Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Оценочные материалы по дисциплине

Оптика

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Медицинская и биологическая физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП
В.П. Демкин

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способность применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.

ПК-1 Способность проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Знает основные законы, модели и методы исследования физических процессов и явлений

ИПК 1.1 Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

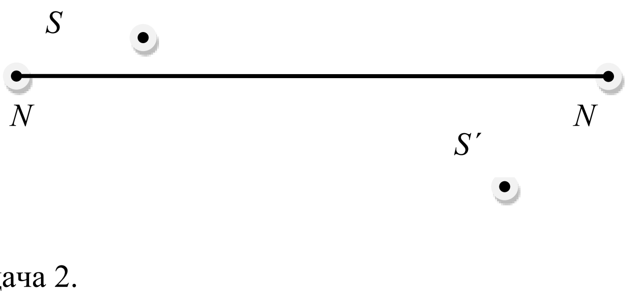
Элементы текущего контроля: контрольные вопросы и задачи (ИОПК 1.1).
По дисциплине «Оптика» предусмотрены ответы на контрольные вопросы и решение задач по каждому разделу. Проводится в форме индивидуального собеседования, в процессе которого студент должен продемонстрировать умение пользоваться основными понятиями, законами и моделями общей физики; применять законы общей физики при решении задач общей физики

Тема 1. Геометрическая оптика.

1. Сформулировать границы применимости геометрической оптики.
2. Что такое луч?
3. В чём состоит закон отражения света?
4. В чём состоит закон преломления света?
5. В чём состоит принцип Ферма?
6. В чем заключается закон обратимости световых лучей?
7. Основные правила построения изображения в собирающих линзах.
8. Основные правила построения изображения в рассеивающих линзах.

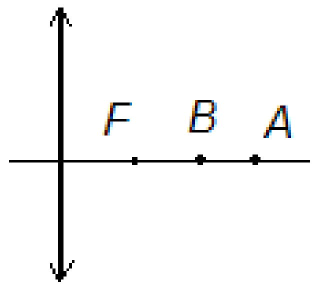
Задача 1.

Заданы главная оптическая ось линзы *NN*, положение источника *S* и его изображения S'. Найдите построением положение оптического центра линзы *C* и ее фокусов.



Задача 2.

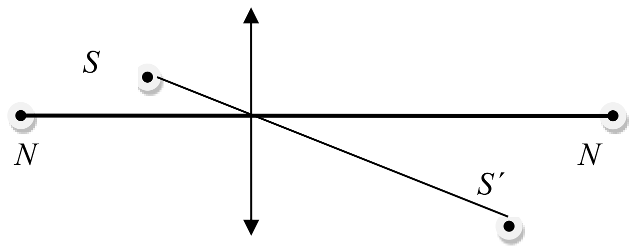
Для предмета, находящегося в точке A, линза дает увеличение $Г_1$=2, а когда его помещают в точку B, увеличение $Г_2$=3. Каким будет увеличение для предмета, помешенного в середину отрезка AB?



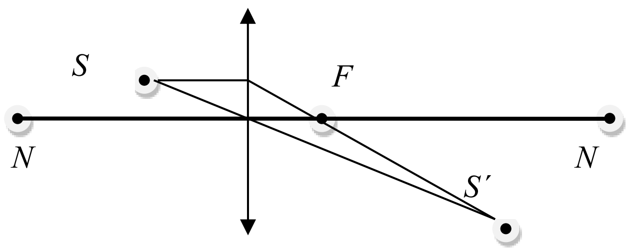
Ключи:

Задача 1.

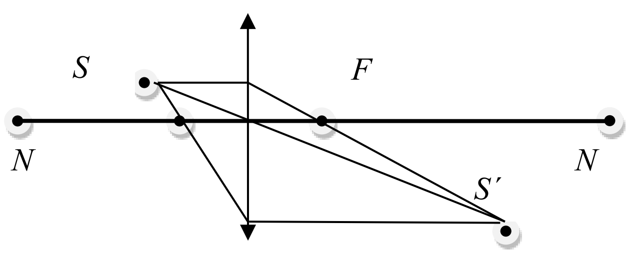
Используем стандартные лучи для построения изображений в линзах**.** Первый луч проходит через точку предмета S, центр линзы и точку изображения S'.



Второй луч идет параллельно главной оптической оси и после линзы проходит через фокус F (и через точку изображения).



Третий луч за линзой идет параллельно главной оптической оси через точку изображения, а перед линзой проходит через фокус (и точку предмета).



Задача 2.

Пусть F – фокусное расстояние линзы, A – расстояние до точки A, B – расстояние до точки B, f_1 – расстояние до изображения предмета, находящегося в точке A, f_2 – расстояние до изображения предмета, находящегося в точке B, f – расстояние до изображения предмета, находящегося в середине отрезка AB ($F = \frac{A+B}{2}$).

