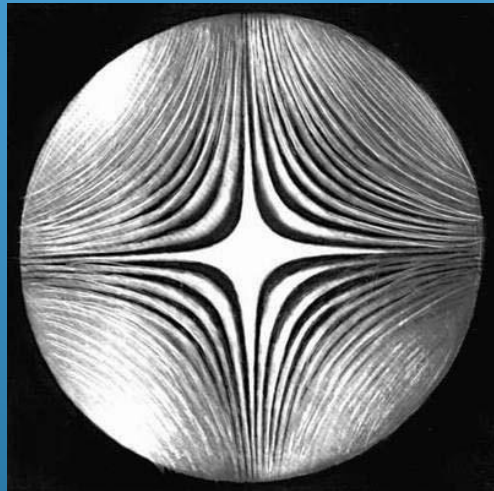


# «Поляризация света».



# Поляризация света

- В начале XIX века, когда Т. Юнг и О. Френель развивали волновую теорию света, природа световых волн была неизвестна. На первом этапе предполагалось, что свет представляет собой продольные волны, распространяющиеся в некоторой гипотетической среде – эфире. При изучении явлений интерференции и дифракции вопрос о том, являются ли световые волны продольными или поперечными, имел второстепенное значение. В то время казалось невероятным, что свет – это поперечные волны, так как по аналогии с механическими волнами пришлось бы предполагать, что эфир – это твердое тело (поперечные механические волны не могут распространяться в газообразной или жидкой среде).

- Однако, постепенно накапливались экспериментальные факты, свидетельствующие в пользу поперечности световых волн. Еще в конце XVII века было обнаружено, что кристалл исландского шпата ( $\text{CaCO}_3$ ) раздваивает проходящие через него лучи.
- Это явление получило название двойного лучепреломления (рис. 3.1.1).

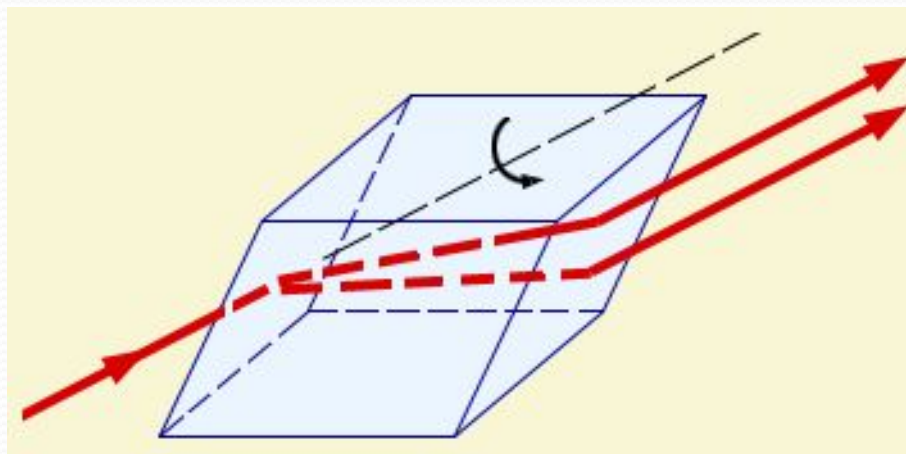


Рисунок 3.1.1.

Прохождение света через кристалл исландского шпата (двойное лучепреломление). Если кристалл поворачивать относительно направления первоначального луча, что поворачиваются оба луча, прошедшие через кристалл.

В 1809 году французский инженер Э. Малюс открыл закон, названный его именем. В опытах Малюса свет последовательно пропускаться через две одинаковые пластинки из турмалина (прозрачное кристаллическое вещество зеленоватой окраски). Пластинки могли поворачиваться друг относительно друга на угол  $\varphi$  (рис. 3.11.2).

