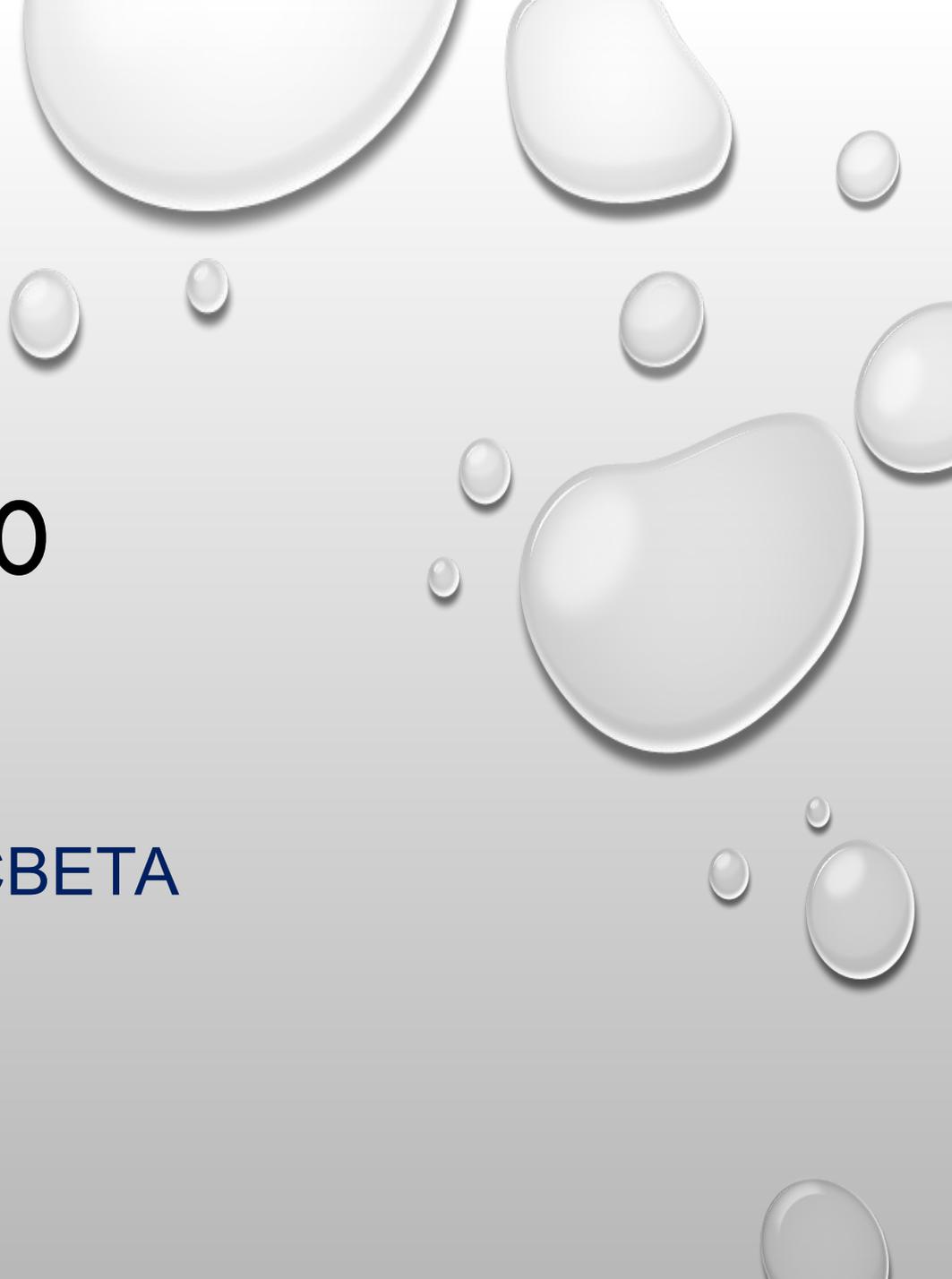


# ЛЕКЦІЯ 10

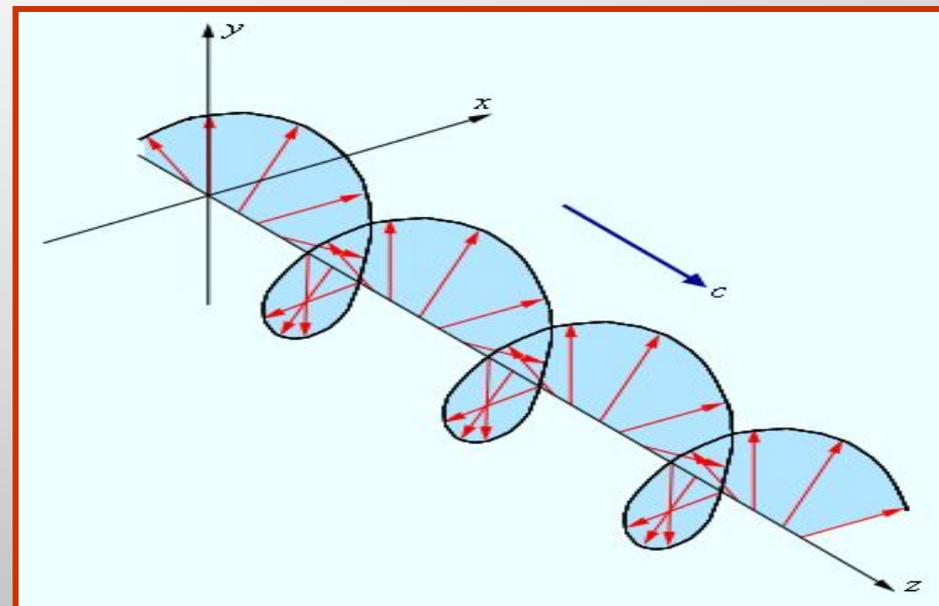
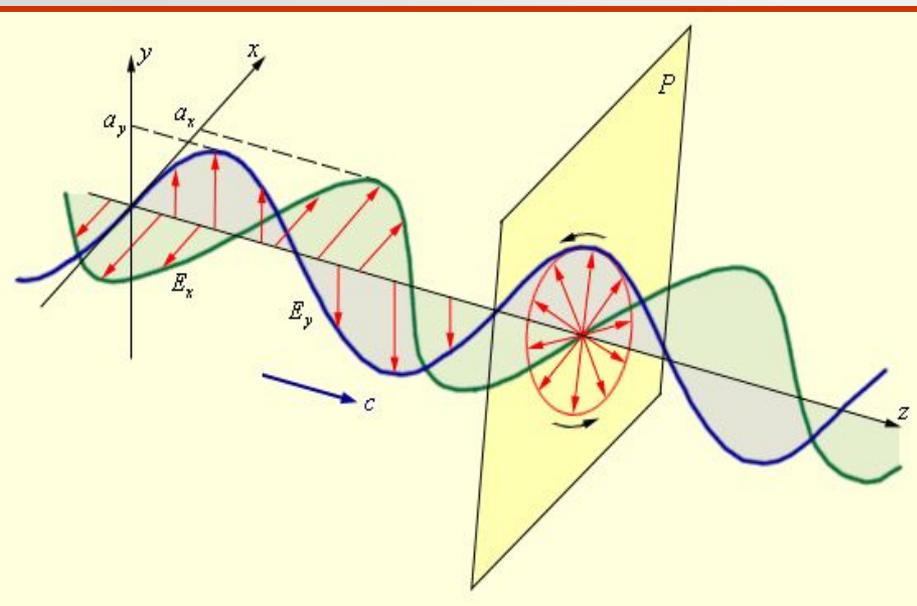
## ПОЛЯРИЗАЦІЯ СВЕТА



В электромагнитной волне вектора  $E$  и  $B$  перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. Во всех процессах взаимодействия света с веществом основную роль играет электрический вектор  $E$ , 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  $E$ , называется **плоскостью колебаний**, а плоскость, в которой совершает колебание магнитный вектор  $B$  – **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**

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



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  $\vec{E}$  беспорядочно изменяет свою ориентацию во времени, так что в среднем все направления колебаний оказываются равноправными. **Неполяризованный свет** называют также **естественным светом**.

