

Оптика

Законы геометрической оптики

Геометрической оптикой называется раздел оптики, в котором законы распространения оптического излучения изучаются на основе математической модели, в которой световые волны заменяют световыми лучами и применяют к ним обычные правила евклидовой геометрии и несколько простых законов, установленных опытным путем.

Закон прямолинейного распространения света:

В однородной изотропной среде свет распространяется прямолинейно с постоянной скоростью.

Скорость распространения света в веществе можно определить по формуле: $v = \frac{c}{n}$,

где $c = 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$ - скорость света в вакууме,

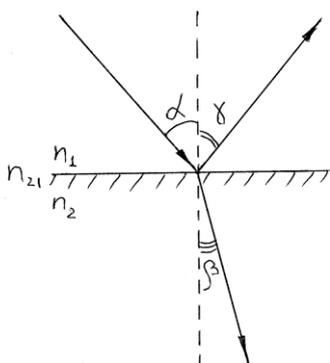
n - абсолютный показатель преломления вещества, $[n] = \text{безразмерная величина}$.

Физ. смысл n : $n = \frac{c}{v_1} = \frac{\lambda_0}{\lambda_1}$ - он показывает во сколько раз скорость света в вакууме c больше

скорости света в данной среде v_1 (или во сколько раз длина световой волны в вакууме λ_0 больше, чем в веществе λ_1).

При переходе света из одной среды в другую, его частота не изменяется.

Законы отражения света



1. Луч падающий, луч отражённый и перпендикуляр, восстановленный в точку падения к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости.
2. Угол падения α равен углу отражения γ : $\alpha = \gamma$

Законы преломления света

1. Луч падающий, луч преломлённый и перпендикуляр, восстановленный в точку падения к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости.
2. Отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления β для двух данных сред есть величина постоянная.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21},$$

где $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ - относительный показатель преломления двух сред (величина табличная)

Поляризация света

Поляризацией света называется физическая характеристика оптического излучения, которая описывает поперечную анизотропию световых волн.

Иногда поляризацией света называют процесс получения поляризованного света из естественного или частично поляризованного.

Для получения и анализа поляризованного света применяют специальные приборы: **поляризаторы** и **анализаторы**.

Поляризатором называется устройство для получения поляризованного света.

Человеческий глаз не отличает естественный свет от поляризованного, поэтому для анализа поляризации света используют устройство, называемое **анализатором**.

Анализатором называется устройство для анализа вида и степени поляризации поляризованного света.

Степенью поляризации света называется скалярная величина, равная

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

где I_{max} и I_{min} соответственно максимальная и минимальная интенсивности света, пропускаемого анализатором.

- для естественного света $I_{max} = I_{min}$ и, следовательно, $P = 0$,
- для линейно поляризованного света $I_{min} = 0$ и, следовательно, $P = 1$,
- для частично поляризованного света $I_{max} \neq I_{min}$ и, следовательно, $0 < P < 1$.

Если на анализатор падает линейно поляризованный свет интенсивностью I_p , то интенсивность света, вышедшего из анализатора I_a , можно определить по **закону Малюса**:

Интенсивность света, прошедшего через анализатор I_a , равна интенсивности линейно поляризованного света, падающего на анализатор I_p , умноженной на квадрат косинуса угла φ между плоскостью поляризации падающего на анализатор света и плоскостью пропускания анализатора

$$I_a = I_p \cos^2 \varphi$$

Угол Брюстера $\alpha_{Бр}$, при котором наблюдается линейная поляризация отражённого от границы раздела двух диэлектриков света, определяется по следующей формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_{Бр} = n_{21},$$

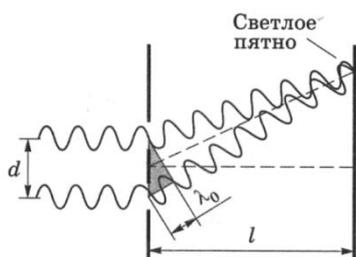
где $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ – относительный показатель преломления двух сред,

а n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления первой и второй среды соответственно.

Интерференция света

Интерференцией света называется явление устойчивого во времени усиления или ослабления света в различных точках пространства, которое происходит при наложении двух или нескольких когерентных волн.

