 пм. Найти силу эквивалентного кругового тока и магнитную индукцию в центре орбиты.

4.6. По круговому витку радиусом 0,1 м из тонкого провода течет ток 1 А. Найти магнитную индукцию в центре витка.

4.7. Найти магнитную индукцию в центре прямоугольного контура с диагоналями 16 см, угол между которыми 30° . Ток в контуре 5 А.

4.8. Найти магнитный момент тонкого кругового витка с током радиусом 0,1 м, если индукция магнитного поля в его центре 6 мкТл.

4.9. По двум длинным параллельным проводам, расположенным на расстоянии 5 см друг от друга, текут одинаковые токи 10 А в противоположных направлениях. Найти магнитную индукцию в точке на расстоянии 2 см от одного провода и 3 см от другого.

4.10. По двум длинным параллельным проводам, расположенным на расстоянии 5 см друг от друга, текут одинаковые токи 30 А в одном направлении. Найти магнитную индукцию в точке на расстоянии 4 см от одного провода и 3 см от другого.

5. Проводники с током в магнитном поле

Теоретические сведения

Сила Ампера, действующая на проводник с током I в магнитном поле с индукцией B , выражается формулой

$$\vec{F}_A = I \left[\Delta \vec{\ell} \vec{B} \right]. \quad (5.1)$$

В этой формуле $\vec{\ell}$ - вектор, равный по модулю длине проводника и направленный вдоль него по направлению тока. Формула (5.1) задает как величину, так и направление силы Ампера (рис. 5.1). Величину этой силы удобнее вычислять по формуле, записанной в скалярном виде

$$F_A = I \Delta \ell B \cdot \sin \alpha, \quad (5.2)$$

где α - угол между векторами магнитной индукции и скорости частицы.

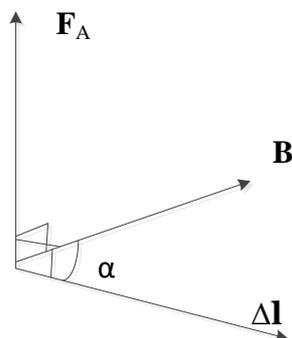


Рис.5.1. Направление силы Ампера

Сила взаимодействия двух прямых бесконечно длинных параллельных проводников с токами I_1 и I_2 , находящихся на расстоянии b друг от друга, рассчитанная на отрезок провода длиной l выражается формулой

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{b}. \quad (5.3)$$

Магнитный момент контура с током равен

$$\vec{P}_m = I \vec{S}, \quad (5.4)$$

где \vec{S} - вектор, равный по модулю площади контура, и направленный по нормали к ней.

Механический момент, действующий на контур с током в однородном магнитном поле

$$\vec{M} = \left[\vec{P}_m \vec{B} \right]. \quad (7.5)$$

Модуль механического момента равен

$$M = P_m B \sin \alpha, \quad (7.6)$$

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

Сила, действующая в магнитном поле на контур с током, ориентированный своей нормалью вдоль линии индукции (по оси z)

$$F_z = P \frac{\partial B}{\partial z}, \quad (5.8)$$

где $\frac{\partial B}{\partial z}$ - величина неоднородности магнитного поля. Эта сила затягивает

магнитный диполь в область более сильного поля.

Задачи

5.1. Участок прямого проводника длиной 10 см с током 20 А находится в магнитном поле с индукцией 10 мТл. На проводник действует сила 0,01 Н. Найти угол между направлениями проводника и магнитной индукции.

5.2. Квадратная рамка лежит в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что ближайшая сторона рамки находится от провода на расстоянии равном ее длине. По рамке и по проводу текут одинаковые токи 10 А. Какая сила действует на рамку?

5.3. По двум параллельным проводам длиной 1 м текут одинаковые токи. Расстояние между проводами 1 см, сила взаимодействия токов 1 мН. Найти токи в проводах.

5.4. По трем параллельным проводам, находящимся на равном расстоянии 10 см друг от друга, текут одинаковые токи 100 А разных направлений. Найти величину и направление силы, действующей на единицу длины каждого провода.

