

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 нитроцеллюлозной пленки с частицами кристаллов турмалина или герпатита
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  $59^\circ$ , 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

## 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 ( $42^\circ$  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 света для разных длин волн

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

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

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

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

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

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

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  $\frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} =$

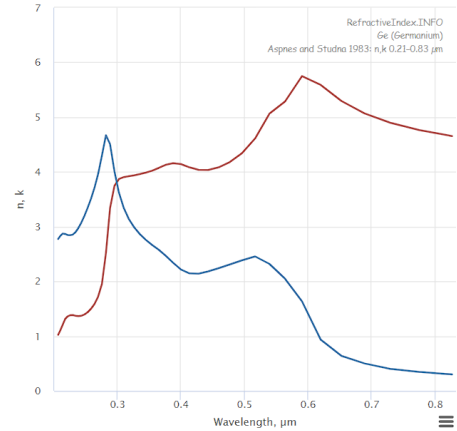
$$v^2 \Delta E_y - \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0} \frac{\partial E_y}{\partial t}$$

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  $\frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0\omega} \ll 1$  можем аппроксимировать корень, получаем  $k \approx \frac{\omega}{v} \left(1 - i \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0\omega}\right) = k' - ik''$

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 скорости волны (то скорости 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  $v_{\text{фаз}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}}$

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  $\tau$  пропорциональна обратной разности частот  $\frac{1}{\Delta\nu}$ . Длительность пакета означает время прохождения пакета через одну точку

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

При увеличении пропускной способности оптоволокна нужно уменьшить длительности импульса  $\tau$ . 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  $\Delta t$ , 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  $v_{\text{гр}} = c$