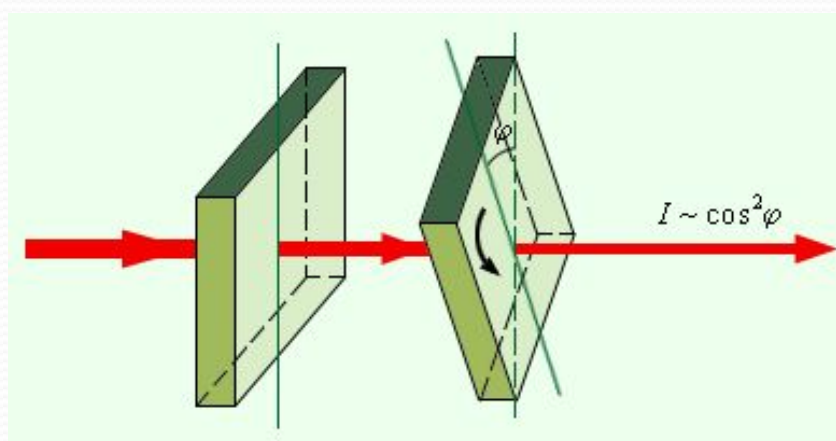


Рисунок 3.11.2.  
Иллюстрация к закону  
Малюса

Интенсивность прошедшего света оказалась прямо пропорциональной  $\cos^2 \varphi$ :

$$I \sim \cos^2 \varphi$$

- Ни двойное лучепреломление, ни закон Малюса не могут найти объяснение в рамках теории продольных волн. Для продольных волн направление распространения луча является осью симметрии. В продольной волне все направления в плоскости, перпендикулярной лучу, равноправны. В поперечной волне (например, в волне, бегущей по резиновому жгуту) направление колебаний и перпендикулярное ему направление не равноправны (рис. 3.11.3).

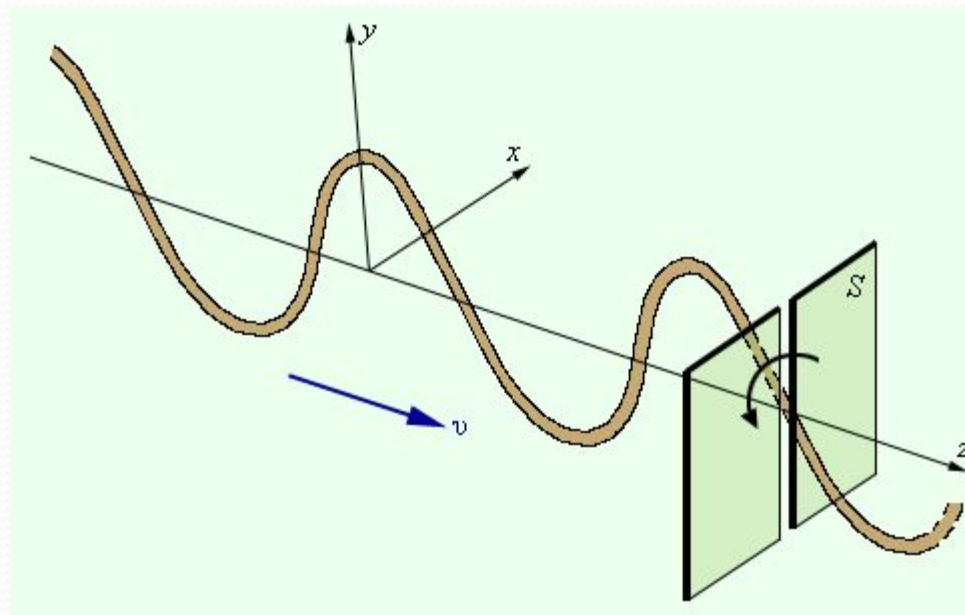


Рисунок 3.11.3.

Поперечная волна в резиновом жгуте. Частицы колеблются вдоль оси y. Поворот щели S вызовет затухание волны.