Воспользуемся формулой тонкой линзы: $\frac{1}{F}=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}$, тогда для предметов, находящихся в точках А и В, соответственно:

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{A}+\frac{1}{f_1}, \qquad \frac{1}{F}=\frac{1}{B}+\frac{1}{f_2} \qquad (1).$$

Соответственно увеличение будут:

$\Gamma_1=\frac{f_1}{A}$ для предмета, находящегося в точке А и $\Gamma_2=\frac{f_2}{B}$ для предмета, находящегося в точке В, $\Gamma=\frac{f}{(A+B)/2}=\frac{2f}{A+B}$ для предмета, находящегося в середине отрезка АВ. Тогда:

$$f_1=\Gamma_1 A, \quad f_2=\Gamma_2 B, \quad f=\frac{\Gamma}{2}(A+B) \qquad (2).$$

Из (1) и (2) получим

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{A}+\frac{1}{A\Gamma_1}=\frac{1}{B}+\frac{1}{B\Gamma_2}=\frac{2}{A+B}+\frac{2}{\Gamma(A+B)} \qquad (3).$$

Из (3) получим

$$\Gamma_1=\frac{F}{A-F}, \ \Gamma_2=\frac{F}{B-F}, \ \Gamma=\frac{F}{(A+B)/2-F} \qquad (4)$$

Из первых двух выражений (4) получаем:

$A=\frac{F}{\Gamma_1}(1+\Gamma_1)$ и $B=\frac{F}{\Gamma_2}(1+\Gamma_2)$.

Подставляем полученные *A* и *B* в третье выражение (4):

$$\Gamma=\frac{F}{\frac{F}{2\Gamma_1}(1+\Gamma_1)+\frac{F}{2\Gamma_2}(1+\Gamma_2)-F}=\frac{1}{\frac{1+\Gamma_1}{2\Gamma_1}+\frac{1+\Gamma_2}{2\Gamma_2}-1}=\frac{2\Gamma_1\Gamma_2}{(1+\Gamma_1)\Gamma_2+(1+\Gamma_2)\Gamma_1-2\Gamma_1\Gamma_2}=\frac{2\Gamma_1\Gamma_2}{\Gamma_1+\Gamma_2}=$$

$$=\frac{2\cdot 2\cdot 3}{2+3}=2{,}4$$

Ответ: 2,4

Тема 2. Когерентность. Интерференция.

1. Какие источники света называются когерентными?
2. В чем состоит явление интерференции света?
3. Условия максимумов и минимумов интерференционной картины.
4. Объясните происхождение цветов тонких пленок.
5. В чем заключается суть двухлучевой интерференции?
6. В чем заключается суть многолучевой интерференции?

Задача 1.

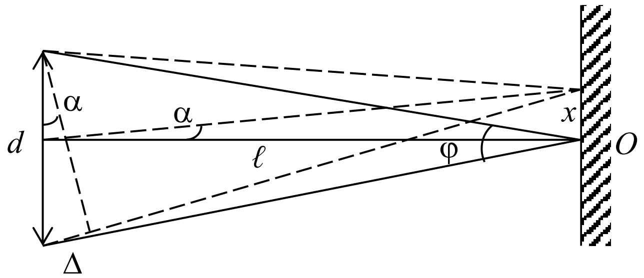
Две когерентные плоские волны, угол между направлениями распространения которых $\varphi \ll 1$, падают почти нормально на экран. Амплитуды волн одинаковы. Показать, что расстояние между соседними максимумами на экране $\Delta x = \lambda/\varphi$, где λ - длина волны.

Задача 2.

Плоская монохроматическая световая волна длины λ падает на поверхность стеклянного клина, угол между гранями которого $\alpha \ll 1$. Плоскость падения перпендикулярна к ребру клина, угол падения θ_1. Найти расстояние между соседними максимумами интерференционных полос на экране, расположенном перпендикулярно к отражённому свету.

Ключи:

Задача 1.



Пусть точка O – центр интерференционной картины. При смещении на x вдоль экрана между лучами появляется разность хода Δ. Из рисунка видно, что $\Delta = d\alpha$, а разность фаз $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} d\alpha$.

Условие максимума $\frac{2\pi}{\lambda} d\alpha = 2\pi k$.

Пусть α_1 – угол на $k -$ й максимум, α_2- угол на $k+1$ максимум, тогда

$$\frac{2\pi}{\lambda} d(\alpha_2 - \alpha_1) = 2\pi.$$

$$\Delta\alpha = (\alpha_2 - \alpha_1) = \frac{\lambda}{d}.$$

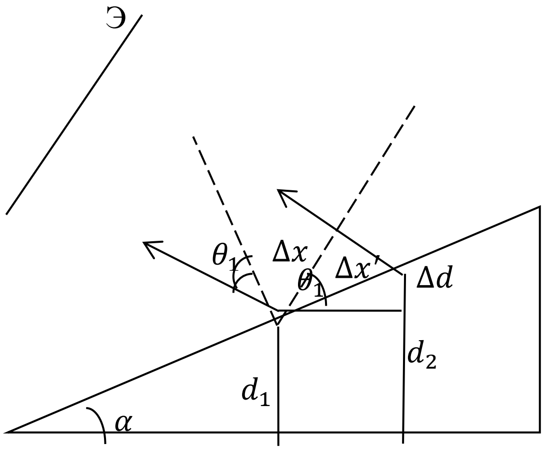
Положение максимумов на экране при этом задается x

