

*ОБЩАЯ ФИЗИКА
ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ
ЛЕКЦИЯ №8
ДИСПЕРСИЯ СВЕТА*

(Для студентов элитного технического отделения ЭТО-2)





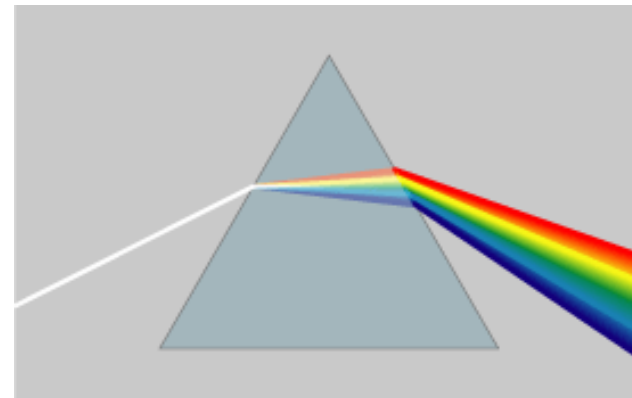
Содержание лекции

- 1. Понятие о дисперсии света.
Нормальная и аномальная дисперсия
- 2. Классическая теория дисперсии света
- 3. Фазовая скорость. Волновой пакет.
Групповая скорость
- 4. Поглощение света. Закон Бугера –
Ламберта
- 5. Рассеяние света

Явление дисперсии



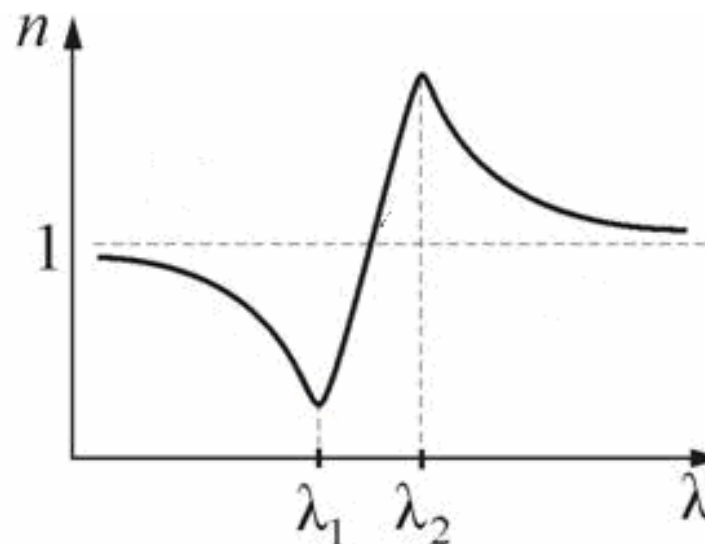
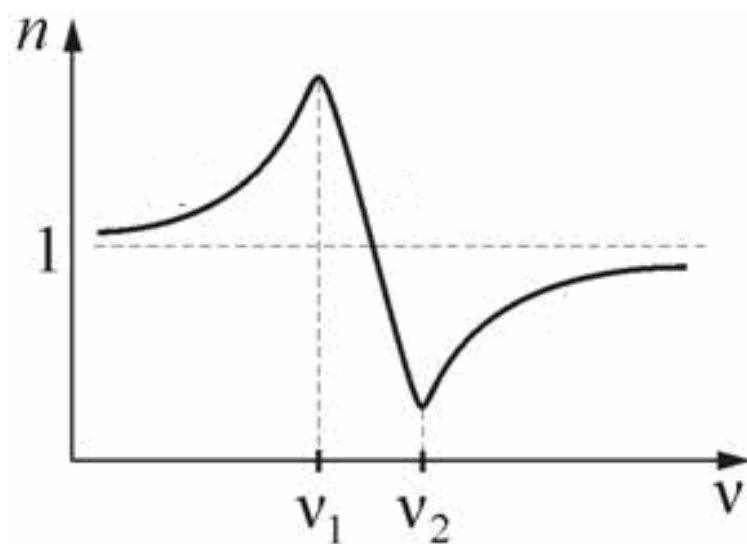
Дисперсия света - явления, обусловленные зависимостью показателя преломления вещества от длины волны (или частоты)



