Оптика.

Салецкий Александр Михайлович.

1. Введение.

Оптика. Что это такое. От греч optos – видимый. В общем случае, оптика рассматривает распространение световых волн и взаимодействие излучения с веществом. Длина волны меряется в микронах (микрометрах). Обозначение длины волны -- λ .
Микрон - 10^{-6} , нанометры, ангстремы – соотв. 10^{-9} и 10^{-10} метра.
Есть Великий Диапазон Частот.

Есть Геометрическая, Физическая и Физиологическая оптики. Физиологическая оптика – воздействие света на человека. Мы занимаемся физический оптикой, а именно: квантовая оптика, силовая, нелинейная (несколько лекций), статистическая оптика. Кристалло- и молекулярная. Мы изучим нелинейную, квантовую, молекулярную, а также волновую. Рассмотрены волны, интерференция, дифракция, далее будут кристаллооптика, среды (отражения на границе), лазеры.

Список литературы

1. Лансберг. Оптика.
2. Матвеев. Оптика.
3. Сивушник.
4. Ахманов, Никитин.
5. Борн Вольф. Основы оптики.
6. Гаджаева. Оптика.
7. Краунфорд.

2. Свойства световых волн.

1. Основы классической теории света. Уравнения Максвелла.

$$rot\, H = j \frac{\partial B}{\partial t}$$
$$rot\, E = \frac{\partial B}{\partial t}$$
$$div\, E = 0$$
$$div\, B = \rho$$

, причем $j = \lambda E$, $B = \mu H$, ...
$D = \varepsilon_0 E + P$, а $P = \varepsilon_0 (\lambda_1 E + \lambda_2 E^2 + ...)$ *. Да, именно так, P зависит от E нелинейно.*
Все это верно для макрополей. Внутри атома все не так.
Внутри атома напряженность легко оценивается: примерно $1.6\, 10^{11}$ *В/м.*
Если создаваемые поля выше этой величины, то P начинает зависеть от E нелинейно.

2. Волновое уравнение.

Если есть функция, зависящая от координаты и времени, $f(x,t) = f(t - x/v)$. Тогда
$\frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = \gamma^2 \Delta f = \gamma^2 \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}$, это хорошо известный (читай: очевидный) факт.
Докажем, что свет распространяется волнообразно..

$rot\,rot\,E = grad\,div\,E = \Delta E.$

$rot\,rot\,E = -\mu\,rot\,\frac{dH}{dT} = (j=0,\ \rho=0) = \ldots - \mu\,\varepsilon\,d^2\frac{E}{dt^2}$. Итак,

$\mu\,\varepsilon\,d^2\frac{E}{dt^2} = \Delta E$, или же

$d^2\frac{E}{dt^2} = v^2\,\Delta E$.Отсюда получается, что

$\frac{1}{mu}\varepsilon = c^2$. Итак, распространение света происходит волнообразно.

3 Классификация волн.

Перепишем уравнение. $\Delta f - \frac{1}{v^2}d^2\frac{f}{dt^2} = 0$

Плоские волны. Совокупность точек с одинаковой фазой есть плоскость.

Возмущение волны гармоническое. $f = A\cos(\omega t + \phi)$, здесь w суть частота, $w = 2\frac{\pi}{T}$. Но возмущение зависит и от координаты. $f = A\cos(\omega t - k r + \phi)$, $k = \frac{\omega}{v} = 2\frac{\pi}{\lambda}$. A есть амплитуда волны.

У плоских волн r суть координата по прямой. k есть скаляр, но вводят и одноименный вектор, направленный перпендикулярно плоскости волны.

Сферические волны. Здесь r – расстояние до источника.

$E = E_0\exp(-i(\omega t - kr))$

4. Свойства плоских волн.

Легко получить, что $\vec{k}$ перпендикулярен $\vec{E}$ и $\vec{B}$. Также получается (из уравнений Максвелла), что $\sqrt{(\varepsilon)}E = \sqrt{(\mu)}H$.

Поляризация света.

Мы получили, что Е и Н колеблются перпендикулярно. Но вектор Е может иметь разные направления. Говорят о неполяризованном свете, если нет выделенного направления Е, Если же У направлен только в одну сторону, говорят о линейно поляризованном свете. Если же проекция вектора У эллипс (а не линия, как тольк что), говорят об эллиптической (циркулярной) поляризации.

5. Энергетические характеристики света.

Плотность потока энергии. $W = \frac{1}{2}(\varepsilon E^2 + \mu H^2)$. Тогда

$\frac{dw}{dt} = \varepsilon E\frac{dE}{dT} + \mu H\frac{dH}{dT} = (\text{максвелл}) = E\,rotH - H\,rot\,E = div\,H\,E$

Вводят $S = [E\,x\,H]$, $S \| k$. $\frac{dw}{dt} = -div\,S$. x S характеризует распространение энергии в пространстве. Если $E = E_0\cos(\omega t - kz)$, $H = E_0\sqrt{(\frac{\varepsilon}{\mu})}\cos(\omega t - kz)$, тогда

$S = \sqrt{(\varepsilon/\mu)}\cos^2(\omega t - kz)$. Отсюда следует, что вектор *S* имеет в два раза большую частоту.

