

Заметим, что, давление света – одно из немногих оптических явлений, которое одинаково хорошо объясняется и корпускулярными, и волновыми представлениями о свете.

Задача 2. На плоскую поверхность тонкой плосковыпуклой линзы нанесено абсолютно отражающее покрытие. На выпуклую поверхность этой линзы падает узкий пучок импульсного лазерного излучения с энергией $E = 4$ Дж и длительностью импульса $\tau = 10^{-4}$ с. Падающий пучок распространяется параллельно главной оптической оси линзы на расстоянии $h = F/2\sqrt{3}$ от оси, где F – фокусное расстояние линзы. Найдите величину средней силы, действующей на линзу со стороны света, если половина энергии лазерного излучения поглощается в линзе. Отражением от поверхности линзы без покрытия пренебречь.

Параллельный главной оптической оси пучок света проходит линзу, затем отражается от зеркального покрытия и снова проходит линзу. С помощью формулы линзы и законов отражения света от плоского зеркала легко показать, что выходящий из линзы пучок пересекает главную оптическую ось линзы на расстоянии $F/2$ от линзы, образуя с осью угол $\alpha = 30^\circ$. Абсолютная величина суммарного импульса фотонов, падающих на линзу, равна $p_1 = E/c$, а импульс пучка на выходе из линзы равен $p_2 = E/(2c)$. На рисунке 1 изображена векторная диаграмма,

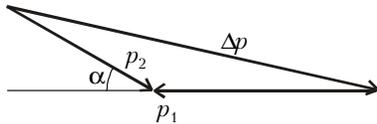


Рис. 1

на которой построен вектор изменения импульса фотонов после прохождения линзы: $\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$. Изменение импульса фотонов по абсолютной величине равно

$$\Delta p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1 p_2 \cos \alpha} = \sqrt{\frac{E^2}{c^2} + \frac{E^2}{4c^2} + 2 \frac{E}{c} \cdot \frac{E}{2c} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{E}{2c} \sqrt{5 + 2\sqrt{3}}.$$

Средняя сила, которая подействовала на фотоны, равна

$$F_\Phi = \frac{\Delta p}{\tau} = \frac{E\sqrt{5 + 2\sqrt{3}}}{2c\tau} \approx 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ Н.}$$

Сила, равная ей по величине, но направленная в противоположную сторону, будет средней силой, которая действует на линзу со стороны фотонов.

Задача 3. При некотором минимальном значении задерживающей разности потенциалов на вакуумном фотоэлементе фототок в цепи прекращается, когда поверхность катода освещается светом с некоторой (неизвестной) длиной волны λ_0 . Если изменить длину волны света в $\alpha = 2$ раза, то для прекращения фототока необходимо увеличить задерживающую разность потенциалов в $\beta = 3$ раза. Определите λ_0 , если известно, что работа выхода для материала катода равна $A = 1,89$ эВ. Постоянная Планка $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с, заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Фототок прекращается, когда самые быстрые фотоэлектроны – их кинетическая энергия равна $hc/\lambda - A$, а скорость направлена перпендикулярно поверхности катода – при данной задерживающей разности потенциалов U_3 уже не могут долететь до анода. В аналитической форме это условие имеет вид

$$eU_3 \geq \frac{hc}{\lambda} - A.$$

Наши два случая сводятся к таким двум уравнениям:

$$eU_{30} = \frac{hc}{\lambda_0} - A,$$

$$e\beta U_{30} = \frac{hc}{\lambda_0/\alpha} - A.$$

Из совместного решения этих уравнений находим

$$\lambda_0 = \frac{(\beta - \alpha)hc}{(\beta - 1)A} = \frac{hc}{2A} = 0,33 \text{ мкм}$$

(мы учли, что $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж).

Задача 4. Из тонкой линзы диаметром $D = 2,5$ см с фокусным расстоянием $F = 50$ см вырезали центральную полоску шириной $a = 0,5$ см (рис.2), после чего обе половинки линзы сдвинули до соприкосновения – такую систему называют билинзой. Точечный источник света S с длиной волны $\lambda = 500$ нм расположен на оси системы в фокальной плоскости линзы (рис.3). На каком расстоянии L от билинзы следует расположить экран, чтобы на нем можно было наблюдать максимально возможное число интерференционных полос? Определите ширину Δx интерференционных полос и их число. Определите также допустимую немонохроматичность $\Delta\lambda$ источника света в этой интерференционной схеме, необходимую для наблюдения всех интерференционных полос.

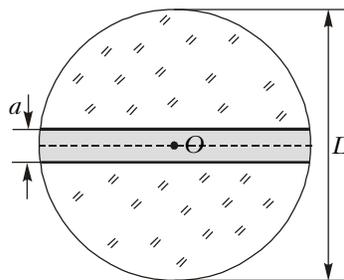


Рис. 2

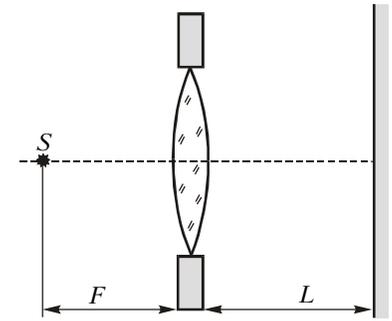


Рис. 3

нули до соприкосновения – такую систему называют билинзой. Точечный источник света S с длиной волны $\lambda = 500$ нм расположен на оси системы в фокальной плоскости линзы (рис.3). На каком расстоянии L от билинзы следует расположить экран, чтобы на нем можно было наблюдать максимально возможное число интерференционных полос? Определите ширину Δx интерференционных полос и их число. Определите также допустимую немонохроматичность $\Delta\lambda$ источника света в этой интерференционной схеме, необходимую для наблюдения всех интерференционных полос.

После прохождения каждой части линзы свет выйдет в виде параллельного пучка под некоторым углом α к горизонту. На рисунке 4 показан ход лучей, прошедших через верхний сегмент линзы. Оптический центр O (см. рис.2) исходной линзы является оптическим центром O' для верхнего сегмента линзы. Поэтому по выходе из линзы пучок света пойдет под углом $\alpha = \text{arctg}(a/(2F)) = a/(2F)$ (угол α мал). Параллельный пучок света, выходящий из нижнего сегмента линзы (на рисунке 6 этот сегмент не нарисован), идет под углом $\alpha' = \alpha$.

Эти два параллельных пучка света когерентны, поскольку они получены от одного источника. Интерференционная картина будет иметь место в той части экрана, где будет происходить перекрытие пучков. Интерференционные полосы на экране будут расположены горизонтально и перпендикулярно плоскости рисунка.

Ширина интерференционных полос (т.е. расстояние между соседними максимумами) не зависит от расстояния экрана до билинзы и определяется только углом сходимости φ interfering пучков и длиной волны света λ (см. «Квант», 2000, №6, с.31). Для данной оптической схемы $\varphi = 2\alpha$ и ширина интерференционных полос

$$\Delta x = \frac{\lambda}{\varphi} = \frac{\lambda}{2\alpha} = \frac{\lambda F}{a} = 50 \text{ мкм.}$$