- Таким образом, асимметрия относительно луча является решающим признаком, который отличает поперечную волну от продольной. Впервые догадку о поперечности световых волн высказал Т. Юнг (1816 г.). Френель, независимо от Юнга, также выдвинул концепцию поперечности световых волн, обосновал ее многочисленными экспериментами и создал теорию двойного лучепреломления света в кристаллах.
- В середине 60-х годов XIX века Максвелл сделал вывод о том, что свет – это электромагнитные волны. Этот вывод был сделан на основе совпадения известного значения скорости света со скоростью распространения предсказанных Максвеллом электромагнитных волн. К тому времени, когда Максвелл сделал вывод о существовании электромагнитных волн, поперечность световых волн уже была доказано экспериментально. Поэтому Максвелл справедливо полагал, что поперечность электромагнитных волн является еще одним важнейшим доказательством электромагнитной природы света.
- В электромагнитной теории света исчезли все затруднения, связанные с необходимостью введения особой среды распространения волн – эфира, который приходилось рассматривать как твердое тело.

- В электромагнитной волне вектора  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. Во всех процессах взаимодействия света с веществом основную роль играет электрический вектор  $\vec{E}$ , поэтому его называют *световым вектором*. Если при распространении электромагнитной волны световой вектор сохраняет свою ориентацию, такую волну называют *линейно-поляризованной* или *плоско-поляризованной* (термин поляризация волн был введен Малюсом применительно к поперечным механическим волнам). Плоскость, в которой колеблется световой вектор  $\vec{E}$  называется *плоскостью колебаний*, а плоскость, в которой совершает колебание магнитный вектор  $\vec{B}$  – *плоскостью поляризации*.

Если вдоль одного и того же направления распространяются две монохроматические волны, поляризованные в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, то в результате их сложения в общем случае возникает эллиптически-поляризованная волна (рис. 3.11.4).