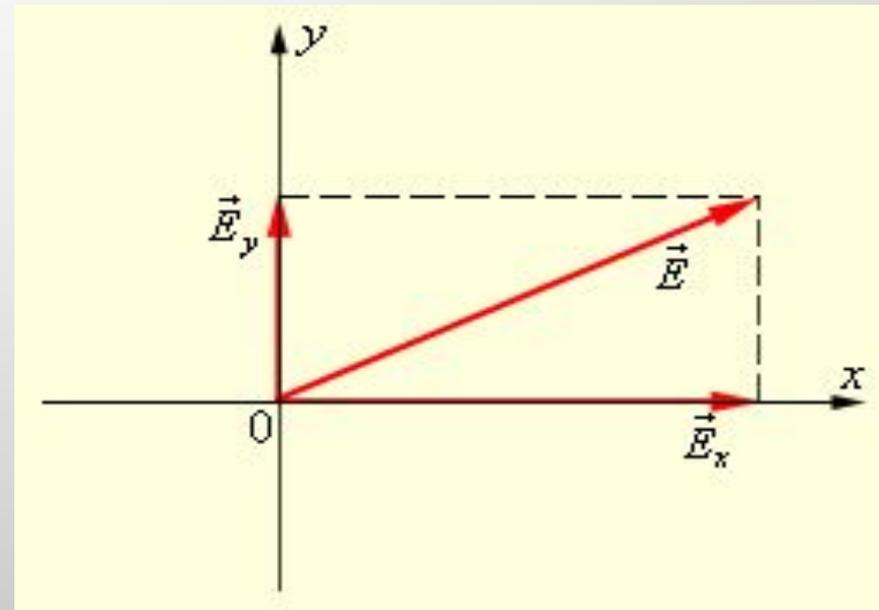
В каждый момент времени вектор  $\vec{E}$  может быть спроектирован на две взаимно перпендикулярные оси.

Это означает, что любую волну (поляризованную и неполяризованную) можно представить как суперпозицию двух линейно-поляризованных

Во взаимно перпендикулярных направлениях волн:

$$\vec{E}(t) = \vec{E}_x(t) + \vec{E}_y(t)$$

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.



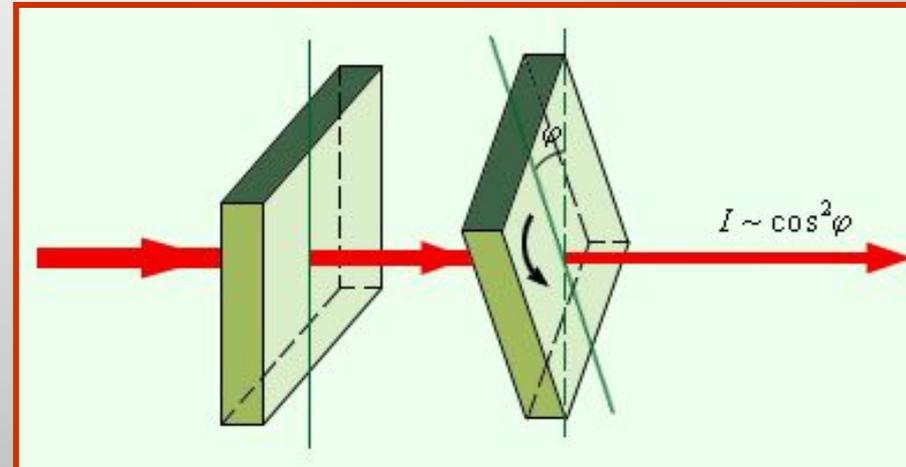
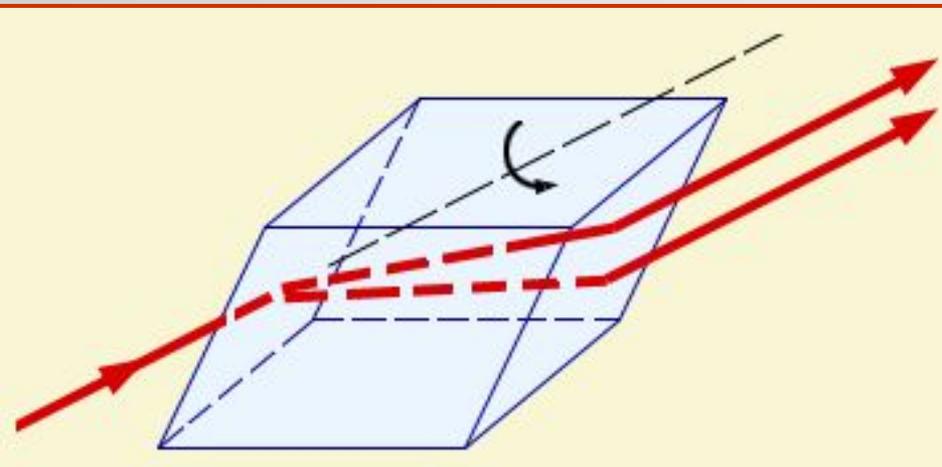
# ЗАКОН МАЛЮСА