5.5. По двум тонким кольцам радиусами 10 см текут одинаковые токи 10 А. Найти силу взаимодействия колец, если их плоскости параллельны, а расстояние между ними, равное 1 мм, считать малым по сравнению с радиусами колец.

5.6. По двум параллельным квадратным контурам со стороной 20 см текут одинаковые токи 10 А. Найти силу взаимодействия контуров, если расстояние между соответствующими сторонами равно 2 мм. Считать расстояние между контурами малым по сравнению их размерами.

5.7. Шины электростанции представляют собой параллельные медные полосы длиной 3 м, находящиеся на расстоянии 50 см. При коротком замыкании по ним может пройти ток 10000 А. С какой силой взаимодействуют при этом шины. Считать расстояние между шинами малым по сравнению с их длиной.

5.8. Квадратный контур с током 0,8 А из медного провода диаметром 0,4 мм может свободно вращаться вокруг своей верхней горизонтальной стороны. На какой угол отклонится плоскость контура, если его поместить в вертикальное магнитное поле с индукцией 3 мТл. Плотность меди 8900 кг/м³.

5.9. Магнитное поле создано бесконечно длинным проводником с током 100 А. На расстоянии 10 см от него находится точечный диполь с магнитным моментом 1 мА·м², ориентированным вдоль линий индукции. Найти силу, действующую на диполь.

5.10. Определить степень неоднородности магнитного поля, если максимальная сила, действующая на точечный диполь с магнитным моментом 2 мА·м², равна 1 мН.

ОПТИКА

6. Интерференция

Скорость света в оптической среде

$$v = c / n, \quad (6.1)$$

где $c=3 \cdot 10^8$ м/с - скорость света в вакууме, а n – абсолютный показатель преломления среды.

Оптическая длина пути световой волны:

$$L = n\ell, \quad (6.2)$$

где ℓ - геометрическая длина пути световой волны в среде с показателем преломления n .

Оптическая разность хода двух световых волн:

$$\Delta = L_2 - L_1. \quad (6.3)$$

Связь оптической разности хода двух световых волн с разностью фаз колебаний $\Delta\varphi$

$$\Delta = \lambda \cdot \frac{\Delta\varphi}{2\pi}. \quad (6.4)$$

Оптическая разность хода световых волн отраженных от двух граней тонкой пленки (рис.6.1.а) равна

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \lambda/2 \quad \text{или} \quad \Delta = 2dn \cdot \cos \beta + \lambda/2. \quad (6.5)$$

Оптическая разность хода двух световых волн прошедших тонкую пленку (рис.6.1.б) равна

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad \text{или} \quad \Delta = 2dn \cdot \cos \beta. \quad (6.6)$$

Слагаемое $\lambda/2$ в этих формулах учитывает изменение фазы световой волны на π при ее отражении от оптически более плотной среды.