Для α_1: $x_1 = \ell\alpha_1$

Для α_2: $x_2 = \ell\alpha_2$

Отсюда следует $\Delta x = \ell\Delta\alpha$. Тогда $\Delta x = \ell\frac{\lambda}{d}$; где $\frac{d}{\lambda} = \varphi$.

Значит, $\Delta x = \frac{\lambda}{\varphi}$.



Задача 2.

$$\Delta x = \Delta x' \cos\theta_1;$$
$$\Delta x' = \frac{\Delta d}{\sin\alpha},$$
где $\Delta d = d_2 - d_1$.
$$2d_1\sqrt{n^2 - (\sin\theta_1)^2} = (2m+1)\frac{\lambda}{2}$$
$$2d_2\sqrt{n^2 - (\sin\theta_1)^2} = (2(m+1)+1)\frac{\lambda}{2} \Rightarrow$$
$$d_2 - d_1 = \frac{\lambda}{2\sqrt{n^2 - (\sin\theta_1)^2}}$$
$$\Delta x = \frac{\lambda\cos\theta_1}{2\alpha\sqrt{n^2 - (\sin\theta_1)^2}}$$

Тема 3. Дифракция.

1. Что такое дифракция волн?
2. Сформулируйте принцип Гюйгенса — Френеля.
3. Что такое дифракция Френеля?
4. Что такое дифракция Фраунгофера?
5. Что такое период дифракционной решетки?
6. Сформулируйте условие главных максимумов дифракционной решетки.

Задача 1.

Между точечным источником света и экраном поместили диафрагму с круглым отверстием, радиус которого r можно менять в процессе опыта. Расстояния от диафрагмы до источника и экрана равны $a = 100$см и $b = 125$см. Определить длину волны света, если максимум освещённости в центре картины на экране наблюдается при $r_1 = 1.00$мм и следующий максимум при $r_2 = 1.29$мм.

Задача 2.

Монохроматическая плоская световая волна с интенсивностью I_0 падает нормально на непрозрачный диск, закрывающий для точки наблюдения Р первую зону Френеля. Какова стала интенсивность света в точке Р после того, как у диска удалили:

a) половину (по диаметру);
b) половину внешней половины первой зоны (по диаметру)?

Задача 3.

Плоская световая волна с $\lambda = 0.60$мкм падает нормально на достаточно большую стеклянную пластинку, на противоположной стороне которой сделана круглая выемка. Для точки наблюдения P она представляет собой первые полторы зоны Френеля. Найти глубину h выемки, при которой интенсивность света в точке P будет

a) максимальной?
b) минимальной?
c) равной интенсивности падающего света?

Задача 4.

Свет с $\lambda = 589.0$нм падает нормально на дифракционную решётку с периодом $d = 2{,}5$мкм, содержащую$N = 10000$ штрихов. Найти угловую ширину дифракционного максимума второго порядка.

Ключи:

Задача 1.

Максимум наблюдается всякий раз, когда в отверстие укладывается нечётное число зон Френеля, следовательно:

$$r_1^2 = \frac{ab}{a+b} m_1 \lambda$$

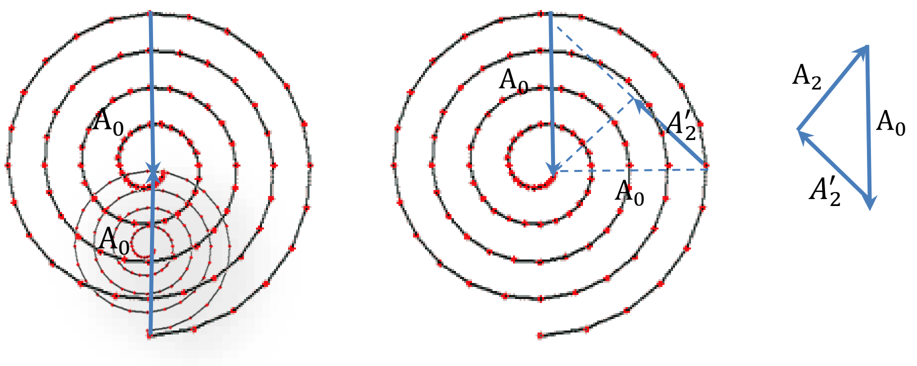
$$r_2^2 = \frac{ab}{a+b} m_2 \lambda,$$

где $m_2 = m_1 + 2$.