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**.

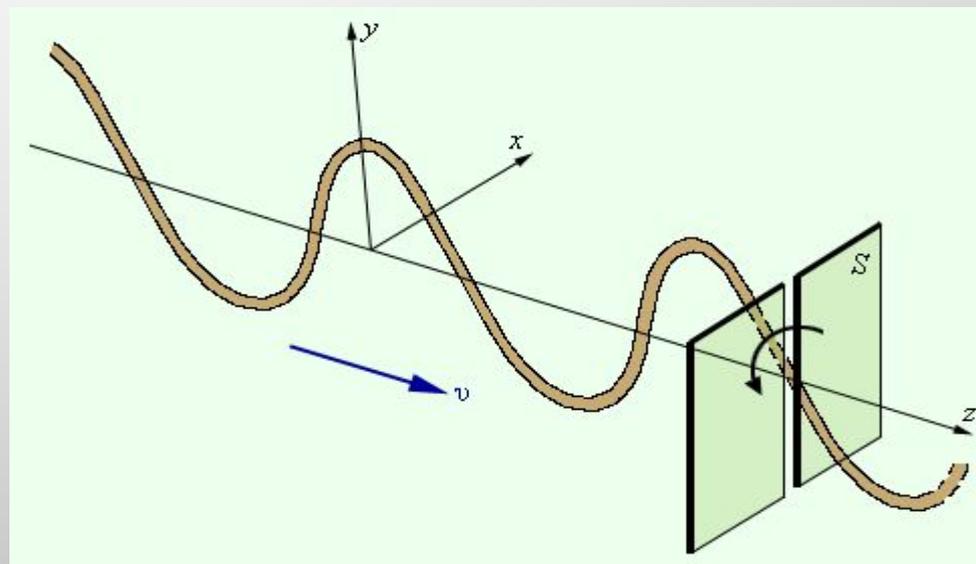
В 1809 году французский инженер э. Малюс открыл закон, названный его именем. В опытах Малюса свет последовательно пропусклся через две одинаковые пластинки из турмалина (прозрачное кристаллическое вещество зеленоватой окраски). Пластинки могли поворачиваться друг относительно друга на угол  $\varphi$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