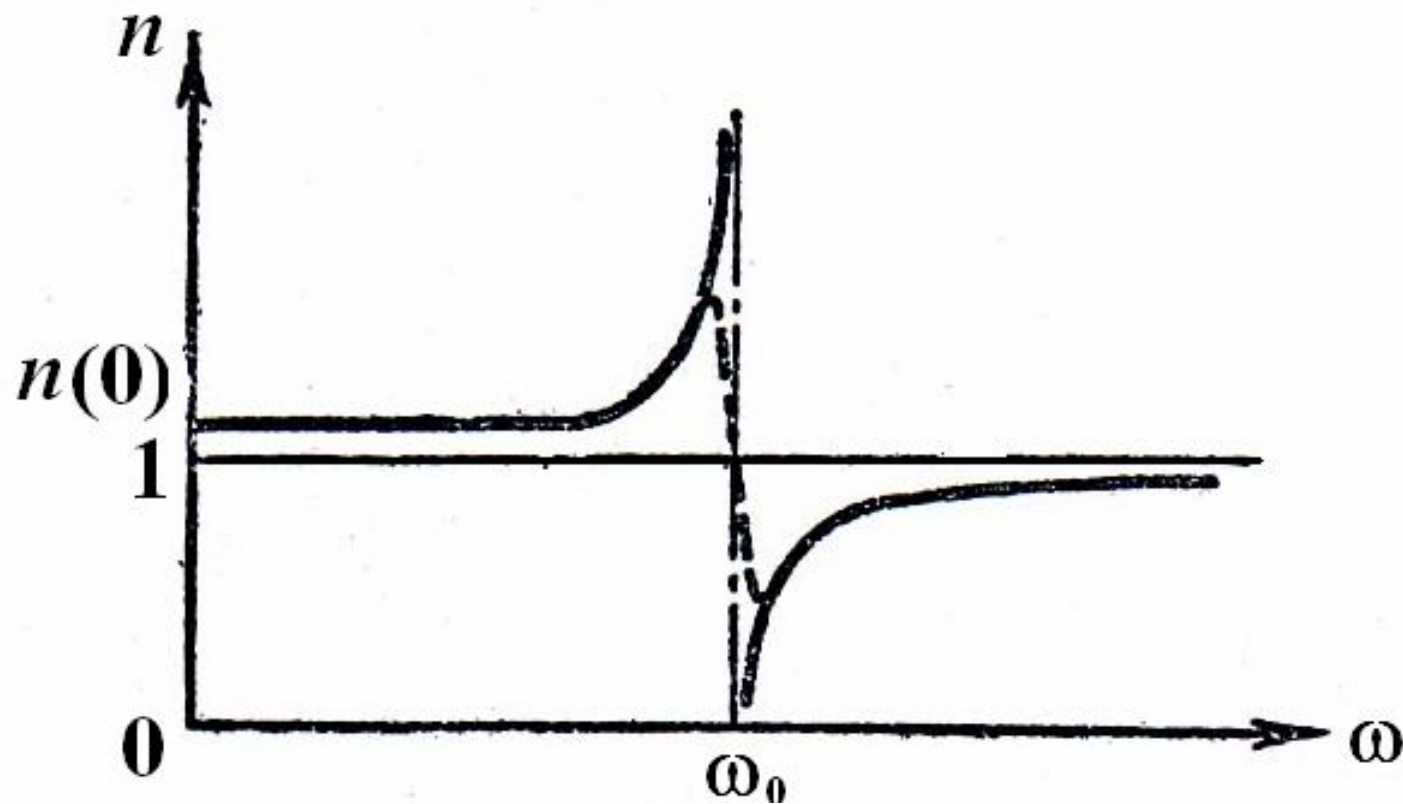
Дисперсией света в среде называется нормальной, если с ростом частоты или уменьшением длины волны абсолютный показатель преломления среды возрастает.

Дисперсия света в среде называется аномальной, если с ростом частоты абсолютный показатель преломления среды уменьшается. Аномальная дисперсия имеет место в тех областях частот, где имеет место интенсивное поглощение света.

Нормальная и аномальная дисперсия



Теоретическая зависимость показателя преломления от частоты электромагнитной волны



Классическая дисперсия света



Согласно электронной теории вещества Лоренца вещество рассматривается как система электрических зарядов (положительных ионов и электронов). При действии электромагнитной световой волны вследствие очень высокой частоты за изменением поля успевают «следить» только частицы, обладающие очень малой массой (электроны).

Получим зависимость показателя преломления от частоты излучения.