$$r_2^2 - r_1^2 = \frac{2ab}{a+b} \lambda \ \Rightarrow$$

$$\lambda = \frac{(r_2^2 - r_1^2)(a+b)}{2ab} = 0.60\text{мкм}.$$

Задача 2.



a) b)

a) Амплитуда колебаний, пришедших в точку наблюдения от всего фронта за исключением перекрытой диском первой зоны, равна A_0. Амплитуда колебаний, пришедших в точку наблюдения от открытой по диаметру части первой зоны также равна A_0. Однако, эти колебания сдвинуты по фазе на π относительно колебаний, пришедших от всего фронта за исключением первой зоны. Таким образом, результирующая амплитуда

$$A_1 = 0 \ \Rightarrow I_1 = 0.$$

b) Вектор $\overrightarrow{\mathrm{A}_2}$, изображающий результирующее колебание, равен сумме векторов $\overrightarrow{\mathrm{A}_0}$ и $\overrightarrow{\mathrm{A}_2'}$.

$$\mathrm{A}_0^2 = \mathrm{A}_2'^2 + \mathrm{A}_2^2$$

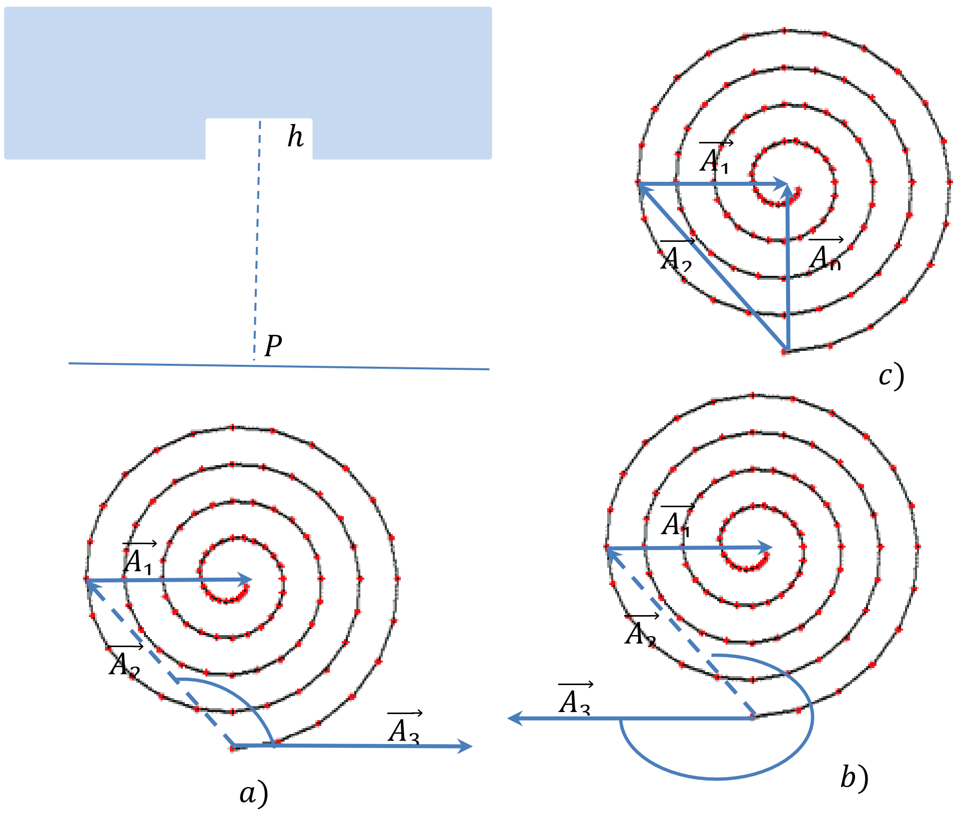
$$A_0^2 = 2A_2'^2 \quad \Rightarrow A_2'^2 = \frac{1}{2}A_0^2 \quad \Rightarrow$$

$$A_2^2 = A_0^2 - \frac{1}{2}A_0^2 \quad \Rightarrow$$

$$I_2 = \frac{1}{2}I_0.$$

Задача 3.

Колебания, пришедшие в точку P через выемку и помимо неё пройдут разные



оптические пути. Следовательно, между ними появится дополнительная оптическая разность хода $\Delta = h(n-1)$ и соответствующая разность фаз, величина которой зависит от глубины выемки h. Таким образом, вектор A_2, изображающий результирующее колебание от полутора зон, развернётся на угол

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}h(n-1) \Rightarrow$$

a) $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}h(n-1) = \frac{3}{4}\pi + 2k\pi; \quad h = \left(k + \frac{3}{8}\right)\frac{\lambda}{n-1};$

b) $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}h(n-1) = \frac{3}{4}\pi + \pi + 2k\pi; \quad h = \left(k + \frac{7}{8}\right)\frac{\lambda}{n-1};$

c) $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}h(n-1) = 2k\pi; \quad h = k\frac{\lambda}{n-1}.$

Задача 4.