Интенсивность света исчисляется как $I = 1/srqt(\varepsilon/\mu)A^2$, так как $I = \frac{1}{T}\int_0^T s\,dt$.

10. О спектрах

Интеграл фурье $f(t)=\frac{1}{pi}\int_{o}^{inf} a(w)+b(w)dw$. $a(w)=\int_{-inf}^{inf} f(t)\cos(wt)dt$

$b(w)=\int_{-inf}^{inf} f(t)\sin(wt)dt$. Можно выписать в комплексном виде, ввести спектральную амплитуду. $f(w)=a(w)-i\,b(w)$. $fi(w)=atan(b\frac{(w)}{a}(w))$, отсбда получим интергалы Фурье: $f(t)=¿$

$f(t)=f_0^{t/tau}\cos(w_0\,t)$ Вопрос каков спектр излучения? Подставим в преобразование Фурье. $f(iw)=q/spi\int_{-i}^{+i} e^{-2\,delta\,t}(e^{iwt}-e^{-iwt})e^{-iwt}=\frac{f_0}{4\mathrm{delta}^2}\frac{delta^2}{(omega-omega_0)^2+delta^2}$. Оценим частотный ди $1/2=delta^2/(2\Delta)^2/4+\delta^{2,}$ *значит*$,\Delta w=2\,\delta$.

Введем спектральную плотность набор частот диапозона от w до dw .

$S(w)=|f(iw)^2|/pi\,\tau_{набл}$.

Замечание. Под спектром в экспериментах понимают величину $I(w)$.

3. Интерференция света.

§1. Введение

Интерференция проявляет волновые свойства света. При наблюдении интерференции необходимо наложить одну волну на другую. Всегда можно изверить тольуо средние величины, также и тут.

Определение. Явление наложения волн, проводящее к перереасределению энергии светового поля в пространстве носит название *интерференции*.

Пусть накладываются волны E_1 и E_2 . Тогда

$I=\langle E^2\rangle=\langle E_1^2+E_2^2+2\,E_1\,E_2\rangle=I_1+I_2+2\,\langle E_1\,E_2\rangle$. Только если $\langle 2\,E_1\,E_2\rangle\neq 0$, то есть перераспределение, поэтому эта величина называется интерфеционный членом.

Можно говорить о многоволновой интерференции.

2. Интерференция монохроматического света.

Пусть есть два источника света, происходит излучение, наблюдаем все на экране. Есть расстояния от точки экрана до источников - r_{12} . Тогда $E_{12}=A\cos(w\,t-k\,r_{12}+fi_{12})$ - уравнения обеих волн.

$E=E_1+E_2=A\cos((wt-kr_1+fi_1)+\cos(wt-kr_2+fi_2))=2\mathrm{A}(\cos((wt+fi_1+fi_2-kr_2-r_1)/2)+\cos(...))$

$A=2\mathrm{A}\cos(k*\Delta r/2+\Delta\,fi/2)=2\mathrm{A}\cos(k*\Delta\,r/2)$.

$I=4\mathrm{I}_0\cos^2(kdr/2)=2\,I_0(1\,-\cos^2(k\Delta))=2\,I_0(1\,-\cos^2(2\,pi/lambda\,\Delta))$. Поэтому условие максимума: $\Delta=\lambda\,n$, минимума - $\Delta=(n+1/2)\lambda$. Итак, должно быть чередование света и тьмы.

Те волны, у которых $\Delta\,\phi=const$ называют когерентными.

Пусть теперь амплитуды разные. $I=A_1^2+A_2^2-2\mathrm{A}_1\,A_2\cos(2\,\pi\,n)$.

Вычислим, наконец, координаты светлых и темных полос. До экрана *L*, между источниками *d*, координата пробной точки – *x*. Тогда

$r_1 = \sqrt{(L^2 + (x - d/2)^2)}$

$r_1 = \sqrt{(L^2 + (x + d/2)^2)}$. Итак, $I = 2\ I_0\,(1 + \cos(kdx/L))$.

$\Delta r \approx 2\ d\ x$

Определим ширину полосы $k\ d\ b/L = 2\ \pi/\lambda\ d\ b/L = 2\ \pi$, значит, $b = \lambda\ L/d$

§3. Интерференция квазимонохроматического света

Пусть источники света не монохроматические. Что изменится, если в спектре источника есть две волны? Тогда $E_{12} = A cos(w_{12}\ t - k_{12}\ r_{12} + fi_{12})$. Суммарная интенсивность $I(l1, l2) = 2\mathrm{I}_0(1 + \cos(k_1\Delta) + 1\ + \cos(k_2\Delta)) = 2\mathrm{I}_0\,(2 + 2\cos(\Delta(k_1 + k_2))\cos(\Delta(k_1 - k_2)))$.Начнем увеличивать число длин волн. От каждой волны будет наблюдаться картина, так что соседние максимумы будут перекрываться. Картина размоется. $m_{max} = \lambda/\Delta\lambda$ - максимальный порядок интерференции. $l_{ког} = m_{max}\lambda$ - максимальная разность хода, оно же длина когерентности.