Дипольный упругий момент атома для однородной среды:

где n_0 – число атомов в единице объема.

$$\varepsilon = 1 + \chi \quad P = \chi \varepsilon_0 E \quad \chi = \frac{P}{\varepsilon_0 E} \quad \varepsilon = 1 + \frac{P}{\varepsilon_0 E} \quad P = -exn_0,$$

$$n = \sqrt{1 + \frac{P}{\varepsilon_0 E}}$$

Для прозрачных веществ на электрон, если пренебречь силами сопротивления, действуют две силы:



1) вынуждающая сила, под действием которой электрон совершает вынужденные гармонические колебания и излучает вторичные электромагнитные волны

$$F = -eE = -eE_0 \cos \omega t$$

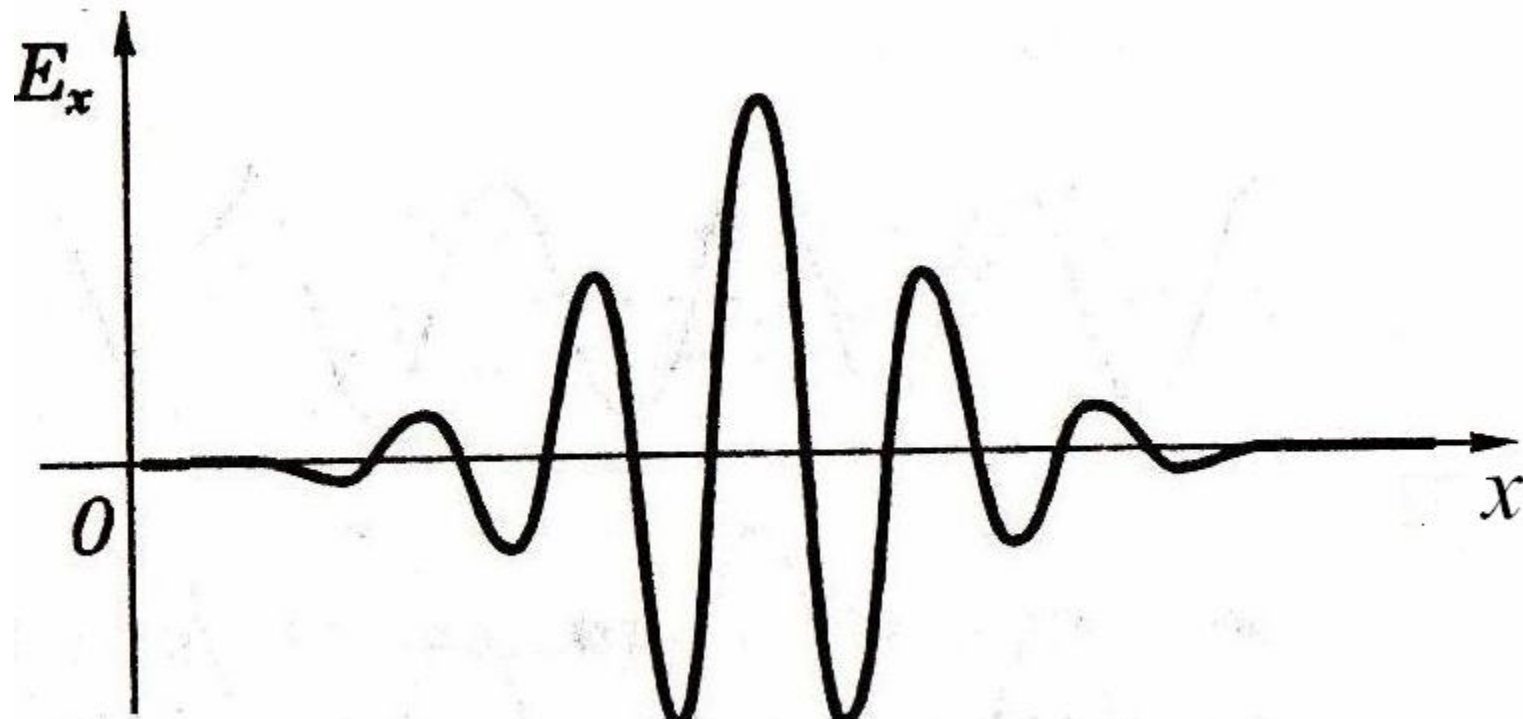
2) квазиупругая сила взаимодействия электрона с остальной частью атома

