

Оглавление

4	Волны, оптика, строение вещества	2
4.1	Переменный ток	2
4.1.1	Пример – амплитудное и действующее значение тока	2
4.1.2	Пример – две электролитки	2
4.1.3	Пример – резонанс в контуре	3
4.1.4	Пример – токи при разрядке конденсатора	3
4.2	Геометрическая оптика	4
4.2.1	Пример – фонарь и тени	4
4.2.2	Пример – преломление луча	5
4.2.3	Пример – фокусное расстояние системы линз	5
4.2.4	Пример – увеличенное изображение	6
4.3	Волновая оптика	6
4.3.1	Пример – скорость света в стекле	6
4.3.2	Пример – интерференция двух источников	6
4.3.3	Пример – дифракционная решетка	7
4.4	Специальная теория относительности	7
4.4.1	Пример – время жизни движущейся частицы	7
4.4.2	Пример – полная энергия движущейся частицы	7
4.5	Квантовая физика	8
4.5.1	Пример – энергия кванта излучения	8
4.5.2	Пример – красная граница фотоэффекта	8

Глава 4

Волны, оптика, строение вещества

4.1 Переменный ток

4.1.1 Пример – амплитудное и действующее значение тока

Найдите амплитудное и действующее значение тока, протекающего через электрическую лампочку мощности $N = 100$ Вт, включенную в сеть с напряжением $U = 220$ В.

Решение

Напряжение 220 В – действующее. Мощность $N = U_{\text{д}} I_{\text{д}}$. Откуда

$$I_{\text{д}} = N/U = 0,45 \text{ А.}$$

Амплитудное значение тока

$$I_{\text{А}} = \sqrt{2} I_{\text{д}} = 0,64 \text{ А.}$$

4.1.2 Пример – две электроплитки

Две одинаковые электрических плитки мощности $N = 1$ кВт включаются в электрическую сеть а) параллельно; б) последовательно. Найдите суммарную мощность плиток в первом и во втором случаях.

Решение

Соппротивления плиток R одинаковы. Обозначим напряжение сети через U . Тогда из условия $N = U^2/R$. И $R = U^2/N$.

При параллельном соединении плиток полное сопротивление $R_1 = R/2$. И

$$N_1 = U^2/R_1 = 2U^2/R = 2N = 2 \text{ кВт.}$$

При последовательном соединении $R_2 = 2R$. И

$$N_2 = U^2/2R = N/2 = 0,5 \text{ кВт.}$$

4.1.3 Пример – резонанс в контуре

Резонанс наблюдается в колебательном контуре при частоте $\nu = 400$ Гц. Емкость конденсатора в контуре $C = 1$ мкФ. Какую емкость нужно подсоединить параллельно данной, чтобы частота резонанса уменьшилась до 100 Гц?

Решение

Резонансная частота определяется формулой:

$$2\pi\nu = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

При изменении емкости:

$$2\pi\nu_1 = \frac{1}{\sqrt{LC_1}}.$$

Тогда отношение частот:

$$\nu/\nu_1 = \sqrt{C_1/C}.$$

Отсюда

$$C_1 = C (\nu/\nu_1)^2.$$

При параллельном соединении конденсаторов $C_1 = C + C'$, где C' – искомая емкость. Отсюда

$$C' = C (\nu/\nu_1)^2 - C.$$

Ответ $C' = 15C = 15$ мкФ.

4.1.4 Пример – токи при разрядке конденсатора

Конденсатор емкости C заряжен зарядом q_0 . Параллельно подсоединены две катушки индуктивности L_1 и L_2 (см. рис. ??). Ключ K замыкают. Найдите максимальные значения силы токов через катушки.

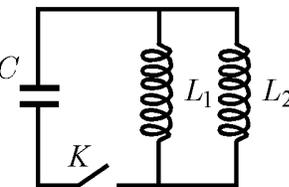


Рис. 4.1.