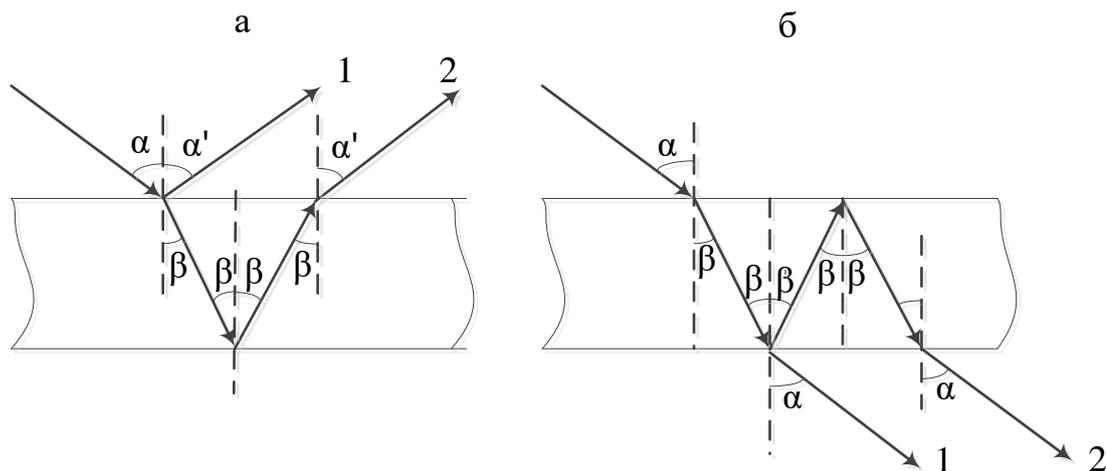


Рис.6.1. Интерференция лучей, отраженных от пленки (а) и прошедших через нее (б)

Максимум интенсивности при интерференции двух световых лучей наблюдается при условии:

$$\Delta = k\lambda, \quad \text{где } k = 0; \pm 1; \pm 2; \pm 3; \dots \quad (6.7)$$

Минимум интенсивности при интерференции двух световых лучей наблюдается при условии:

$$\Delta = (k + \frac{1}{2}) \cdot \lambda, \quad \text{где } k = 0; \pm 1; \pm 2; \pm 3; \dots \quad (6.8)$$

Задачи

6.1. На тонкий стеклянный клин по нормали к его поверхности падает монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. Определить преломляющий угол клина, если расстояние между смежными интерференционными минимумами в отраженном свете равно 4 мм.

6.2. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками вдоль линии их соприкосновения на расстоянии 75 мм от нее положили очень тонкую проволочку. Определить ее диаметр, если на расстоянии 30 мм наблюдается 16 интерференционных полос. Длина волны 0,5 мкм.

6.3. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками образовался воздушный клин с углом $30''$. На одну из пластин нормально падает монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. Найти расстояние между интерференционными полосами.

6.4. Две плоскопараллельные стеклянные пластинки образуют клин с углом $30''$. Пространство между пластинками заполнено глицерином с показателем преломления, равным 1,47. На клин нормально к его поверхности падает пучок монохроматического света с длиной волны 0,6 мкм. Какое число интерференционных полос приходится на 1 см длины клина в отраженном свете?

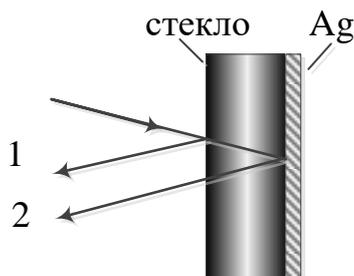
6.5. На экране наблюдается интерференционная картина от двух когерентных источников света с длиной волны 0,48 мкм. Когда на пути одно-

го пучка поместили тонкую пластину плавленого кварца, интерференционная картина сместилась на 69 полос. Найти толщину пластины кварца.

6.6. На каком пути в вакууме укладывается столько же длин волн, сколько их укладывается на отрезке 3 см в воде.

6.7. Какой путь пройдет фронт волны монохроматического света в вакууме за то же время, за которое он проходит путь 1 м в воде?

6.8. Одна сторона стекла посеребрена. Луч света падает нормально и отражается от ближнего и дальнего края. Найти оптическую разность хода лучей 2 и 1. Показатель преломления стекла 1,4. Толщина стекла – 10 мм.



6.9. На тонкий стеклянный клин по нормали к его поверхности падает монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. Определить преломляющий угол клина, если расстояние между смежными интерференционными максимумами в прошедшем свете равно 4 мм.

6.10. На мыльную пленку нормально падает пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине пленки отраженный свет с длиной волны 0,55 мкм окажется максимально усиленным в результате интерференции?

7. Дифракция света

Теоретические сведения

Дифракция света на щели при нормальном падении лучей:

$$\text{условие минимума} \quad b \sin \varphi = m\lambda, \quad (7.1)$$

$$\text{условие максимума} \quad b \sin \varphi = (m+1/2)\lambda, \quad (7.2)$$

где b - ширина щели, φ - угол дифракции, $k = 1, 2, 3, \dots$ - порядок дифракции или номер минимума (максимума), λ - длина волны света.