$$F_B = -kx \quad k = m\omega_0^2 \quad F_B = -m\omega_0^2 x$$

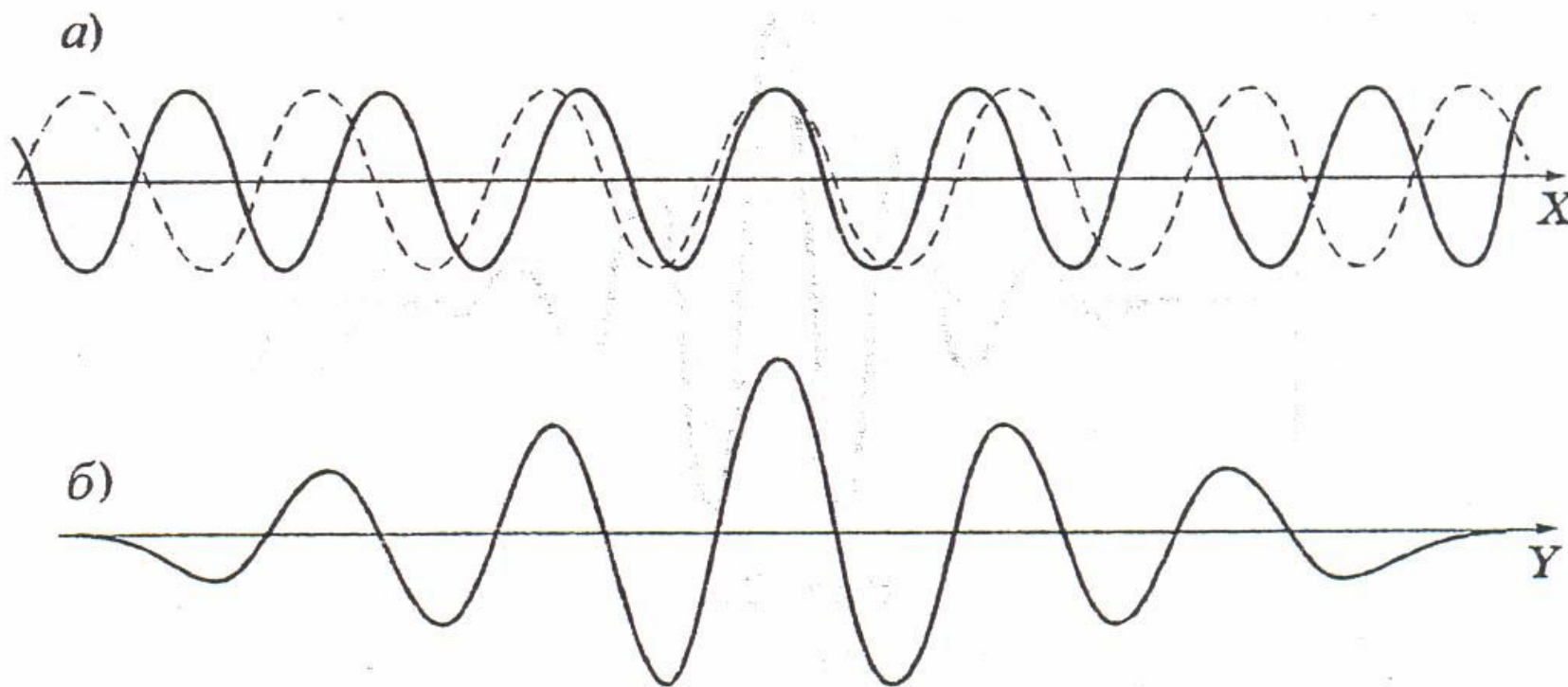
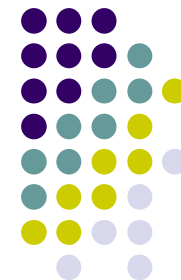
$$m\ddot{x} = -m\omega_0^2 x - eE_0 \cos \omega t$$

$$x = -\frac{eE}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \quad n = \sqrt{1 + \frac{n_0 e^2}{m\epsilon_0(\omega_0^2 - \omega^2)}}$$

Волновой пакет



Волновой пакет



Групповая и фазовая скорость



Запишем уравнение волны в виде

$$\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + \alpha = \text{const} \quad dt - \frac{1}{v} dx = 0 \quad E = A \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + \alpha\right] \quad v = \frac{dx}{dt}$$

скорость перемещения точек, имеющих одинаковую фазу, или скорость перемещения фазы. Ее называют фазовой скоростью.

$$E = A \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + \alpha\right] A \cos(\omega t - kx + \alpha) \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v} \quad \omega dt - k dx = 0$$
$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{k}$$

Волновой пакет. Любая реальная волна может быть представлена как суперпозиция монохроматических волн с различными амплитудами и частотами в некотором интервале. Суперпозицию волн, мало отличающихся друг от друга по частотам называют волновым пакетом или группой волн.