Угловая ширина максимума $m-$ го порядка определяется разностью углов $\delta\varphi$, под которыми наблюдаются минимумы $\pm$первого порядка для этого максимума.

$$d\sin\varphi = m\lambda$$

$$d\sin(\varphi - \frac{\delta\varphi}{2}) = (m - \frac{1}{N})\lambda$$

$$d\sin(\varphi + \frac{\delta\varphi}{2}) = (m + \frac{1}{N})\lambda$$

Из разложения в ряд Тейлора следует:

$$\sin(\varphi \pm \frac{\delta\varphi}{2}) = \pm(\cos\varphi)\frac{\delta\varphi}{2}$$

Таким образом

$$(\cos\varphi)\frac{\delta\varphi}{2} = (m + \frac{1}{N})\lambda$$

$$-(\cos\varphi)\frac{\delta\varphi}{2} = (m - \frac{1}{N})\lambda$$

$$2(\cos\varphi)\frac{\delta\varphi}{2} = \frac{2\lambda}{N}$$

$$\delta\varphi = \frac{2\lambda}{N\sqrt{1-\left(\frac{m\lambda}{d}\right)^2}}.$$

Тема 4. Поляризация света.

1. Какой свет называют плоскополяризованным?
2. Что такое плоскость поляризации?
3. Сформулируйте закон Малюса.
4. Сформулируйте закон Брюстера.
5. В чём заключается явление двойного лучепреломления?
6. Каким свойством обладают оптически активные вещества?
7. Что такое удельное вращение оптически активного вещества?

Задача 1.

Плоская монохроматическая волна с интенсивностью I_0 падает нормально на круглое отверстие, которое представляет собой первую зону Френеля для точки наблюдения P. Найти интенсивность света в точке P после того, как отверстие перекрыли двумя одинаковыми поляризаторами, плоскости пропускания которых перпендикулярны друг другу, а граница их раздела проходит

a) по диаметру отверстия;
b) по окружности, ограничивающей первую половину зоны Френеля.

Задача 2.

Линейно поляризованный световой пучок падает на поляризатор, вращающийся вокруг оси пучка с угловой скоростью ω. Найти световую энергию, проходящую через поляризатор за один оборот, если поток энергии в падающем пучке Φ_0.

Задача 3.

Линейно поляризованный световой пучок падает на поляризатор, вращающийся вокруг оси пучка с угловой скоростью ω. Найти световую энергию, проходящую через поляризатор за один оборот, если поток энергии в падающем пучке Φ_0.

Задача 4.

Естественный свет падает под углом Брюстера на поверхность стекла. Определить с помощью формул Френеля:

a) коэффициент отражения;
b) степень поляризации преломленного света

Задача 5.

Кварцевая пластинка, вырезанная параллельно оптической оси, помещена между двумя скрещенными поляризаторами так, что её оптическая ось составляет угол в $45°$ с плоскостями пропускания поляризаторов. При какой минимальной толщине пластинки свет с $\lambda_1 = 643$нм будет проходить через эту систему с максимальной интенсивностью, а свет с $\lambda_2 = 564$нм будет сильно ослаблен? Разность показателей преломления $\Delta n = 0.009$.

Ключи:

Задача 1.

Свет, прошедший через разные поляризаторы будет поляризован во взаимно перпендикулярных направлениях. Следовательно, результирующая интенсивность будет равна сумме интенсивностей света, прошедшего через каждый из поляризаторов.

a)

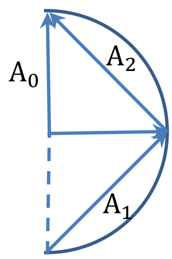
В отсутствие поляризатора амплитуда света, прошедшего через половину зоны, перекрытой по диаметру,

$$A = A_0; \quad I = I_0.$$

Через каждый поляризатор пройдёт

$$I' = \frac{1}{2} I_0 \quad \Rightarrow$$
$$I_1 = I_0.$$

b) A



В отсутствие поляризаторов внутренняя и внешняя половины зоны пропускают свет с амплитудой

$$A_1 = A_2 = \sqrt{2} A_0; \; I = 2I_0 \quad \Rightarrow$$

Через поляризатор пройдёт

$$I' = \frac{I}{2} = I_0.$$

Таким образом, результирующая интенсивность

$$I_2 = 2I_0.$$

Задача 2.