Решение

По закону Кирхгофа падение напряжения на катушках одинаково:

$$L_1 \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = L_2 \frac{\Delta I_2}{\Delta t}.$$

Так как начальные значения токов в катушках равны нулю, можно считать, что

$$L_1 I_1 = L_2 I_2. \quad (4.1)$$

Тогда ясно, что максимальное значение силы токов в катушках достигается одновременно. Запишем закон сохранения энергии (при максимальном значении силы тока конденсатор не заряжен):

$$\frac{q_0^2}{2C} = \frac{L_1 I_1^2}{2} + \frac{I_2^2}{2}. \quad (4.2)$$

Выражая из (4.1) I_2 и подставляя в (4.2), получим:

$$I_1 = q_0 \sqrt{\frac{L_2}{CL_1(L_1 + L_2)}}.$$

Соответственно

$$I_2 = q_0 \sqrt{\frac{L_1}{CL_2(L_1 + L_2)}}.$$

Полный ток в цепи:

$$I = I_1 + I_2 = q_0 \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{CL_1 L_2}}.$$

Откуда ясно, что параллельно соединенные индуктивности подчиняются закону для параллельно соединенных резисторов:

$$1/L = 1/L_1 + 1/L_2.$$

4.2 Геометрическая оптика

4.2.1 Пример – фонарь и тени

На какой высоте H висит уличный фонарь, если тень от вертикально стоящей палки высотой $h = 1$ м имеет длину $l = 1,5$ м, а если палку поставить в конец тени, то новая длина тени $L = 2,5$ м?

Решение

Пусть x – начальное расстояние от подножья фонаря до палки. Тогда из рисунка ??, сравнивая подобные треугольники, имеем:

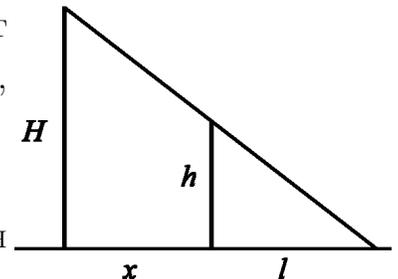


Рис. 4.2.

$$H/h = (l + x)/l.$$

При перемещении палки на расстояние l , аналогично получим:

$$H/h = (l + x + L)/L.$$

Выражая из первого уравнения x и подставляя во второе, получим:

$$H = Lh/(L - h).$$

Подставляя числа, получим **ответ**: $H = 2,5$ м.

4.2.2 Пример – преломление луча

Под каким углом должен падать световой луч на стекло, чтобы угол между отраженным и преломленным лучами был прямым? Показатель преломления стекла n .

Решение

Из рисунка следует $\alpha + \beta + \pi/2 = \pi$. И $\sin \alpha / \sin \beta = n$.

Тогда из первого уравнения имеем:

$$\sin \beta = \sin(\pi/2 - \alpha) = \cos \alpha.$$

Или $\operatorname{tg} \alpha = n$.

Ответ $\alpha = \operatorname{arctg} n$.

4.2.3 Пример – фокусное расстояние системы линз

Две тонкие линзы с фокусными расстояниями F_1 и F_2 стоят вплотную друг к другу. Найдите фокусное расстояние такой системы.

Решение

«Забудем» пока о второй линзе. Пусть расстояние от источника до первой линзы a_1 . Тогда изображение, даваемое первой, линзой окажется на расстоянии

$$b_1 = \frac{a_1 F_1}{a_1 - F_1}$$

от нее.

Источник света для второй линзы будет находиться на расстоянии

$$a_2 = -b_1.$$

Тогда расстояние b_2 , на котором окажется изображение, даваемое системой, определится из уравнения второй линзы:

$$\frac{1}{a_2} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{F_2}.$$

Откуда получаем

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2}.$$

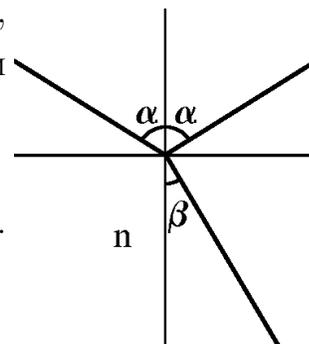


Рис. 4.3.

