Л/к № 3. **Взаимодействие электромагнитных световых волн с веществом** (04.03.14)

1. Возбуждение вторичных электромагнитных волн.
2. Поглощение света. Закон Бугера – Ламберта. Резонансное поглощение света.
3. Рассеяние света. Закон Рэлея.
4. Дисперсия света. Дисперсионные спектры.
5. Основы классической электронной теории дисперсии.
6. Волновой пакет. Групповая скорость световой волны. Связь между фазовой и групповой скоростями.

1. **Возбуждение вторичных электромагнитных волн.**

Распространяясь в веществе электромагнитное поле световой волны вызывает вынужденные колебания связанных зарядов (электронов, ионов). Колеблющиеся с частотой вынуждающей силы заряды являются *источником вторичных волн*. Если среда однородна и изотропна, то в результате наложения первичной и вторичной волн *образуется проходящая волна, фазовая скорость которой зависит от частоты.*

Если в среде имеются неоднородности, то дополнительно происходит *рассеяние света.*

На границе раздела двух сред в результате интерференции первичной и вторичной волн образуется *отраженная и преломленная волна*.

Прохождение света через вещество также сопровождается *поглощением света.*

2. Поглощение света. Закон Бугера – Ламберта. Резонансное поглощение света.

Поглощение света в веществе – преобразование энергии электромагнитного поля волны в тепловую энергию вещества (или в энергию вторичного фотолюминесцентного излучения).

Закон поглощения света (закон Бугера): $I = I_0 e^{-\alpha x}$

где I_0, I - интенсивности света на входе ($x = 0$) и выходе из слоя среды толщины x, α - коэффициент поглощения, зависящий от длины волны или частоты света.

Физический смысл **α – численно равен величине, обратной толщине слоя, при прохождении которого свет ослабляется в е раз.**

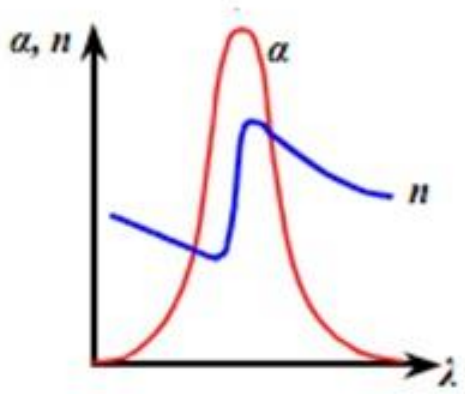
Для диэлектриков $\alpha = 10^{-1}$, 10^{-5} м$^{-1}$, для металлов $\alpha = 10^{5}$, 10^{7} м$^{-1}$, поэтому металлы непрозрачны для света.

2. Поглощение света. Закон Бугера – Ламберта. Резонансное поглощение света

Физические процессы, приводящие к поглощению:

1. Энергия падающей волны идет на излучение вторичных волн. Излучение вторичных волн является причиной рассеяния энергии падающей волны. Причем затухание будет тем больше, чем больше интенсивность излучения, т. е. чем больше амплитуда вынужденных колебаний, достигающая наибольшего значения при $\omega \to \omega_0$. *Максимальное поглощение* соответствует той частоте ω, которая совпадает с частотой собственных колебаний.

2. При соударении атомов колебательная энергия может переходить в энергию поступательного движения столкнувшихся атомов, т.е. в тепло. Этот процесс поглощает особенно много энергии в том случае, когда в системе возбуждены колебания с частотой $\omega = \omega_0$.