По закону Малюса:

$$I = I_0 (\cos\varphi)^2,$$

где φ – угол между направлением колебаний напряжённости электрического поля в линейно поляризованном свете и плоскостью пропускания поляризатора. В данном случае этот угол меняется со временем по закону:

$$\varphi = \omega t.$$

Поток энергии, прошедшей через поляризатор,

$$\Phi = IS \ \Rightarrow$$

$$\Phi = \Phi_0 (\cos\varphi)^2.$$

Энергия, проходящая через поляризатор за время T,

$$W = \int_0^T \Phi(\,t) dt.$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

$$W = \int_0^{2\pi/\omega} \Phi_0 (\cos\omega t)^2 \, dt$$

$$W = \int_0^{2\pi/\omega} \frac{1}{2} \Phi_0 (1 + \cos 2\,\omega t) \quad dt;$$

$$W = \frac{\pi\Phi_0}{\omega}.$$

Задача 3

По закону Малюса:

$$I = I_0 (\cos\varphi)^2,$$

где φ – угол между направлением колебаний напряжённости электрического поля в линейно поляризованном свете и плоскостью пропускания поляризатора. В данном случае этот угол меняется со временем по закону:

$$\varphi = \omega t.$$

Поток энергии, прошедшей через поляризатор,

$$\Phi = IS \ \Rightarrow$$

$$\Phi = \Phi_0 (\cos\varphi)^2.$$

Энергия, проходящая через поляризатор за время T,

$$W = \int_0^T \Phi(\,t) dt.$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

$$W = \int_0^{2\pi/\omega} \Phi_0 (\cos\omega t)^2 \, dt$$

$$W = \int_0^{2\pi/\omega} \frac{1}{2} \Phi_0 (1 + \cos 2\,\omega t) \quad dt;$$

$$W = \frac{\pi\Phi_0}{\omega}.$$

Задача 4.

$$\rho = \frac{I_{\text{отр}}}{I_0}$$

При падении света под углом Брюстера ($\tan\theta_1 = n$) в отражённом луче присутствует только свет, поляризованный в плоскости, перпендикулярной плоскости падения. Следовательно

$$\rho = \frac{I_\perp{}'}{I_0}; \quad I_\perp' = I_\perp \frac{sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{sin^2(\theta_1 + \theta_2)}$$

В падающем свете $I_\perp = \frac{1}{2} I_0$. Таким образом:

$$\rho = \frac{1}{2}\frac{sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{sin^2(\theta_1 + \theta_2)};$$

$$\theta_1 + \theta_2 = \frac{\pi}{2}; \quad \theta_2 = \frac{\pi}{2} - \theta_1 \quad \Rightarrow$$

$$\rho = \frac{1}{2} sin^2\left(2\theta_1 - \frac{\pi}{2}\right) = \frac{1}{2}cos^2 2\theta_1 = \frac{1}{2}(cos^2\theta_1 - sin^2\theta_1)^2 =$$

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{1}{1 + tan^2\theta_1} - \frac{1}{1 + cot^2\theta_1}\right)^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{1+n^2} - \frac{n^2}{1+n^2}\right)^2$$

$$\rho = \frac{1}{2}\left(\frac{1-n^2}{1+n^2}\right)^2 = 0.074.$$

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

При падении света под углом Брюстера в преломленном луче максимальная интенсивность параллельной составляющей будет равна параллельной составляющей падающего света, поскольку в отражённом свете она отсутствует т.е.

$$I_{max} = \frac{1}{2} I_0.$$

Минимальная интенсивность соответствует преломленной перпендикулярной составляющей, т. е.

$$I_{min} = \frac{1}{2} I_0 - I_{0\text{тр}} \quad \Rightarrow P = \frac{\frac{1}{2}I_0 - \frac{1}{2}I_0 + I_{0\text{тр}}}{I_0 - I_{0\text{тр}}} = \frac{I_{0\text{тр}}}{I_0 - I_{0\text{тр}}} = \frac{\rho}{1-\rho}.$$

$$P = \frac{(1+n^2)^2 - 4n^2}{(1+n^2)^2 + 4n^2} = 0.08$$

Задача 5.

Так как наблюдается интерференция в скрещенных поляризаторах, то интенсивность прошедшего света

$$I_\perp = I sin^2 \delta/_2,$$

где

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d\Delta n.$$

Поскольку по условию задачи условие максимума выполняется для длины волны λ_1, то

$$\frac{2\pi}{\lambda_1} d\Delta n = (2m \pm 1)\pi.$$

А для длины волны λ_2 выполняется условие, близкое к минимуму:

$$\frac{2\pi}{\lambda_2} d\Delta n \cong 2m\pi. \quad (1)$$

И поскольку $\lambda_1 > \lambda_2$, то для того же значения m, условие максимума для λ_1 имеет вид:

$$\frac{2\pi}{\lambda_1} d\Delta n = (2m-1)\pi. \quad (2) \Rightarrow$$

$$d = \frac{(2m-1)\lambda_1}{2\Delta n}. \quad (3)$$

Подставив выражение (3) в (1), получим:

$$\frac{2\pi}{\lambda_2}\frac{(2m-1)\lambda_1}{2\Delta n}\Delta n \cong 2m\pi$$

$$2m(\lambda_1 - \lambda_2) \cong \lambda_1$$

$$m \cong \frac{1}{2(1-\lambda_2/\lambda_1)} = 4. \ (4)$$

Так как условие максимума строго выполняется для λ_1, то результат (4) подставляем в (3):

$$d = \frac{(m-1/2)\lambda_1}{\Delta n} = 0.25\text{мм}.$$

Тема 5. Тепловое излучение

1. Какова природа теплового излучения и люминесценции? Какое из этих излучений является равновесным?
2. Дайте определения понятий: а) энергетической светимости тела; б) испускательной и поглощательной способностей нагретого тела.
3. Какое тело называется: а) абсолютно черным; б) серым?
4. Сформулируйте законы Стефана–Больцмана и Вина.