Дифракция света на дифракционной решетке при нормальном падении лучей. Условие для главных максимумов интенсивности

$$d \sin \varphi = k\lambda, \quad (7.3)$$

где d - период решетки, φ - угол дифракции, λ - длина волны света, $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ - порядок дифракции.

Разрешающей способностью R называется отношение длины волны λ спектральной линии к минимальной разности длин волн двух соседних спектральных линий $\delta\lambda$, которые наблюдаются отдельно:

$$R = \lambda / \delta\lambda. \quad (7.4)$$

Разрешающая способность дифракционной решетки равна

$$R = kN, \quad (7.5)$$

где k - порядок дифракции, N - полное число ее освещенных штрихов.

Задачи

7.1. На щель шириной 0,021 мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны 0,63 мкм. Сколько дифракционных минимумов можно наблюдать на экране за этой щелью?

7.2. На щель шириной 0,05 мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. Найти угол отклонения света на четвертую темную дифракционную полосу.

7.3. Сколько штрихов на миллиметр содержит дифракционная решетка, если при нормальном падении на неё монохроматического света с длиной волны 0,6 мкм максимум пятого порядка наблюдается под углом 18°?

7.4. На дифракционную решетку, содержащую 100 штрихов на миллиметр, падает нормально монохроматический свет. Зрительная труба наведена на максимум третьего порядка. Чтобы навести трубу на другой максимум того же порядка, ее нужно повернуть на 20°. Найти длину волны света.

7.5. Дифракционная решетка освещена нормально падающим монохроматическим светом. Максимум второго порядка наблюдается под углом 14°. Под каким углом наблюдается максимум третьего порядка?

7.6. Дифракционная решетка содержит 200 штрихов на миллиметр. На нее нормально падает монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. Максимум какого наибольшего порядка дает эта решетка?

7.7. Дифракционная решетка содержит 200 штрихов на миллиметр. На нее нормально падает монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. Найти общее число дифракционных максимумов в спектре этой дифракционной решетки.

7.8. При освещении дифракционной решетки белым светом спектры второго и третьего порядка отчасти перекрываются. На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается фиолетовая линия длиной волны 0,4 мкм в спектре третьего порядка?

7.9. Какой наименьшей разрешающей силой должна обладать дифракционная решетка, чтобы с её помощью можно было разрешить две спектральные линии калия с длинами волн 578 и 580 нм? Каким должно быть число штрихов, чтобы это разрешение было возможным в спектре второго порядка?

7.10. На дифракционную решетку с периодом 10 мкм падает нормально монохроматический свет с длиной волны 600 нм. Найти угол между главными дифракционными максимумами второго порядка.

8. Тепловое излучение

Теоретические сведения

Тело, полностью поглощающее весь падающий на него световой поток, называется абсолютно черным телом. Для абсолютно черного тела коэффициент поглощения $k = 1$. Энергетическая светимость R_e абсолютно черного тела – энергия, излучаемая в единицу времени с единицы площади поверхности (закон Стефана – Больцмана):

$$R_e = \sigma T^4, \quad (8.1)$$

где T – термодинамическая температура, σ – постоянная Стефана – Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²К⁴).

Энергетическая светимость серого тела:

$$R_e = k\sigma T^4, \quad (8.2)$$

где k – коэффициент поглощения серого тела, $k < 1$.

Поток Φ (или мощность) излучения нагретой поверхности:

$$\Phi = R_e S, \quad (8.3)$$

где S – площадь излучающей поверхности.

Излучаемая энергия E :

$$E = \Phi \cdot t, \quad (8.4)$$

где t – время излучения.

Длина волны λ_m , соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости $r(\lambda)$ абсолютно черного тела (первый закон Вина):

$$\lambda_m = b / T, \quad (8.5)$$

где b – постоянная Вина, $b = 0,0029$ К·м.