Условие максимума при интерференции света



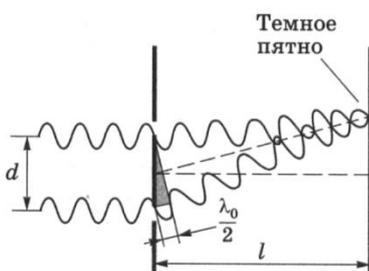
Если оптическая разность хода Δ интерферирующих лучей равна чётному числу полуволин $\frac{\lambda}{2}$, то будет наблюдаться **максимум** (в этом случае волны приходят в данную точку пространства в одинаковой фазе)

$$\Delta_{max} = 2k \frac{\lambda}{2},$$

где $\Delta = L_2 - L_1 = S_2 n_2 - S_1 n_1$ – оптическая разность хода

интерферирующих лучей, м

Условие минимума при интерференции света



Если оптическая разность хода Δ интерферирующих лучей равна нечётному числу полуволин $\frac{\lambda}{2}$, то будет наблюдаться **минимум** (в этом случае волны приходят в данную точку пространства в противофазе)

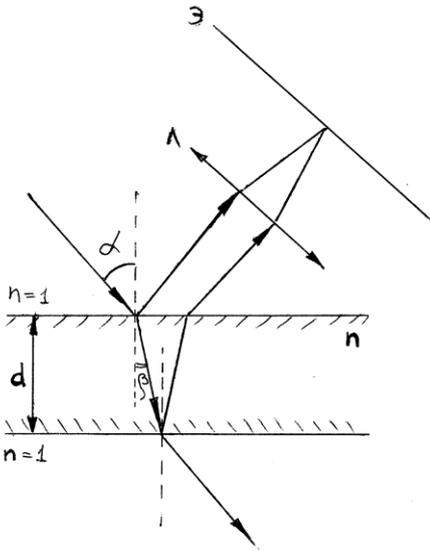
$$\Delta_{min} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2},$$

где $\Delta = L_2 - L_1 = S_2 n_2 - S_1 n_1$ – оптическая разность хода

интерферирующих лучей, м

Интерференция света в тонких плёнках

Тонкими называются плёнки, в которых возможно наблюдение интерференции света. (их толщина обычно не превышает нескольких десятков длин волн)



При падении света на тонкую прозрачную плёнку происходит отражение от обеих поверхностей плёнки. В результате возникают две световые волны, которые при определённых условиях могут интерферировать.

Оптическую разность хода двух волн при отражении от тонкой плоскопараллельной пластинки в отражённом свете можно определить по формуле

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2} = 2dn \cos \beta + \frac{\lambda}{2},$$

где

Δ - оптическая разность хода волн, м

d - толщина плёнки, м

n - показатель преломления плёнки

α - угол падения света на плёнку

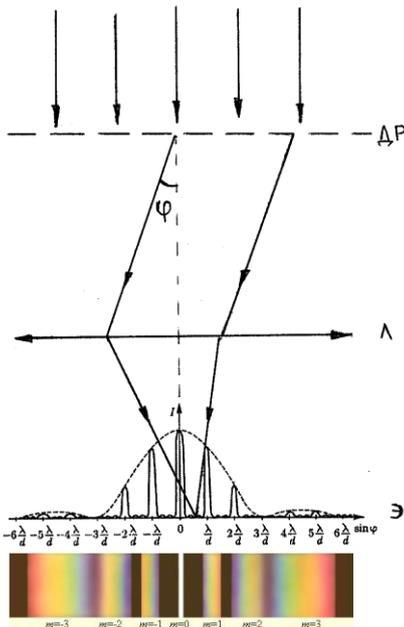
β - угол преломления света в плёнке

λ - длина световой волны, падающей на плёнку, м.

Дифракция света

Дифракцией называется явление огибания волнами препятствий, встречающихся на их пути, или в более широком смысле – любое отклонение распространения волн вблизи препятствий от прямолинейного.

Формула дифракционной решётки при нормальном падении света на решётку



$$d \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} - \text{условие главных максимумов,}$$

$$a \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} - \text{условие главных минимумов,}$$

$m = 0, 1, 2, 3, \dots$ - порядок спектра,

d - период дифракционной решётки (постоянная дифракционной решётки),

$$d = \frac{1}{N_0}, \text{ где } N_0 - \text{число штрихов на единицу длины}$$

дифракционной решётки.

