

Раздел IV. Оптика.

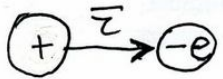
Глава 7. Взаимодействие излучения с веществом.

1. Дисперсия света – зависимость показателя преломления среды от частоты света $n(\omega)$.

$$\frac{dn}{d\omega} > 0 \text{ - нормальная дисперсия}$$

$$\frac{dn}{d\omega} < 0 \text{ - аномальная дисперсия}$$

Уравнение дисперсии легко получается, если рассматривать электроны в атоме как осцилляторы с собственной частотой ω_0 , которые под действием силы со стороны электрического поля световой волны совершают вынужденные колебания:


$$\ddot{\vec{r}} + \omega_0^2 \vec{r} = \frac{-e\vec{E}_0 \cos \omega t}{m} \quad \vec{r}(t) = \vec{r}_0 \cos \omega t$$
$$\vec{r}_0 = \frac{-e\vec{E}_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}$$

$$\text{Вектор поляризации } \vec{P}(t) = Ne[-\vec{r}(t)] = \frac{Ne^2 \vec{E}_0 \cos \omega t}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}$$

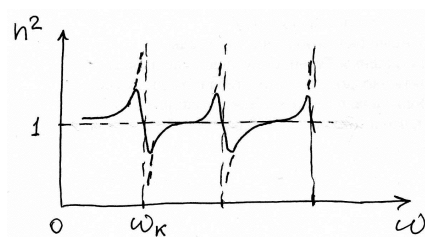
Показатель преломления:

$$n^2 = \epsilon\mu \approx \epsilon = 1 + \chi = 1 + \frac{P}{\epsilon_0 E} = 1 + \frac{Ne^2}{\epsilon_0 m(\omega_0^2 - \omega^2)}$$
$$(\mu = 1) \quad (\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E})$$

Если вещество состоит из различных атомов с концентрациями N_K и собственными частотами ω_K , то:

$$n^2 = 1 + \sum_K \frac{N_K e^2}{\epsilon_0 m(\omega_K^2 - \omega^2)}$$

Типичная зависимость показателя преломления от частоты имеет вид :



При приближении частоты световой волны ω к собственной частоте колебания электрона в атоме ω_K происходит сильное поглощение

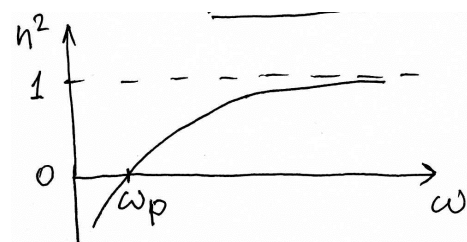
световой волны. Элементарная теория, рассмотренная выше, этого не учитывает и дает в области резонанса $\omega = \omega_k$ разрыв $n(\omega)$, чего на самом деле нет.

2. Дисперсия электромагнитных волн в плазме.

Плазма – сильно ионизированный газ, состоящий из свободных электронов и ионов (атомов, молекул, у которых оторваны один или несколько электронов). Для свободных электронов $\omega_0 = 0$, уравнение дисперсии имеет вид:

$$n^2 = 1 - \frac{e^2 N e}{\epsilon_0 m \omega^2} = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$$

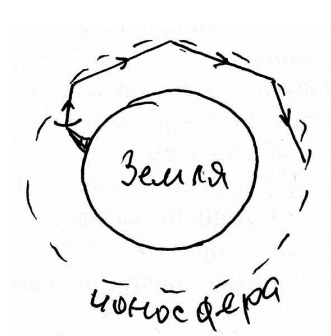
$$\omega_p = \sqrt{\frac{e^2 N e}{\epsilon_0 m}} \quad \text{— плазменная частота}$$



В плазме могут распространяться электромагнитные волны с частотами:

$$\omega > \omega_p$$

Если частота электромагнитной волны $\omega < \omega_p$, то происходит отражение волны.



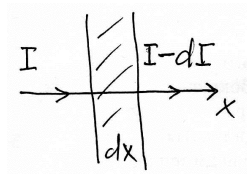
Отражение электромагнитных волн коротковолнового диапазона ($\lambda \approx 10 - 100 \text{ м}$) от ионосферы (сильно ионизированные слои атмосферы на высотах 50-60 км) объясняет сверхдальнюю радиосвязь.

Необходимо отметить, что в плазме фазовая скорость электромагнитных волн

$$V_\Phi = \frac{c}{n} > c$$

3. Поглощение света

При прохождении света через вещество часть энергии световой волны поглощается и переходит во внутреннюю энергию вещества (тепло). Ослабление интенсивности света за счет поглощения описывает закон Бугера:


$$dI = -\chi I dx$$
$$\Downarrow$$
$$I(x) = I_0 e^{-\chi x}$$

I_0 - интенсивность падающего излучения

χ - коэффициент поглощения.

Механизмов поглощения много. Наиболее распространенные: поглощение в линиях, фотоионизация, обратное тормозное поглощение в плазме.

Вопросы:

1. Что такое дисперсия.
2. Типичная зависимость $n(\omega)$
3. Что такое нормальная и аномальная дисперсия.
4. Дисперсия волн в плазме.
5. Чем объясняется сверхдальняя радиосвязь на коротких волнах.
6. Закон Бугера.