Задачи

8.1. Температура T абсолютно черного тела изменилась при нагревании от 1000 К до 3000 К. Во сколько раз увеличилась при этом его энергетическая светимость R_e ?

8.2. Абсолютно черное тело имеет температуру $T_1 = 400$ К. Какова будет температура T_2 тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в $n = 10$ раз?

8.3. Энергетическая светимость абсолютно черного тела $R_e = 3$ Вт/см². Определить длину волны λ_m , отвечающую максимуму излучательной способности этого тела.

8.4. Абсолютно черное тело имеет температуру $T_1 = 2900$ К. При остывании тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на $\Delta\lambda_m = 9$ мкм. До какой температуры T_2 охладилось тело?

8.5. Температура T абсолютно черного тела изменилась при нагревании от 1000 К до 3000 К. Во сколько раз увеличилась его максимальная спектральная плотность энергетической светимости?

8.6. Температура T абсолютно черного тела изменилась при нагревании от 1000 К до 3000 К. На сколько микрометров изменилась длина волны λ_m , на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости?

8.7. Вследствие изменения температуры абсолютно черного тела максимум спектральной плотности излучения сместился с $\lambda_{m1} = 2,4$ мкм на $\lambda_{m2} = 0,8$ мкм. Как и во сколько раз изменилась энергетическая светимость R_e и максимальная спектральная плотность излучательной способности $r(\lambda_m)$?

8.8. Длина волны, на которую приходится максимум излучения в спектре абсолютно черного тела $\lambda_m = 0,65$ мкм. Определить энергетическую светимость R_e поверхности тела.

8.9. Во сколько раз изменится поток Φ излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра ($\lambda_{m1} = 780$ нм) на фиолетовую ($\lambda_{m2} = 390$ нм)?

8.10. Поток излучения с поверхности абсолютно черного тела $\Phi = 1$ кВт, максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_m = 1,45$ мкм. Определить площадь S излучающей поверхности.

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

9. Спектр атома водорода

Теоретические сведения

Атом водорода состоит из ядра и одного электрона. Ядро атома водорода состоит из одного протона. Зарядовое число ядра водорода $Z=1$.

Формула Бальмера определяет длину волны λ спектральных линий и частоту ν в спектре атома водорода:

$$\frac{1}{\lambda} = R' \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right); \quad \nu = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \quad (9.1)$$

где R' и R – постоянная Ридберга ($R' = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$; $R = c R' = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$), c – скорость света, n_1 и n_2 – целые числа ($n_1 < n_2$),

n_1 – номер серии спектральных линий: $n_1 = 1$ – серия Лаймана,

$n_1 = 2$ – серия Бальмера,

$n_1 = 3$ – серия Пашена,

$n_1 = 4$ – серия Брекета.

Длина волны λ и частота ν спектральных линий связана соотношением:

$$\lambda = c / \nu. \quad (9.2)$$

Энергия фотона ε , испускаемого или поглощаемого атомом, связана с частотой ν или длиной волны λ света в вакууме:

$$\varepsilon = h\nu = hc / \lambda, \quad (9.3)$$

где h – постоянная Планка, $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.

В соответствии с постулатами Бора момент импульса L электрона в атоме водорода на стационарной орбите:

$$L = m_0 v r = n \hbar, \quad (9.4)$$

где v – скорость электрона на орбите, r – радиус орбиты, m_0 – масса покоя электрона, $m_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ – приведенная постоянная Планка, $\hbar = 1,056,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.

Скорость электрона на стационарной орбите атома водорода равна:

$$v_n = \frac{k e^2}{n \hbar}. \quad (9.5)$$

где e – модуль заряда электрона, $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, k – электрическая постоянная, $k = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$.