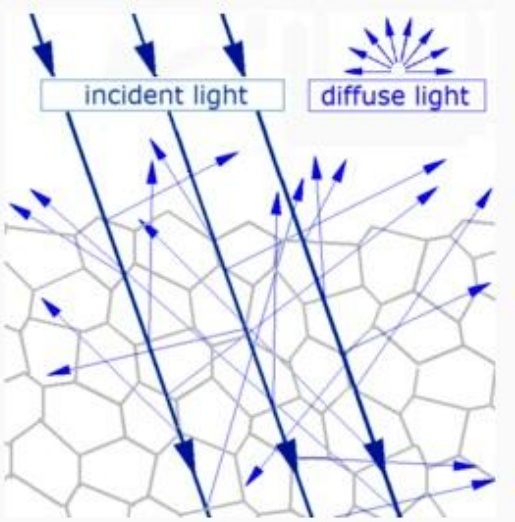


Показана типичная *зависимость коэффициента поглощения* a *от длины волны света* λ и *зависимость показателя преломления* n *от* λ в области полосы поглощения.

Внутри полосы поглощения наблюдается *аномальная дисперсия.*

Зависимостью коэффициента поглощения от длины волны объясняется окрашенность поглощающих тел.

3. Расс Закон Рэлея.



Рассеяние света **на объектах, размеры которых меньше его длины волны.**

Дифрагируя на неоднородностях среды (дым, туман, запыленный воздух и т.п.) или флуктуациях плотности, анизотропии, концентрации среды, световые волны создают дифракционную картину, характеризующуюся равномерным распределением интенсивности по всем направлениям.

Если размеры неоднородностей a малы по сравнению с длиной волны λ ($a \leq 0{,}1\lambda$), то *интенсивность рассеянного света*

$$I_{\text{расс}} \sim 1/\lambda^4$$ **–закон Релея**

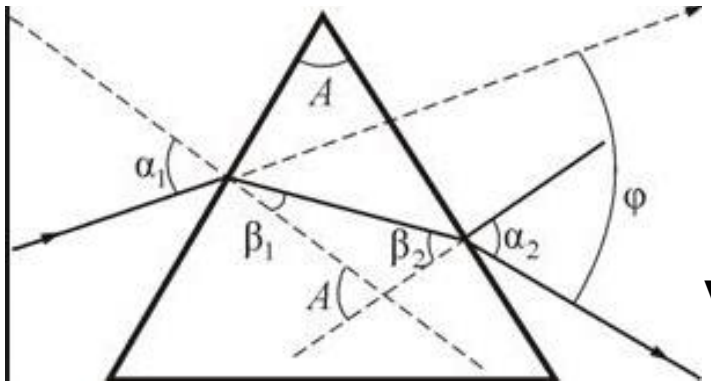
Почему небо синее?

4. Дисперсия света. Дисперсионные спектры.

- **Дисперсия – явление разложения белого света в спектр.**
- **Белый свет – сложный, состоит из монохроматических цветов.**
- **Показатель преломления среды зависит от цвета света (фиол., красн.)**
- **показатель преломления света в среде зависит от его частоты.**

- Дисперсия света – это зависимость абсолютного показателя преломления от частоты колебаний (длины волны) света.

4. Дисперсия света. Дисперсионные спектры.



$$\varphi = (\alpha_1 - \gamma_1) + (\alpha_2 - \gamma_2) = \alpha_1 + \alpha_2 - A$$

$$\frac{\alpha_1}{\gamma_1} = \frac{n}{1} \quad \text{и} \quad \frac{\gamma_2}{\alpha_1} = \frac{1}{n}$$

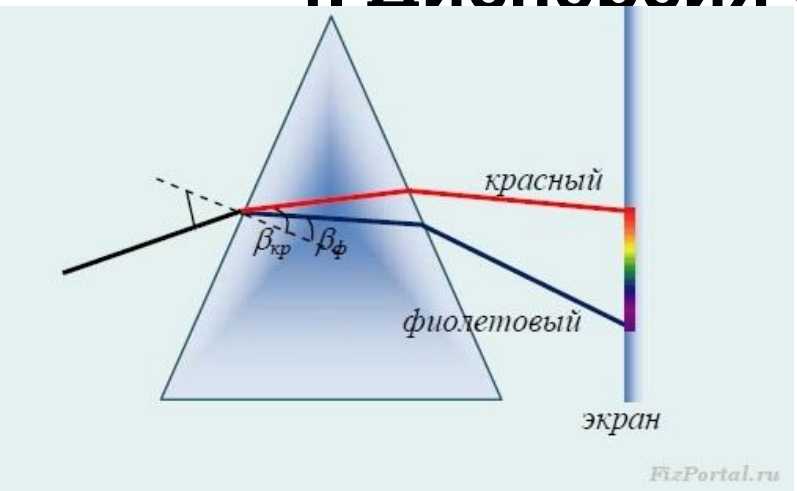
$\gamma_1 + \gamma_2 = A$, $\alpha_2 = \gamma_2 n = n(A - \gamma_1) = n(A - \alpha_1/n) = nA - \alpha_1$