Пусть уравнения двух монохроматических волн имеют вид

$$E_1 = A \cos(\omega t - kx) \quad E_2 = A \cos[(\omega + d\omega)t - (k + dk)x]$$

В результате их образуется суммарная волна

$$E = 2A \cos \frac{td\omega - xdk}{2} \cos(\omega t - kx)$$

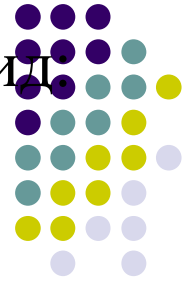
$$A_0 = \left| 2A \cos \frac{td\omega - xdk}{2} \right| \quad td\omega - xdk = 0$$

$$x = \left(\frac{d\omega}{dk} \right) t$$

Выражение в скобках и есть групповая скорость.

$$v_{\text{гр}} = \frac{d\omega}{dk} = \frac{d(vk)}{dk} = v + k \frac{dv}{dk} \quad dk = -\frac{2\pi}{\lambda^2} d\lambda$$

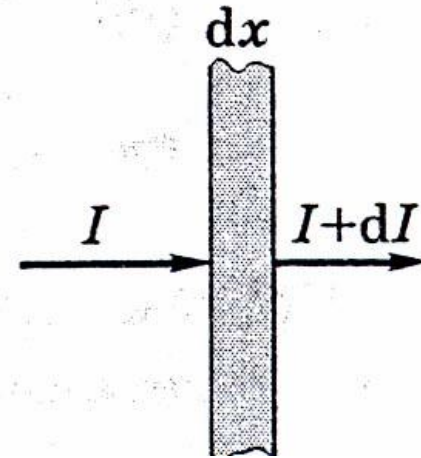
$$v_{\text{гр}} = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda} \quad \text{Формула Рэлея}$$



ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА

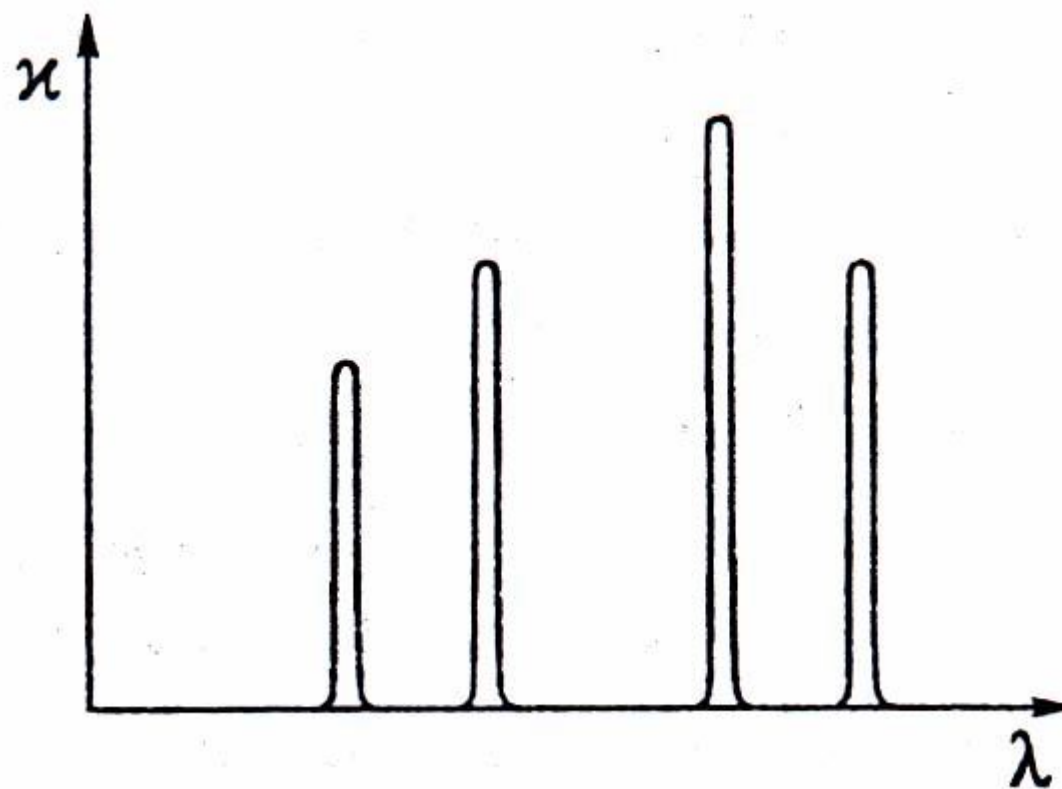
При прохождении электромагнитной волны через вещество ее интенсивность уменьшается. Это явление связано с поглощением (абсорбцией) света.