Радиус стационарной орбиты электрона в атоме водорода равен

$$r_n = \frac{n^2 \hbar^2}{m_0 k e^2}. \quad (9.6)$$

Энергия E_n электрона, находящегося в атоме водорода на стационарном электронном уровне с главным квантовым числом n :

$$E_n = -\frac{m_0 k^2 e^4}{2\hbar^2 n^2}. \quad (9.7)$$

Эта энергия состоит из кинетической E_K и потенциальной E_{Π} энергии, для которых справедливы соотношения:

$$E_K = -E_n, \quad E_{\Pi} = 2E_n. \quad (9.8)$$

Энергия ε фотона, испускаемого или поглощаемого атомом при переходе электрона с одного стационарного уровня на другой:

$$\varepsilon = E_{n_2} - E_{n_1}. \quad (9.9)$$

Задачи

9.1. Определить частоту обращения ν_2 электрона на второй орбите атома водорода.

9.2. Определить потенциальную E_{Π} энергию электрона, находящегося на первой орбите атома водорода.

9.3. Определить кинетическую E_K энергию электрона, находящегося на первой орбите атома водорода.

9.4. Определить для атома водорода иона радиус первой боровской орбиты r_1 и скорость электрона v_1 на ней.

9.5. Найти первый потенциал возбуждения E_1 и энергию ионизации E_I атома водорода.

9.6. Вычислить для атомарного водорода длины волн λ пяти первых спектральных линий серии Пашена.

9.7. Вычислить для атомарного водорода длины волн λ пяти первых спектральных линий серии Бальмера.

9.8. Определить границы серий (λ_{\min} и λ_{\max}) Лаймана, Бальмера и Пашена в атомарном спектре водорода.

9.9. Определить скорость v_2 электрона на второй орбите атома водорода.

9.10. Определить радиусы r_2 и r_3 второй и третьей орбит в атоме водорода.

10. Волны де Бройля

Теоретические сведения

Формула де Бройля связывает длину волны λ , с помощью которой можно описать движение частицы, с ее импульсом p :

$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad (9.1)$$

где h – постоянная Планка, $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

В случае движения со скоростями $v \ll c$ ($E_K \ll m_0 c^2$):

$$p = m_0 v, \quad (9.2)$$

где m_0 - масса покоя частицы, c - скорость света.

Кинетическая энергия E_K частицы в этом случае:

$$E_K = \frac{p^2}{2m_0} = \frac{m_0 v^2}{2}. \quad (9.3)$$

Если скорость частиц сравнима со скоростью света:

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}. \quad (9.4)$$

Кинетическая энергия частицы в релятивистском случае определяется следующим образом:

$$E_K = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}} - m_0 c^2. \quad (9.5)$$

Соотношение между импульсом p и кинетической энергией E_K релятивистской частицы:

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{E_K (E_K + 2m_0 c^2)}. \quad (9.6)$$

Кинетическая энергия E_K , которую приобретает частица, проходя ускоряющее напряжение U :

$$E_K = qU, \quad (9.7)$$

где q – заряд частицы.

Сила Лоренца, действующая на частицу с зарядом q в магнитном поле с индукцией B , если эта частица движется по окружности со скоростью v , равна:

$$F = qvB. \quad (9.8)$$

Задачи

10.1. Найти длину волны де Бройля λ для электронов, прошедших ускоряющую разность потенциалов $U=1\text{В}$.

10.2. Найти длину волны де Бройля λ для шарика массой $m=1\text{ г}$, движущегося со скоростью $v=1\text{ см/с}$.

10.3. Определить длину волны де Бройля λ электрона, если его кинетическая энергия $E_k=1\text{ кэВ}$.

10.4. При каком значении кинетической энергии E_k длина волны λ де Бройля электрона будет равна 100 пм ?

10.5. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов $U=200\text{ В}$, имеет длину волны де Бройля $\lambda = 2\text{ пм}$. Найти массу частицы m_0 , если ее заряд q численно равен заряду электрона.

10.6. Альфа-частица движется по окружности радиуса $r=8,3\text{ мм}$ в однородном магнитном поле, индукция B которого 24 мТл . Найти длину волны де Бройля λ такой частицы. Заряд альфа - частицы q численно равен $2e$.

10.7. При каких значениях кинетической энергии E_k длина волны λ де Бройля протона будет равна 100 пм ?