Задача 1.

Имеются два абсолютно чёрных источника теплового излучения. Температура одного из них $T_1 = 2500K$. Найти температуру другого источника, если длина волны, отвечающая максимуму его испускательной способности на $\Delta\lambda = 0.5$ мкм больше длины волны, соответствующей испускательной способности первого источника.

Задача 2.

Излучение Солнца по своему спектральному составу близко к излучению абсолютно чёрного тела, для которого максимум испускательной способности приходится на длину волны $\lambda = 0.48$ мкм. Найти массу, теряемую Солнцем ежесекундно за счёт этого излучения. Оценить время, за которое масса Солнца уменьшится на один процент.

Задача 3.

Медный шарик диаметром $d = 1.2$см поместили в откаченный сосуд, температура стенок которого поддерживается близкой к абсолютному нулю. Начальная температура шарика $T_0 = 300K$. Считая поверхность шарика абсолютно чёрной, найти через сколько времени его температура уменьшится в $\eta = 2$ раза.

Задача 4.

Полость объёмом $V = 1$л заполнена тепловым излучением при температуре $T = 1000\ K$. Найти:

a) теплоёмкость C_V;

b) энтропию S этого излучения.

Ключи:

Задача 1.

Из закона Вина

$$T\lambda_{max} = b = const$$

следует, что

$$T_1\lambda_{max1} = T_2\lambda_{max2}$$

$$T_1\lambda_{max1} = T_2(\lambda_{max1} + \Delta\lambda)$$

$$T_2 = \frac{T_1\lambda_{max1}}{\lambda_{max1} + \Delta\lambda}$$

И, поскольку

$$\lambda_{max1} = \frac{b}{T_1},$$

температура второго источника

$$T_2 = \frac{bT_1}{b + T_1\Delta\lambda} \approx 1750K$$

Задача 2.

Масса и энергия излучения связаны соотношением Эйнштейна

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

Энергию, излучаемую Солнцем за одну секунду, можно определить на основании закона Стефана – Больцмана:

$$\Delta E = \sigma T^4 4\pi R^2,$$

где T и R соответственно температура поверхности и радиус Солнца.

Температуру поверхности определяем из закона Вина:

$$T\lambda_{max} = b.$$

Таким образом, искомая масса

$$\Delta m = \frac{\sigma 4\pi R^2 (b/\lambda_{max})^4}{c^2} = 5 \cdot 10^9 \text{ кг/с}.$$

$$R = 6.95 \cdot 10^8 \text{ м};\ \ \sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^4;\ \ b = 0.29 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}.$$

Масса Солнца равна $1.99 \cdot 10^{30}$ кг, следовательно, один процент массы составляет $1.99 \cdot 10^{28}$ кг и время, за которое масса Солнца изменится на эту величину

$$t = \frac{1.99 \cdot 10^{28} \text{ кг}}{5 \cdot 10^9 \text{ кг/с}} = 4 \cdot 10^{18}\ c\ \approx 10^{11}\text{лет}.$$

Задача 3.

Так как температура стенок откаченного сосуда, поддерживается близкой к абсолютному нулю, то они не излучают, и вся падающая на них энергия отводится.

Поэтому, если за время от t до $t + dt$ температура шарика уменьшилась от значения Tдо $T - dT$, то всё количество теплоты $\delta Q = cmdT$ будет равно энергии, излучаемой шариком как абсолютно чёрным телом за время dt. Таким образом, можно записать дифференциальное уравнение:

$$\sigma T^4 4\pi r^2 dt = -cmdT$$
$$\sigma T^4 4\pi r^2 dt = -\rho \frac{4}{3}\pi r^3 cdT$$
Решаем диф. уравнение методом разделения переменных:
$$-\frac{dT}{T^4} = \frac{3\sigma}{\rho cr} dt$$
$$\frac{1}{3T^3} = \frac{3\sigma}{\rho cr} t + const$$
Из начальных условий: $t = 0, T = T_0$ следует
$$const = \frac{1}{3T_0^3}; \Rightarrow$$
$$\frac{1}{3}\left(\frac{1}{T^3} - \frac{1}{T_0^3}\right) = \frac{3\sigma}{\rho cr} t;$$
$$t = \frac{[(T_0/T)^3 - 1]\rho cr}{9\sigma T_0^3}$$
$$t = \frac{(\eta^3 - 1)\rho cd}{18\sigma T_0^3} = 3 \text{ часа.}$$

Задача 4.

$$C_V = \frac{dU}{dT},$$
где U – энергия излучения в заданном объёме.

