

Давление света

Условие

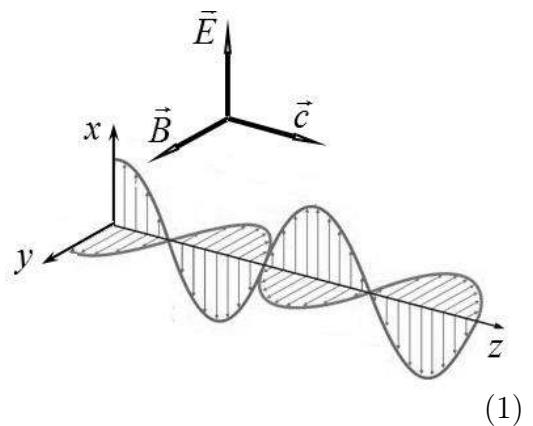


Задача 3 Давление света.

В некоторых книгах утверждается, что давление света подтверждает его квантовую природу. Однако, описать это явление можно точно и в рамках классической физики. Знаменитый исследователь давления света П.Н. Лебедев в своих экспериментах проверял теорию электромагнитную теорию Дж.К. Максвелла. В данной задаче вам предстоит рассчитать величину давления света, используя законы классической физики.

Часть 1. Свойства электромагнитных волн.

Свет представляет собой электромагнитную волну. Эта волна является поперечной: векторы напряженности электрического поля $\vec{E}$ и индукции магнитного поля $\vec{B}$ взаимно перпендикулярны и перпендикулярны направлению распространения волны $\vec{c}$ (см. рисунок). Колебания напряженности электрического поля и индукции магнитного поля происходят в одной фазе, поэтому в произвольной точке они могут быть описаны функциями



$$\begin{cases} E = E_0 \cos \omega t \\ B = B_0 \cos \omega t \end{cases} \quad (1)$$

Амплитуды колебаний напряженности электрического поля и индукции магнитного поля связаны между собой так, что средняя объемная плотность энергии электрического поля равна средней объемной плотности энергии магнитного поля

$$\langle w_E \rangle = \langle w_B \rangle \quad (2)$$

Объемные плотности энергии электрического и магнитного полей определяются по формулам

$$w_E = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2}, \quad w_B = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (3)$$

Скорость электромагнитной волны (скорость света) в вакууме рассчитывается по формуле

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}, \quad (4)$$

где ε_0, μ_0 - электрическая и магнитная постоянные, соответственно.

1.1 Запишите соотношение между амплитудами колебаний напряженности электрического E_0 поля, индукции магнитного поля B_0 и скоростью света c .

1.2 Выразите интенсивность света I через амплитуду колебаний вектора напряженности электрического поля волны E_0 .

Интенсивностью света называется усредненное по времени количество энергии, переносимой волной в единицу времени через площадку единичной площади $I = \frac{\Delta W}{\Delta t \Delta S}$

Часть 2. Движение электронов в металле и электрическое сопротивление.

Как известно, носителями электрического тока в металлах являются свободные электроны.

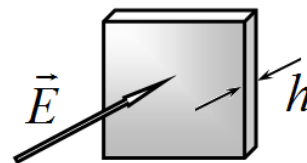
2.1 Рассчитайте концентрацию свободных электронов n в меди.

Считайте, что каждый атом меди отдает один электрон в облако свободных электронов.

Молярная масса меди $M_{\text{Cu}} = 63,5 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$, плотность меди $\rho_{\text{Cu}} = 8,92 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, постоянная Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{моль}^{-1}$, заряд электрона $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{Кл}$, электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{А}^2 \cdot \text{с}^4}{\text{кг} \cdot \text{м}^3}$

Медная пластинка толщиной $h = 1,0 \text{см}$ помещена во внешнее однородное электростатическое поле напряженности $E = 30 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$ (в таких полях наступает электрический пробой воздуха). Вектор напряженности поля перпендикулярен поверхности пластинки.

2.2 Рассчитайте, какая доля свободных электронов создает индуцированный заряд на поверхности пластинки при заданной напряженности внешнего электрического поля.



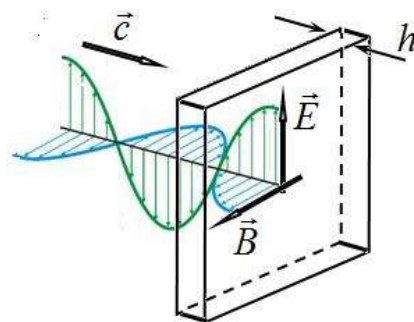
Для описания электрического сопротивления металлов в классической физике предполагается, что на движущийся в металле электрон действует тормозящая сила, пропорциональная его скорости

$$\vec{F} = -\beta \vec{v} \quad (5)$$

2.3 Выразите коэффициент пропорциональности β в формуле (5), через удельное электрическое сопротивление металла⁹ ρ и концентрацию свободных электронов n .

Часть 3. Давление света на поверхность металла.

Для расчета давления света рассмотрите следующую модель. Плоская электромагнитная волна падает нормально на очень тонкую металлическую пластинку толщиной h . Отражение волны не учитывать. Изменением амплитуды волны при прохождении через пластинку можно пренебречь, поэтому во всех точках пластинки поля описываются уравнениями (1).



Движение электронов описывается на основании закона Ньютона, причем в первом приближении **можно пренебречь влиянием магнитного поля волны на движение электрона**. Начальную скорость электрона считайте равной нулю.

В дальнейшем считайте известными следующие величины: n - концентрация свободных электронов в пластинке, коэффициент сопротивления движению β для этих электронов, E_0 - амплитуда напряженности электрического поля волны, ω - круговая частота волны, h, S - толщина и площадь пластинки, m, e - масса и заряд электрона, c - скорость света. Ответы на последующие вопросы выражайте через эти величины.

9 9

3.1 Пренебрегая силой сопротивления, действующей на электрон, найдите зависимость скорости электрона от времени, при действии на него электромагнитной волны $v(t)$. 3.2 Рассчитайте среднее значение силы Лоренца, действующей на электрон в этом случае.

Далее следует учитывать действие силы сопротивления (4) на электрон.

3.3 Найдите зависимость скорости электрона от времени $v(t)$ при действии на него электрического поля волны.

Подсказка. Представьте эту зависимость в виде $v(t) = C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t$, найдите значения коэффициентов этой зависимости.

3.4 Найдите усредненное по времени значение силы Лоренца, действующей на электрон. Укажите направление этой силы. 3.5 Найдите силу, действующую на всю пластинку со стороны падающей волны.

3.6 Рассчитайте коэффициент поглощения электромагнитной волны пластинкой K .

Коэффициентом поглощения называется отношение поглощенной энергии к энергии падающей волны.

3.7 Получите формулу для давления света на пластинку, выразите это давление через интенсивность волны и коэффициент поглощения пластинки.

⁹ Не путайте с плотностью!