10.11. Найти длину волны де Бройля λ для электрона, движущегося по круговой орбите атома водорода, находящегося в основном состоянии.

10.1. Найти длину волны де Бройля λ для электронов, прошедших ускоряющую разность потенциалов $U=10000\text{ В}$.

10.3. Определить длину волны де Бройля λ протона, если его кинетическая энергия $E_k=1\text{ кэВ}$.

Показатели преломления

| | |
|-----------------|------|
| Стекло | 1,5 |
| Плавленый кварц | 1,46 |
| Вода | 1,33 |
| Мыльная пленка | 1,3 |

Примечание: Указанные значения следует рассматривать как условные и использовать только в случае, когда в условии задачи показатель преломления не задан.

Значения физических постоянных

| | |
|-------------------------------------|---|
| Электрическая постоянная | $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ |
| Магнитная постоянная | $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^7 \text{ Гн/м}$ |
| Постоянная Стефана – Больцмана | $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ |
| Постоянная Вина | $b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ |
| Постоянная Планка | $\hbar = 1,0546 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ $h = 2\pi\hbar = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ |
| Скорость света в вакууме | $c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0} = 2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ |
| Постоянная Больцмана. | $k_B = 1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ |
| Заряд электрона | $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ |
| Масса покоя электрона | $m_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ |
| Масса покоя протона | $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ |
| Масса α - частицы | $m_\alpha = 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ |
| Заряд α - частицы | $q_\alpha = 2e = 3,20 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ |
| Масса покоя нейтрона | $m_n = 1,6750 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ |
| Нормальные условия | $t = 0^\circ \text{ C}, p = 760 \text{ мм.рт. ст.}$ |
| Комптоновская длина волны электрона | $\lambda_c = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$ |
| Число Авогадро | $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ |

Внесистемные единицы измерения

Электрон-вольт: $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Килоэлектрон-вольт: $1 \text{ кэВ} = 10^3 \text{ эВ}$.

Мегаэлектрон-вольт: $1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ}$.

Ангстрем $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$.

Температура в градусах Цельсия $t^\circ \text{ C} = T - 273 \text{ К}$.

Атомная единица массы $1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс физики: в 3 т. 2016.
2. Иродов И.Е. Квантовая физика: основные законы. – М.: Физматлит, 2015.
3. Иродов И.Е. Электричество и магнетизм: основные законы. – М.: Физматлит, 2015.
4. Трофимова Т.И. Курс физики: уч. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2015.
5. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: уч. пособие для вузов. – М.: Академия, 2007.
6. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике: уч. пособие для вузов. – М.: Физматлит, 2009.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики: уч. пособие для студентов физиче-

- ских специальностей вузов. Т. 1. Механика – М. :Физматлит, 2013.
2. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики: уч. пособие для вузов. -СПб.: СпецЛит, 2008.
 3. Трофимова Т.И. Справочник по физике для студентов и абитуриентов. – М.: Астрель: АСТ, 2005.
 4. Трофимова Т.И., Фирсов А.В. Курс физики. Задачи и решения. – М.: Издательский центр «Академия», 2011.
 5. Бухман Н. С. Упражнения по физике: уч. пособие для вузов. – СПб. : Лань, 2008.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| Предисловие | 2 |
| ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. | 4 |
| 1. Взаимодействие электрических зарядов. Напряженность электрического поля. | 4 |
| 2. Потенциальная энергия и потенциал электрического поля | 6 |
| 3. Электрическая ёмкость. Конденсаторы | 8 |
| 4. Расчет магнитных полей и магнитных моментов | 10 |
| 5. Проводники с током в магнитном поле | 13 |
| ОПТИКА. | 15 |
| 6. Интерференция света | 15 |
| 7. Дифракция света. | 17 |
| 8. Тепловое излучение | 19 |
| КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА. | 21 |
| 9. Спектр атома водорода | 21 |
| 10. Волны де Бройля, | 23 |
| Показатели преломления | 24 |
| Значения физических постоянных | 25 |
| Рекомендованная литература | 25 |