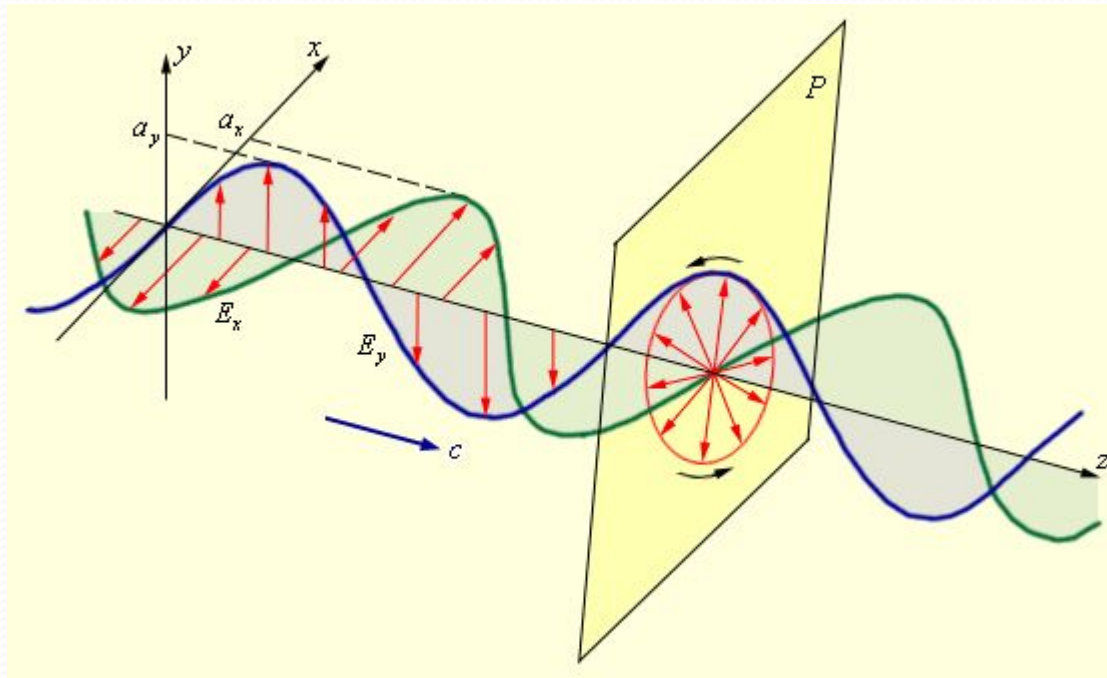


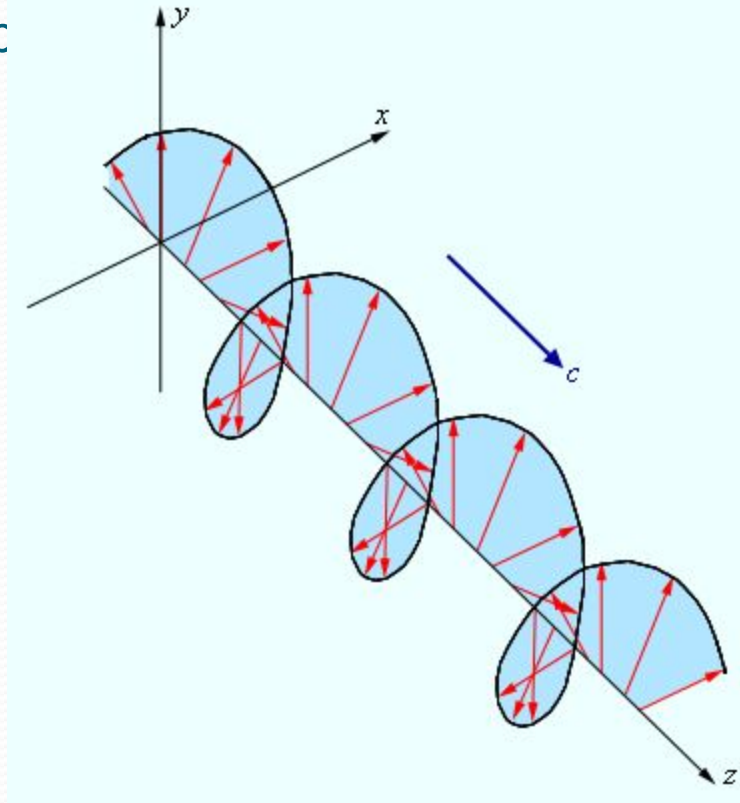
Рисунок 3.11.4.

Сложение двух взаимно перпендикулярно поляризованных волн и образование эллиптически поляризованной волны.



- В эллиптически-поляризованной волне в любой плоскости  $P$ , перпендикулярной направлению распространения волны, конец результирующего вектора  $\vec{E}$  за один период светового колебания обегает эллипс, который называется *эллипсом поляризации*. Форма и размер эллипса поляризации определяются амплитудами  $a_x$  и  $a_y$  линейно-поляризованных волн и фазовым сдвигом  $\Delta\phi$  между ними. Частным случаем эллиптически-поляризованной волны является волна с *круговой поляризацией* ( $a_x = a_y$ ,  $\Delta\phi = \pm \pi / 2$ ).

Рис. 3.11.5 дает представление о пространственной структуре эллиптически-поляризованной волны.