Откуда $\alpha_1 + \alpha_2 = nA$.

Поэтому $\varphi = A(n - 1)$ — ***угол отклонения лучей призмой тем больше, чем больше преломляющий угол призмы***

Дисперсия – нормальная **(или отрицательная) : $dn / d\lambda < 0$**

4. Дисперсия света. Дисперсионные спектры.



Получение дисперсионного спектра с помощью призмы

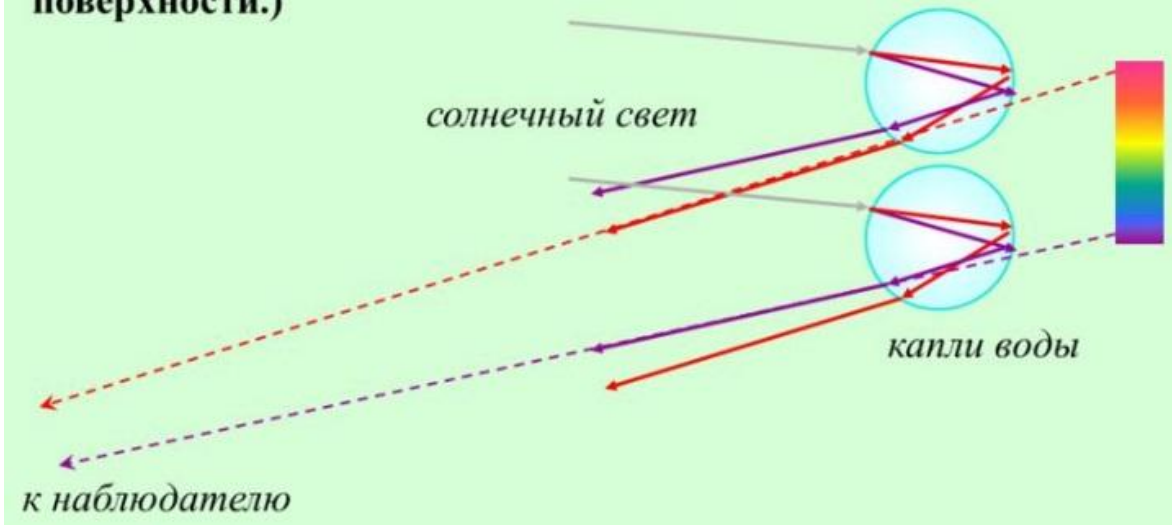
- ***Показатель преломления среды зависит от цвета света: лучи красного света в любой среде преломляются слабее, чем все остальные .***
- ***При выходе из призмы белый свет разлагается на семь цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. Меньше всех отклоняется красный свет, больше - фиолетовый.***
- ***Свет с разными длинами волн распространяется в среде с разными скоростями: фиолетовый с наименьшей, красный - наибольшей, так как n = c/v .***

Таким образом, с помощью призмы, как и с помощью дифракционной решетки, можно получить спектр некоторого излучения. В дисперсионном и дифракционном спектрах имеются различия: 1) для дифракционного спектра можно создать равномерную шкалу по α. А так как функция $n = f(\lambda)$ не линейная, то для дисперсионного спектра этого сделать нельзя, дисперсионный спектр не равномерный, он сжат в красной области и растянут в фиолетовой; 2) в дисперсионном спектре большее отклонение от первоначального направления испытывают фиолетовые лучи, в дифракционном — красные; 3) в дифракционном спектре наблюдается несколько порядков спектра, в дисперсионном — один.

