

Всего существуют 3 способа поляризации:

1. Поглощение (или дихроизм): свет проходит через вещество с длинными нитевидными молекулами. Проходя вдоль молекулы, свет свободно проходит, а поперек молекул свет не проходит
Большинство таких линейных поляризаторов (или так называемых поляроидов) состоят из полимерной пленки или частиц кристаллов турмалина или герпатита в нитроцеллюлозной пленке
2. Преломление: в призме Николя используется двойное лучепреломления света. В ней используется анизотропный кристалл исландского шпата, в котором
 - лучи, поляризованные горизонтально, имеют показатель преломления $n_o = 1.66$ – их называют обыкновенными
 - лучи, поляризованные вертикально, имеют показатель преломления $n_o = 1.51$ – их называют необыкновенными

Призма Николя представляет собой две одинаковые треугольные в сечении призмы. Обыкновенный луч испытывает полное внутреннее отражение от склеивающего слоя с $n = 1.55$ и поглощается, а необыкновенный свободно проходит через него и вторую призму, так как показатели преломления приблизительно равны

3. Отражение: Столетов предложил сделать поляризатор из стекла. При определенном угле падения $\alpha = \arctg n$ (известном как угол Брюстера) отраженный свет получается поляризованным. Для стекла этот угол равен примерно 59° , однако отраженный свет получается с интенсивностью 4% от интенсивности входящего света.

Столетов предложил использовать несколько стеклянных пластин, чтобы увеличить интенсивность – данное устройство, состоящее из стопки стекла, получило название стопа Столетова

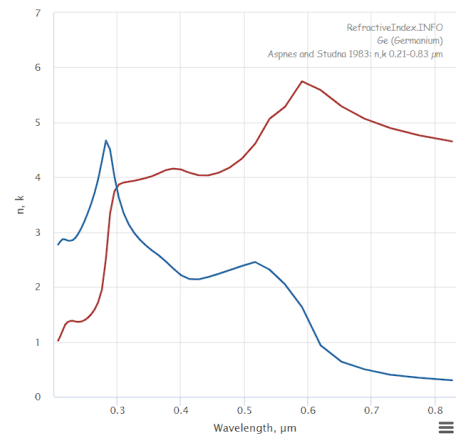
Угол Брюстера применяется в изготовлении лазеров для получения поляризованных волн

Лекция 2. Дисперсия света

Дисперсией света называется зависимость показателя преломления от частоты волны света. Данный эффект был обнаружен Исааком Ньютоном при разложении света в спектр. Тогда Ньютон обнаружил, что для разных частот света (а следовательно для разных волн) показатель преломления разный, поэтому в стекле лучи разных частот двигаются с разной скоростью, на выходе призмы получается радужный спектр

Благодаря дисперсии существует радуга: лучи Солнца, проходя под определенным углом (42 градуса над горизонтом) через капельки воды в воздухе, раскладываются в спектр и попадают на сетчатку глаза

На сайте <https://refractiveindex.info> можно узнать показатель преломления. Например, металл германий, использующийся в тепловизорах, имеет показатель преломления 3.5-4 в инфракрасном спектре волн, что улучшает разрешение тепловизора при ограниченном объёме устройства. Подобные призмы используются в спектрометрах - приборах, позволяющих разложить свет в спектр и узнать, какие длины волн присутствуют в спектре.



Разные газы в газоразрядной лампе излучают свет разного цвета (то есть спектр из разных длин волн). Поэтому с помощью спектрометра можно обнаружить, из чего состоит источник света (например, Солнца): зная спектр горения водорода и гелия, можно предположить концентрацию горящего вещества на поверхности Солнца.

Более продвинутый прибор – масс-спектрометр – используется для изучения состава вещества: вещество нагревают, излученный свет попадает на масс-спектрометр, который определяет интенсивность для разных волн света.

Дисперсия возникает как следствие уравнения Максвелла. Допустим для слабопроводящей среды $\sigma, \epsilon, \mu = \text{const}$ ($\sigma = \frac{1}{\rho}$ - удельная проводимость в сименсах)

По закону индукции Фарадея $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\mu\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = -\mu\mu_0 \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{H})$$

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{E})$$

$$\vec{\nabla}^2 \times \vec{E} = -\mu\mu_0 \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{H})$$

По теореме о циркуляции магнитного поля $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \sigma \vec{E} + \epsilon\epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

Получаем $\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = v^2 \Delta \vec{E}$ – волновое уравнение, где $v^2 = \frac{1}{\epsilon\epsilon_0 \mu\mu_0}$

Из этого волнового уравнения для волны, направленной в сторону оси Ox , получаем $\frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} =$

$$v^2 \Delta E_y - \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0} \frac{\partial E_y}{\partial t}$$