Иными словами, оптические силы вплотную сложенных тонких линз складываются:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2}.$$

Эту задачу можно решить проще. Поместим точечный источник в фокус первой линзы. Тогда после преломления в ней лучи станут параллельными. После преломления во второй линзе они пересекутся ее фокусе. То есть

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2}.$$

4.2.4 Пример – увеличенное изображение

Расстояние от предмета до экрана $L = 1,8$ м. Линзу с каким фокусным расстоянием надо взять и где следует ее поставить, чтобы получить изображение предмета, увеличенное в два раза?

Решение

Запишем формулу линзы:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}.$$

По условию $a + b = L$ и $b/a = F/(a - F) = 2$.

Решая систему уравнений, получим **ответ**: $F = 0,4$ м, $a = 0,6$ м.

4.3 Волновая оптика

4.3.1 Пример – скорость света в стекле

Длина волны света в стекле $\lambda = 0,48$ мм при частоте $\nu = 4 \cdot 10^{14}$ Гц. Чему равна скорость света в стекле?

Решение

Скорость света определится из формулы $v = \nu\lambda$. Подставляя числа, получаем $v = 1,92 \cdot 10^8$ м/с.

4.3.2 Пример – интерференция двух источников

Два когерентных источника света S_1 и S_2 освещают экран, плоскость которого параллельна S_1S_2 . Чему равна длина волны света, если расстояние между двумя соседними максимумами освещенности на экране Δx равно 1,2 мм? Расстояние до экрана $L = 4,8$ м, а между источниками света $d = 2$ мм.

Решение

Расстояние между соседними максимумами определится по формуле

$$\Delta x = \lambda L/d.$$

Отсюда $\lambda = \Delta x \cdot d/L$. Подставляя числа, получим ответ $\lambda = 500$ нм.

4.3.3 Пример – дифракционная решетка

Дифракционная решетка имеет 250 штрихов на 1 мм. На решетку падает монохроматический свет с длиной волны 500 нм. Под каким углом виден первый максимум?

Решение

Для первого максимума имеем $\sin \varphi = \lambda/d$. Подставляя числа, получим $\sin \varphi = 0,125$. Откуда $\varphi = 7,2^\circ$.

4.4 Специальная теория относительности**4.4.1 Пример – время жизни движущейся частицы**

В состоянии покоя частица живет время $\tau_0 = 10^{-6}$ с. Какое расстояние она пролетит до распада при скорости $v = 2,5 \cdot 10^8$ м/с?

Решение.

В лабораторной системе отсчета время

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

В этой системе длина пробега

$$l = v\tau = \frac{v\tau_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Подставляя числа, получим ответ $l = 455$ м.

4.4.2 Пример – полная энергия движущейся частицы

При какой скорости частицы ее полная энергия вдвое превосходит энергию покоя?

Решение

По условию

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = 2mc^2.$$

Отсюда

$$\sqrt{1 - v^2/c^2} = \frac{1}{2}.$$

Ответ: $v = 0,86c = 2,6 \cdot 10^5$ км/с.

4.5 Квантовая физика

4.5.1 Пример – энергия кванта излучения

Определите энергию кванта излучения с длиной волны $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м.

Решение

По формуле Планка энергия кванта определяется как

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda},$$

где h – постоянная Планка, c – скорость света, λ – длина волны. Подставляя численные значения, получим:

$$E = 6,62 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-6}} = 3,97 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 2,48 \text{ эВ}.$$

4.5.2 Пример – красная граница фотоэффекта

Определите красную границу фотоэффекта для цинка. Работа выхода электрона $A = 4,24$ эВ.

Решение

Из уравнения Эйнштейна работа выхода равна энергии кванта:

$$A = h\nu = h\frac{c}{\lambda}, \quad \text{то есть } \lambda = \frac{hc}{A}.$$

Подставляя числа, получаем **ответ:** $\lambda = 2,92 \cdot 10^{-7}$ м.