РАДУГА

Дисперсия света

Пример дисперсии света – радуга. (Разложение света в спектр происходит из-за преломления лучей сферическими капельками воды и отражения от их внутренней поверхности.)



5. Основы классической электронной теории дисперсии.

В электронной теории Лоренца *дисперсия света* – *результат взаимодействия электромагнитной волны с заряженными частицами, входящими в состав вещества, и совершающими вынужденные колебания в переменном электромагнитном поле волны.*

$$\varepsilon = 1 + x = 1 + P/(\varepsilon_0 E),$$

где x – диэлектрическая восприимчивость вещества

$$n^2 = 1 + P/(\varepsilon_0 E)\text{, т.к. } n = \sqrt{\varepsilon\mu}$$

Основное значение при этом имеет *электронная поляризация*, т.е. вынужденные колебания электронов под действием электрической составляющей поля волны. Пусть вынужденные колебания совершают только внешние, наиболее слабо связанные с ядром электроны - *оптические электроны*.

5. Основы классической электронной теории дисперсии.

Пусть колеблется один оптический электрон. *Наведенный дипольный момент электрона*, совершающего вынужденные колебания:

$p = ex$, **где** e **- заряд электрона,** x **- смещение электрона под действием электрического поля световой волны.**

$$P = n_0 p = n_0 ex$$

$$n^2 = 1 + {n_0 ex}/{(E\varepsilon_0)}$$

Поле оптической волны $E = E_0 \cos \omega t$

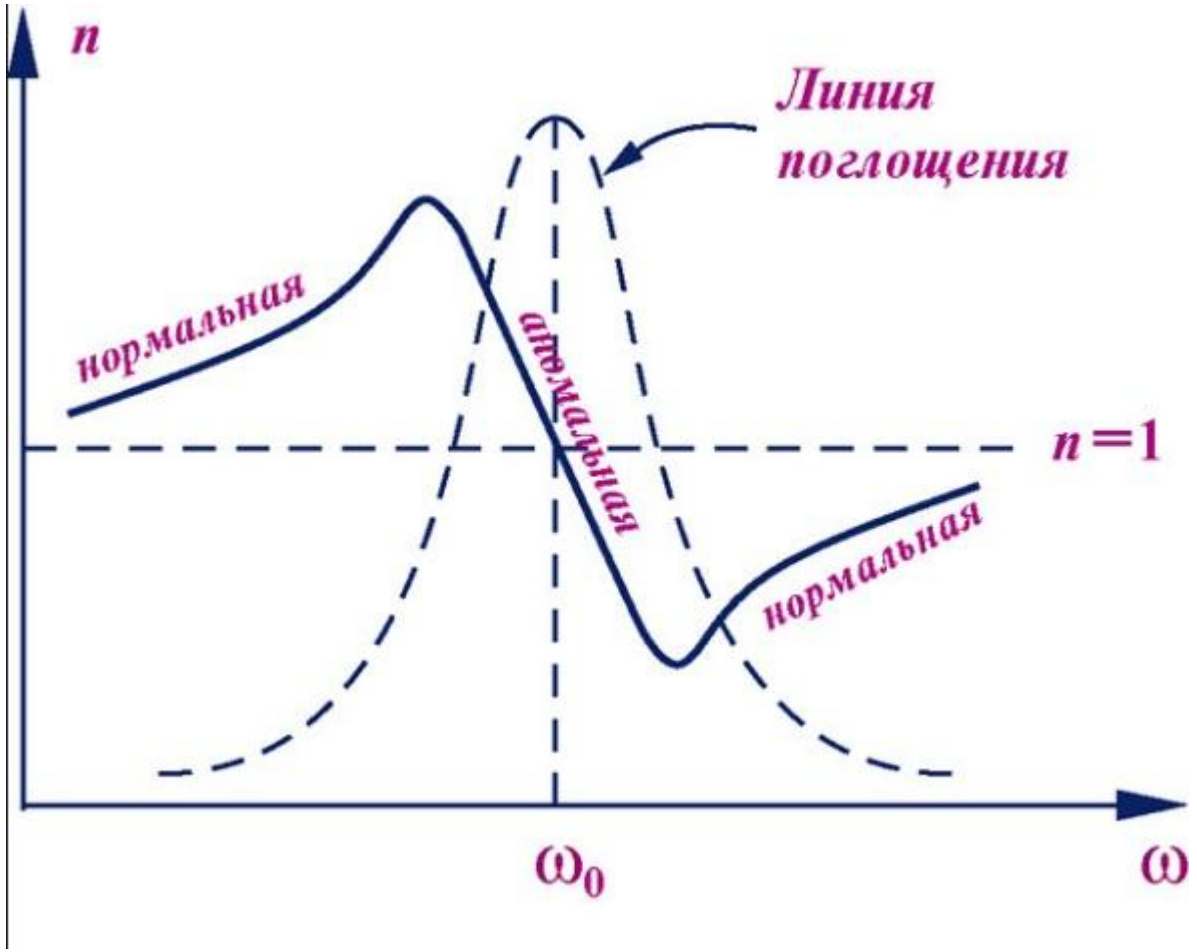
Уравнение *вынужденных колебаний электрона* $x'' + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t$,