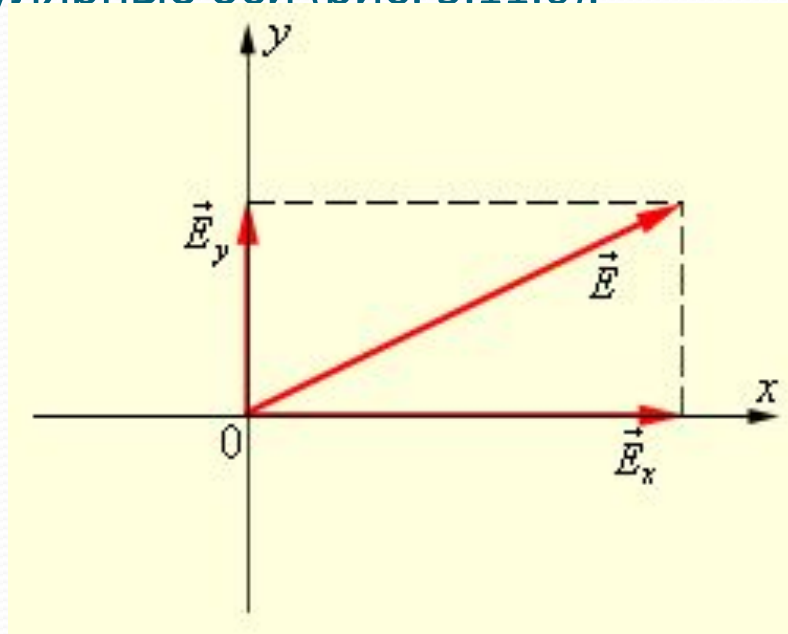
● Рисунок 3.11.5.

- Электрическое поле в эллиптически-поляризованной волне.

- Линейно-поляризованный свет испускается лазерными источниками. Свет может оказаться поляризованным при отражении или рассеянии. В частности, голубой свет от неба частично или полностью поляризован. Однако, свет, испускаемый обычными источниками (например, солнечный свет, излучение ламп накаливания и т. п.), неполяризован. Свет таких источников состоит в каждый момент из вкладов огромного числа независимо излучающих атомов с различной ориентацией светового вектора в излучаемых этими атомами волнах. Поэтому в результирующей волне вектор беспорядочно изменяет свою ориентацию во времени, так что в среднем все направления колебаний оказываются равноправными. Неполяризованный свет называют также естественным светом.

$\vec{E}$

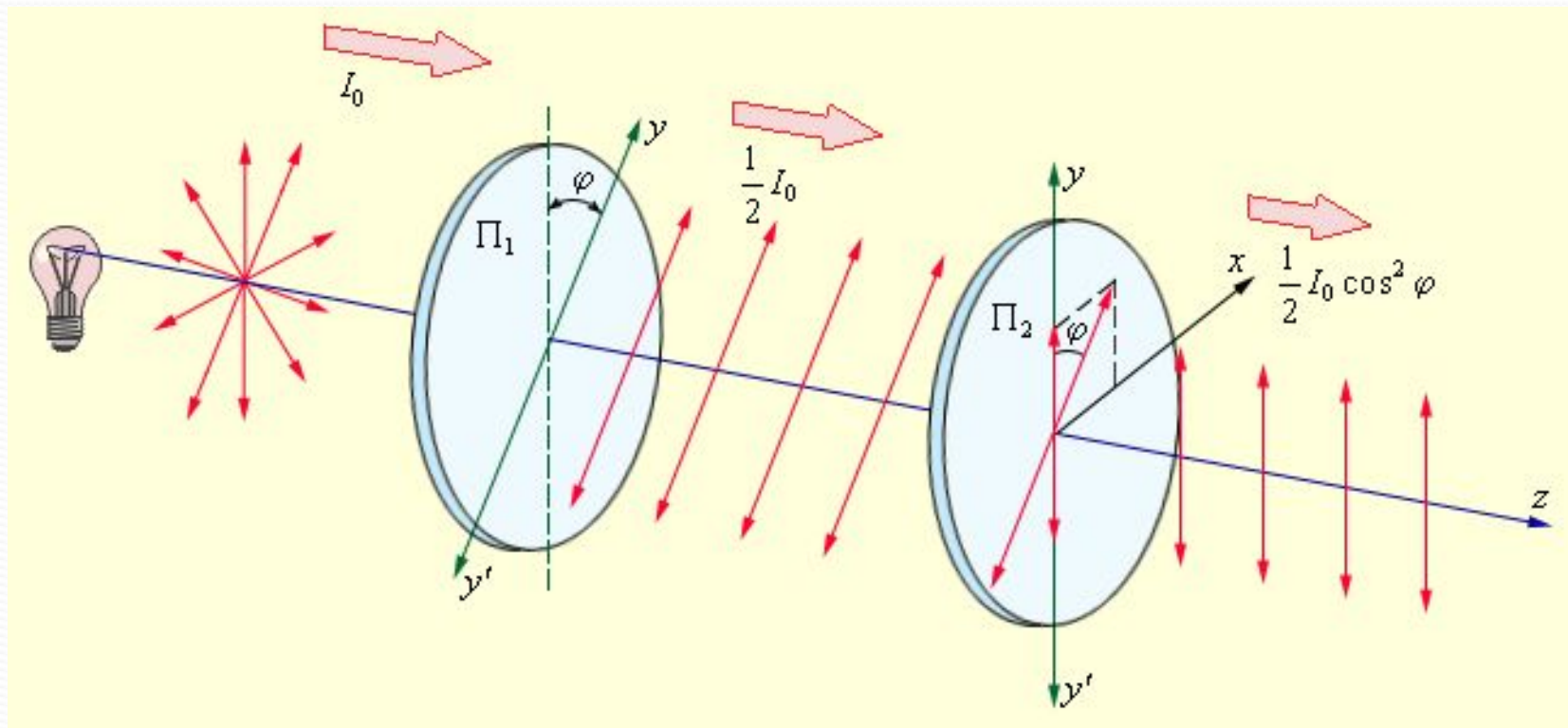
В каждый момент времени вектор может быть спроектирован на две взаимно перпендикулярные оси (рис. 3.11.6).