Поскольку известна температура излучения, можно определить энергетическую светимость, которая связана с объёмной плотностью равновесного теплового излучения:
$$\sigma T^4 = \frac{c}{4} u \Rightarrow$$
$$U = \frac{4\sigma T^4 V}{c} \Rightarrow$$
$$C_V = \frac{16\sigma T^3}{c} V$$

Из первого начала термодинамики
$$TdS = dU + PdV$$
при постоянном объёме, получаем
$$dS = \frac{dU}{T} = \frac{16\sigma T^3}{cT} VdT \Rightarrow$$
$$S = \frac{16\sigma T^3}{3c} V.$$

1. Оценочные материалы промежуточной аттестации и критерии оценивания

Экзамен в четвертом семестре проводится в устной форме по билетам. Билет содержит два вопроса.

К экзамену допускаются только те студенты, кто удовлетворительно выполнил все практические задания.

Первые вопросы билетов проверяют формирование ОПК-1 в соответствии с индикатором ИОПК-1.1. Ответы даются в развернутой форме.

Вторые вопросы билетов проверяют формирование ПК-1 в соответствии с индикатором ИПК-1.1. Ответы даются в развернутой форме.

Пример экзаменационного билета:

БИЛЕТ № 1

Вопрос 1. Волновая и геометрическая оптика. Основные положения геометрической оптики. Принцип Ферма.

Вопрос 2. Двухлучевые интерферометры и их применение.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка определяется, исходя из текущей аттестации в течение семестра и согласуется с принятым соответствием с 5-ти балльной шкалой оценивания: – «отлично»; «хорошо»; «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично», с учетом успеваемости, выставляется, если даны правильные ответы на все теоретические вопросы по билету, а также даны правильные ответы на дополнительные и/или уточняющие вопросы по основным темам и содержанию курса.

Оценка «хорошо», с учетом успеваемости, выставляется, если даны неполные правильные ответы на теоретические вопросы по билету, но имеются так же правильные ответы на часть дополнительных и/или уточняющих вопросов по основным темам и содержанию курса.

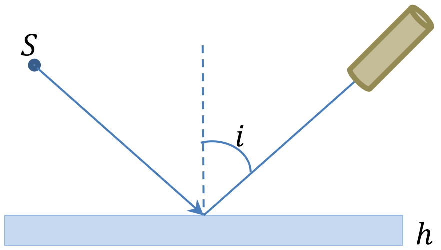
Оценка «удовлетворительно», с учетом промежуточной успеваемости, выставляется, если даны неправильные ответы на теоретические вопросы, но при этом даны правильные ответы на дополнительные и/или уточняющие вопросы по основным темам и содержанию курса.

Оценка «неудовлетворительно», с учетом успеваемости, выставляется, если даны неправильные ответы на оба теоретических вопроса билета и отсутствуют ответы на дополнительные или уточняющие вопросы.

2. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Пример задачи.

С помощью зрительной трубы, установленной на бесконечность, наблюдают интерференционные полосы в тонкой плоскопараллельной стеклянной пластинке толщиной $h = 0.2$мм с показателем преломления $n = 1.41$; при этом угол наблюдения i может изменяться от 0 до $90°$. Найти максимальный и минимальный порядок интерференционных полос, оценить допустимую немонохроматичность источника $\Delta\lambda$, при которой будут достаточно чётко наблюдаться все интерференционные полосы. Каков допустимый размер источника в этом интерференционном эксперименте? Используется зелёный свет с длиной волны $\lambda = 560$нм.



Ключ:

$$2h\sqrt{n^2 - \sin i^2} = m\lambda$$

$$m = \frac{2h\sqrt{n^2 - \sin i^2}}{\lambda}$$

$$m_{max}(i = 0) = \frac{2hn}{\lambda} \cong 1000.$$

$$m_{min}\left(i = \frac{\pi}{2}\right) = \frac{2h\sqrt{n^2 - 1}}{\lambda} \cong 720$$

Допустимая немонохроматичность источника следует из условия временной когерентности: оптическая разность хода не должна превышать длину когерентности $\lambda^2/\Delta\lambda$. В данном эксперименте это означает, что

$$\Delta = 2h\sqrt{n^2 - \sin i^2} = m_{max}\lambda \leq \lambda^2/\Delta\lambda.$$

$$\Delta\lambda \leq \frac{\lambda}{m_{max}} = \frac{560 \cdot 10^{-9}}{10^3} \cong 0.5\text{нм}$$

Поскольку наблюдение производится под определённым углом, условие пространственной когерентности выполняется при любом размере источника.

Информация о разработчиках

Демкин Владимир Петрович, профессор, доктор физико-математических наук, физический факультет Томского государственного университета, зав. кафедрой общей и экспериментальной физики

Назаров Павел Анатольевич, старший преподаватель кафедры общей и экспериментальной физики физического факультета ТГУ.