$$dI = -\alpha I dx \quad \frac{dI}{I} = -\alpha dx \quad I = I_0 e^{-\alpha x}$$

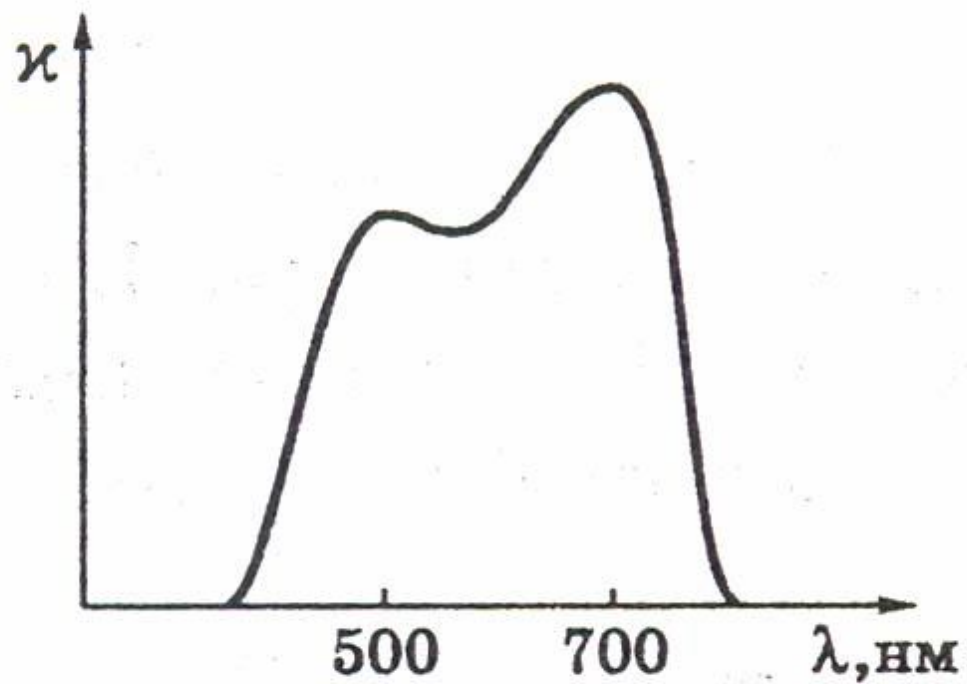


В 1940 г. Фабрикант показал, что при определенных неравновесных условиях коэффициент поглощения становится отрицательным и интенсивность света при прохождении через среду увеличивается. Это явление используется в лазерах.

Поглощение в газах



Поглощение в диэлектриках



Рассеяние света



С классической точки зрения рассеяние света состоит в том, что электромагнитные волны, проходя через вещество, вызывают колебания электронов в атомах.

Объяснение: если размеры частицы малы, то электроны, совершающие вынужденные колебания в атомах, эквивалентны колеблющемуся диполю. Этот диполь колеблется с частотой падающей на него световой волны. Отсюда, коротковолновая часть спектра рассеивается значительно более интенсивно, чем длинноволновая. Голубой свет рассеивается почти в 5 раз интенсивнее, чем красный. Поэтому рассеянный свет – голубой, а прошедший – красноватый.

На очень больших высотах (сотни километров) концентрация молекул атмосферы очень мала, рассеяние практически исчезает, небо должно казаться черным, а звезды видны в присутствии Солнца. При космических полетах все эти предсказания подтвердились полностью.

Небо в полдень



Небо на закате