- Рисунок 3.11.6.
- Разложение вектора  $\vec{E}$  по осям.

- Это означает, что любую волну (поляризованную и неполяризованную) можно представить как суперпозицию двух линейно-поляризованных во взаимно перпендикулярных направлениях  $\vec{E}(t) = \vec{E}_x(t) + \vec{E}_y(t)$ .
- Но в поляризованной волне обе составляющие  $E_x(t)$  и  $E_y(t)$  когерентны, а в неполяризованной – некогерентны, т. е. в первом случае разность фаз между  $E_x(t)$  и  $E_y(t)$  постоянна, а во втором она является случайной функцией времени.
- Явление двойного лучепреломления света объясняется тем, что во многих кристаллических веществах показатели преломления для двух взаимно перпендикулярно поляризованных волн различны. Поэтому кристалл раздваивает проходящие через него лучи (рис. 3.11.1). Два луча на выходе кристалла линейно поляризованы во взаимно перпендикулярных направлениях. Кристаллы, в которых происходит двойное лучепреломление, называются анизотропными.
- С помощью разложения вектора  $\vec{E}$  на составляющие по осям можно объяснить закон Малюса

- У многих кристаллов поглощение света сильно зависит от направления электрического вектора в световой волне. Это явление называют дихроизмом. Этим свойством, в частности, обладают пластины турмалина, использованные в опытах Малюса. При определенной толщине пластинка турмалина почти полностью поглощает одну из взаимно перпендикулярно поляризованных волн (например,  $E_x$ ) и частично пропускает вторую волну ( $E_y$ ). Направление колебаний электрического вектора в прошедшей волне называется разрешенным направлением пластинки. Пластинка турмалина может быть использована как для получения поляризованного света, так и для анализа характера поляризации света (поляризатор и анализатор). В настоящее время широко применяются искусственные дихроичные пленки, которые называются поляроидами. Поляроиды почти полностью пропускают волну разрешенной поляризации и не пропускают волну, поляризованную в перпендикулярном направлении. Таким образом, поляроиды можно считать идеальными поляризационными фильтрами.
- Рассмотрим прохождение естественного света последовательно через два идеальных поляроида  $P_1$  и  $P_2$  (рис. 3.11.7), разрешенные направления которых развернуты на некоторый угол  $\phi$ . Первый поляроид играет роль поляризатора. Он превращает естественный свет в линейно-поляризованный. Вторым поляроидом служит для анализа падающего на него света.