Решение его является функция $E_y = E_0 e^{i(\omega t - kx)}$, то есть $\omega^2 = v^2 k^2 - \frac{i\omega\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$, где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число

Уравнение

$$k^2 = \frac{\omega^2}{v^2} - \frac{i\omega\sigma}{\epsilon\epsilon_0 v^2}$$

называют дисперсионным (то есть зависимость $k(\omega)$). Из него $k = \pm \frac{\omega}{v} \sqrt{1 - \frac{i\sigma}{\epsilon\epsilon_0 \omega}}$

Для $\frac{\omega}{\epsilon\epsilon_0\omega} \ll 1$ можем аппроксимировать корень, получаем $k \approx \frac{\omega}{v}(1 - i\frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0\omega}) = k' - ik''$

В ходе вычисления получаем комплексное k : вещественная часть волнового числа k' определяет длину волны, мнимая часть k'' = показывается коэффициент затухания волн, то есть поглощение, получаем $E_y = E_0 e^{i(\omega t - k'x) - k''x}$

Зависимость фазовой скорость волны (то скорость волны с одной длиной) от частоты в среде $v_{\text{фаз}}(\omega) = \frac{\omega}{k'(\omega)}$ называют дисперсией (также обозначают $v_{\text{фаз}} = v$)

Для световых волн дисперсия – $n(\omega) = \frac{c}{v_{\text{фаз}}(\omega)}$ или $n(\lambda_0) = \frac{c}{v_{\text{фаз}}(\lambda_0)}$

Если $\sigma = 0$, то $v_{\text{фаз}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\epsilon_0\mu\mu_0}}$

Получаем дисперсию световых волн: $n(\omega) = \frac{c}{v_{\text{фаз}}(\omega)}$ или $n(\lambda_0) = \frac{c}{v_{\text{фаз}}(\lambda_0)}$

Из этого выходит закон Бугера: пусть свет интенсивности I_0 падает на вещество толщины L , тогда интенсивность света уменьшается по экспоненциальному закону: $I = I_0 e^{-kL}$

При сложении волн из квазимонохроматического спектра получаем ограниченную в пространстве волну – так называемый волновой пакет. Длительность волнового пакета τ пропорциональна обратной разности частот $\frac{1}{\Delta\nu}$

В среде волны с разными длинами двигаются с разной скоростью, поэтому пакет будет деформироваться из-за дисперсии. Из-за этого пакет получает приращение $\Delta t = \frac{L}{v_1} - \frac{L}{v_2} = \frac{L}{c} \Delta n$

При увеличении пропускной способности оптоволокна нужно уменьшить длительности импульса τ . Из этого получаем, что разность частот увеличивается

Если импульс занимает весь видимый диапазон, то $\Delta n \approx 0.03$. При прохождении 1 метра волокна получаем $\Delta t = \frac{1}{3 \cdot 10^8} 0.03 = 10^{-10}$ с. Если длительность пакета меньше Δt , то импульсы сливаются во время прохождения и на приемнике их становится невозможно различить

Групповая скорость $v_{\text{гр}} = \frac{d\omega}{dk}$ – это скорость движения волнового пакета (также обозначают $u = v_{\text{гр}}$). Если среда дисперсионная, то $v_{\text{гр}} \neq v_{\text{фаз}}$

Заметим, что $v_{\text{фаз}} = \frac{\omega}{k}$, тогда $v_{\text{гр}} = \frac{d\omega}{dk} = v_{\text{фаз}} + k \frac{dv_{\text{фаз}}}{dk} = v_{\text{фаз}} + k \frac{dv_{\text{фаз}}}{d\lambda} \frac{d\lambda}{dk}$

Так как $\frac{dk}{d\lambda} = -\frac{2\pi}{\lambda^2}$, то $v_{\text{гр}} = v_{\text{фаз}} - \lambda \frac{dv_{\text{фаз}}}{d\lambda}$

$dv = -\frac{c}{n^2} dn = -v \frac{dn}{n}$, $d\lambda = \frac{d\lambda_0}{n} - \frac{\lambda_0}{n^2} dn$

$u = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda} = v + \frac{\lambda_0}{n} \frac{\frac{v}{n} dn}{\frac{d\lambda_0}{n} - \lambda_0 \frac{dn}{n^2}} = v \frac{nd\lambda_0}{nd\lambda_0 - \lambda_0 dn} = \frac{v}{1 - \frac{\lambda_0}{n} \frac{dn}{d\lambda}}$

Если дисперсии нет, то $k_1 - k_2 = \frac{\omega_1}{c} - \frac{\omega_2}{c}$, и тогда $v_{\text{гр}} = c$