φ - угол дифракции,

λ - длина световой волны.

Тепловое излучение

Тепловым называется электромагнитное излучение, обусловленное тепловым движением атомов и молекул вещества (то есть его внутренней энергией) и зависящее только от температуры и оптических свойств вещества.

Для количественной оценки процессов лучеиспускания и лучепоглощения вводятся следующие характеристики:

- **спектральная плотность энергетической светимости** (или **спектральная лучеиспускательная способность тела**) $r_{\lambda,T}$ (или $r_{\nu,T}$) - величина, равная отношению энергии dW , которую излучает поверхность площадью dS за время dt в интервале длин волн $d\lambda$ (или частот $d\nu$).

$$r_{\lambda,T} = \frac{dW}{dS \cdot dt \cdot d\lambda}, \quad [r_{\lambda,T}] = \frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot \text{м}^3} \equiv \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3}.$$

или

$$r_{\nu,T} = \frac{dW}{dS \cdot dt \cdot d\nu}, \quad [r_{\nu,T}] = \frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \frac{1}{\text{с}}} \equiv \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}.$$

- **энергетическая светимость** R_T (или **интегральная лучеиспускательная способность тела**) - величина, равная отношению энергии dW , которую излучает поверхность площадью dS за время dt во всём интервале длин волн $0 < \lambda < \infty$ (или частот $0 < \nu < \infty$):

$$R_T = \frac{dW}{dS \cdot dt}, \quad [R_T] = \frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot \text{м}^2} \equiv \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Закон Стефана-Больцмана для теплового излучения абсолютно чёрного тела

Экспериментально зависимость энергетической светимости R_T абсолютно чёрного тела от его абсолютной температуры T была установлена Стефаном (1879 г), а теоретически - Больцманом (1884 г).

Закон Стефана-Больцмана:

энергетическая светимость абсолютно чёрного тела прямо пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры

$$R_T = \sigma T^4,$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$ - постоянная Стефана-Больцмана, T - абсолютная температура тела, К .

Законы Вина для теплового излучения абсолютно чёрного тела

Закон смещения Вина:

Длина волны λ_{\max} , на которую приходится максимум теплового излучения абсолютно чёрного тела, обратно пропорциональна его абсолютной температуре T :

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T},$$

где $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ - постоянная Вина, T - абсолютная температура тела, К .

Второй закон Вина

Величина максимального значения спектральной плотности энергетической светимости абсолютно чёрного тела $r_{\lambda,T}^{\max}$ прямо пропорциональна пятой степени его абсолютной температуры T :

$$r_{\lambda,T}^{\max} = CT^5,$$

где $C = 1,30 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}^5}$ - постоянная Вина, T - абсолютная температура тела, К .

Внешний фотоэффект

Внешним фотоэффектом называется явление вылета электронов с поверхности твёрдых и жидких веществ под действием электромагнитного излучения.

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2},$$

где $E_{\phi} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ - энергия фотона, Дж или эВ. эВ – электрон-вольт; $1 \text{ эВ} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$,

$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ - постоянная Планка, $[\nu] = \text{Гц}$ - частота падающего света, $[\lambda] = \text{м}$ - длина волны

падающего света, $c = \lambda\nu = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - скорость света в вакууме, $T_{\text{max}} = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$ - максимальная

кинетическая энергия вылетающих фотоэлектронов, Дж или эВ, $m = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ – масса электрона, v_{max} - максимальная скорость вылетающих фотоэлектронов, м/с.

$A_{\text{вых}}$ - работа выхода электрона из поверхности вещества, Дж или эВ.

Фотоэффект можно прекратить, приложив к веществу **запирающее (или задерживающее) напряжение** $U_{\text{зан}}$, которое можно найти по формуле:

$$|e|U_{\text{зан}} = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2},$$

где $U_{\text{зан}}$ - запирающее напряжение в В; $e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ – заряд электрона.

У каждого вещества существует, так называемая, **красная граница фотоэффекта**, то есть минимальная частота $\nu_{\text{кр}}$ (или максимальная длина $\lambda_{\text{кр}}$) световой волны, при которой ещё возможен фотоэффект.

Красную границу фотоэффекта можно найти по формуле:

$$\begin{cases} h\nu_{\text{кр}} = A_{\text{вых}} \\ \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} = A_{\text{вых}} \end{cases}$$