где F_0 **- амплитудное значение силы, действующей на электрон со стороны поля волны,** $\omega_0 = \sqrt{{k}/{m}}$ **- собственная частота колебаний электрона**

Решение уравнения: $x = A \cos \omega t$, **где** $A = \frac{eE_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}$

$$n^2 = 1 + \frac{n_0 e}{\varepsilon_0 m} \frac{1}{(\omega_0^2 - \omega^2)} \qquad (n^2 = 1 + \frac{n_0}{\varepsilon_0} \sum_i \frac{{e_i^2}/{m}}{\omega_a^2 - \omega^2})$$

5. Основы классической электронной теории дисперсии.



6. Волновой пакет. Групповая скорость световой волны. Связь между фазовой и групповой скоростями.

$$U = \frac{dx}{dt} = \lim\left(\frac{\omega - \omega_o}{k - k_o}\right)_{k \to k_o} = \frac{\partial \omega}{\partial k}$$

$$U = \frac{\partial \omega}{\partial k} = \frac{\partial (vk)}{\partial k} = V + k\frac{\partial V}{\partial k}$$

$$U = v - \lambda \frac{\partial v}{\partial \lambda}$$ **Формула Рэлея**

6. Волновой пакет. Групповая скорость световой волны. Связь между фазовой и групповой скоростями.

1) Если $\frac{\partial v}{\partial \lambda} = 0$, **т.е. v = const (*отсутствует дисперсия*), то U = v, т.е. фазовая и групповая скорости совпадают.**

2) $\frac{\partial v}{\partial \lambda} > 0$, **то U < v – реализуется в средах с *нормальной дисперсией*, т. к. при** $\frac{\partial v}{\partial \lambda} > 0$, $\frac{\partial n}{\partial \lambda} < 0$, $\left(\frac{\partial V}{\partial \lambda} = -\frac{c}{n^2}\frac{\partial n}{\partial \lambda} \right)$,

формула Рэлея:

$$U = v + \frac{\lambda \cdot c}{n^2}\frac{\partial n}{\partial \lambda}$$

3) Если $\frac{\partial v}{\partial \lambda} < 0$, **а** $\frac{\partial n}{\partial \lambda} > 0$, **то U > v (*аномальная дисперсия*) –** ***поглощение света*** **длины волны λ веществом, через которое он проходит.**