● Рисунок 3.11.7.

- Прохождение естественного света через два идеальных поляроида.  $yy'$  – разрешенные направления поляроидов.

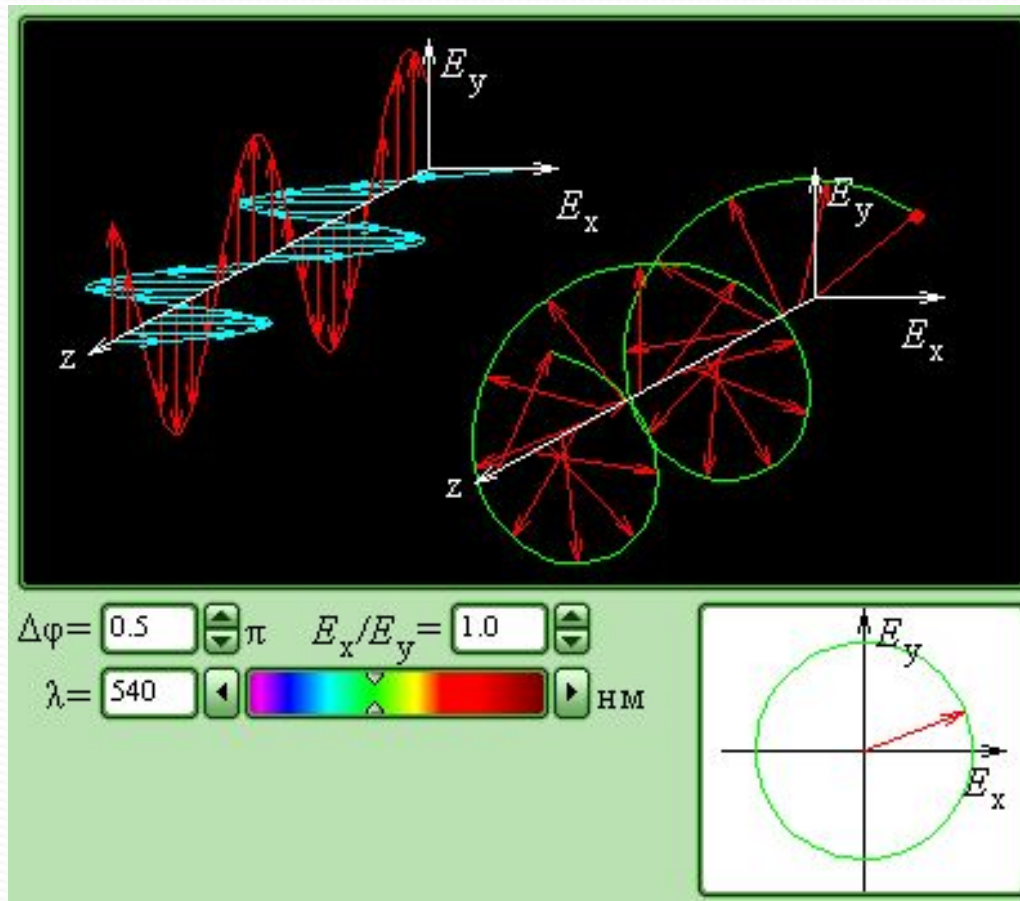
- Если обозначить амплитуду линейно-поляризованной волны после прохождения света через  $E_0 = \sqrt{I_0 / 2}$  первый поляроид через  $E_0$ , то волна, пропущенная вторым поляроидом, будет иметь амплитуду  $E = E_0 \cos \varphi$ . Следовательно, интенсивность  $I$  линейно-поляризованной волны на выходе второго поляроида будет равна

$$I = E^2 = E_0^2 \cos^2 \varphi = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \varphi.$$

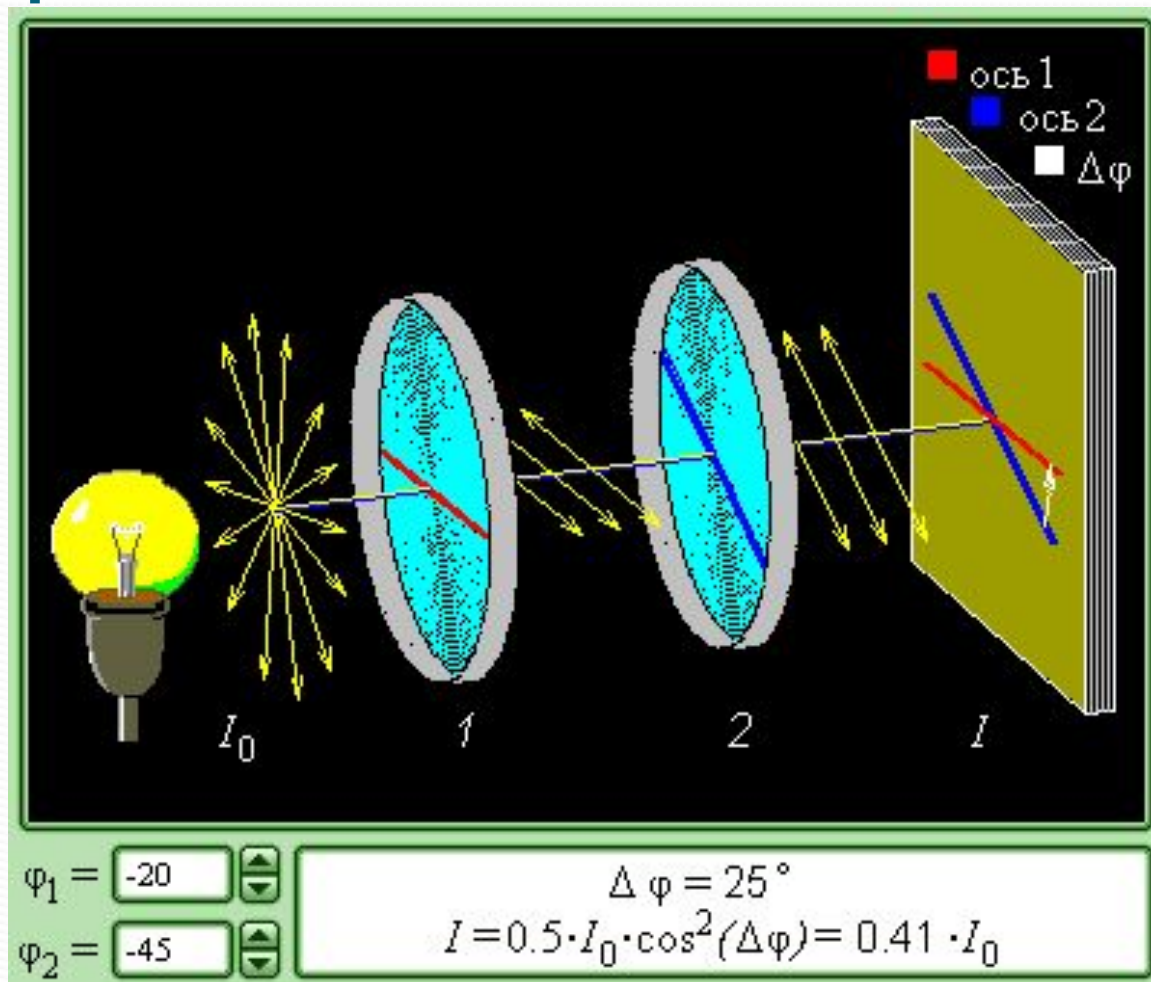
- Таким образом, в электромагнитной теории света закон Малюса находит естественное объяснение на основе разложения вектора  $\vec{E}$  на составляющие.



# Модель. Поляризация света.



# Модель. Закон Малюса.





**Спасибо за  
внимание!!!!!!!**