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

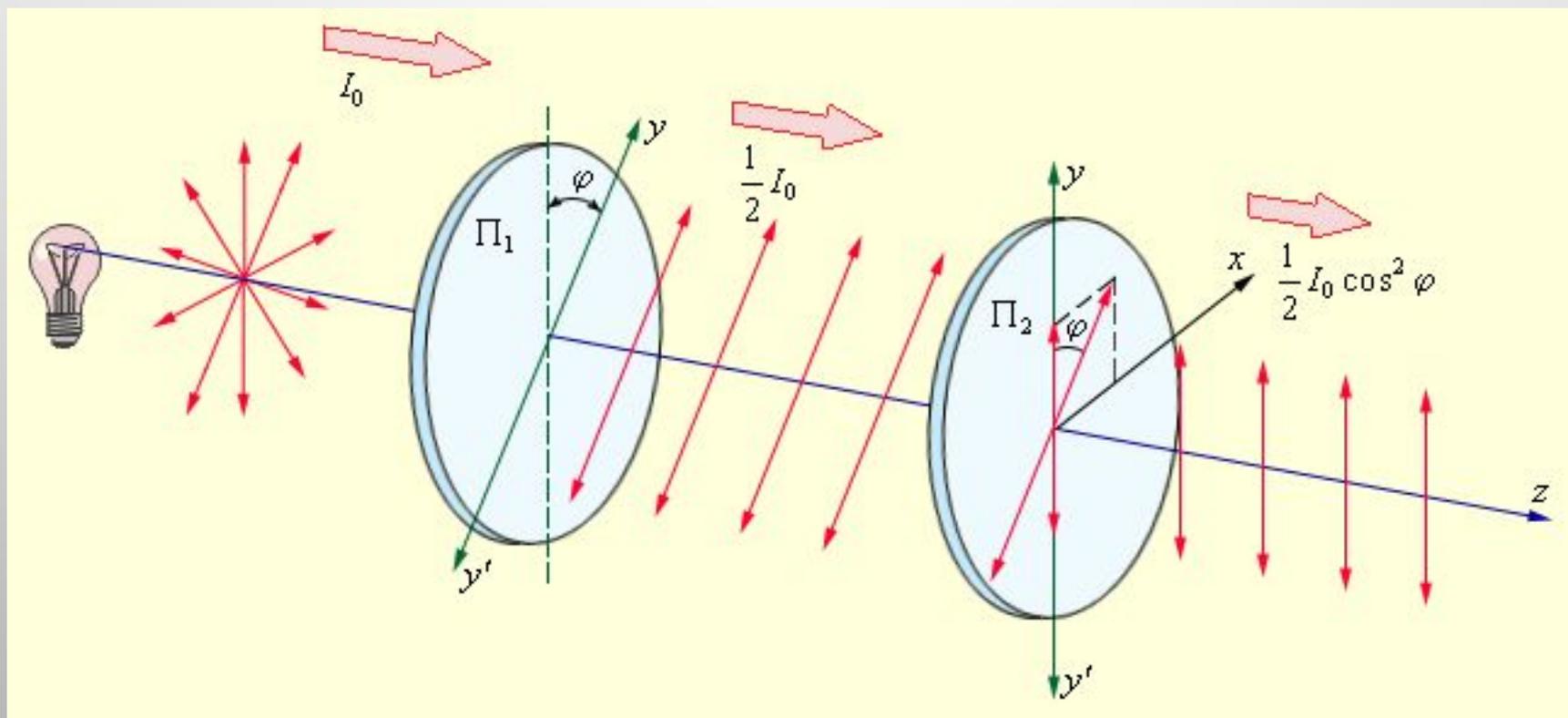
$$I \sim \cos^2 \varphi$$



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,  $e_1$ ) и частично пропускает вторую волну ( $e_2$ ). 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  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ , разрешенные направления которых развернуты на некоторый угол  $\varphi$ . Первый поляроид играет роль поляризатора. Он превращает естественный свет в линейно-поляризованный. Второй поляроид служит для анализа падающего на него света.



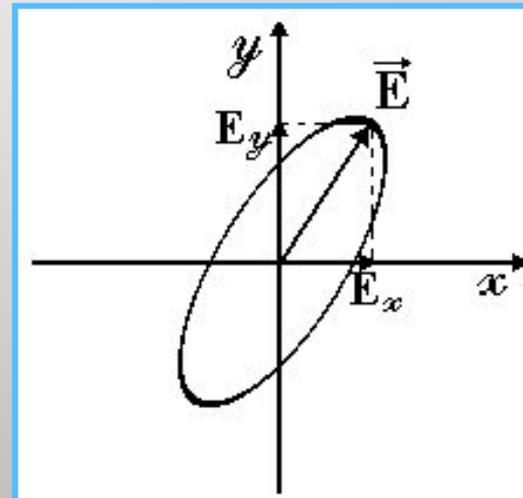
- Рассмотрим две когерентные плоско поляризованные волны световые волны, плоскости колебаний которых взаимно перпендикулярны. Пусть колебания в одной волне совершаются вдоль оси  $x$ , во второй - вдоль оси  $y$ .

Проекции световых векторов этих волн на соответствующие оси изменяются по закону:

$$E_x = a_1 \cos(\omega t); E_y = a_1 \cos(\omega t + \varphi)$$

Два взаимно перпендикулярных гармонических колебания одинаковой частоты при сложении дают в общем случае движение по эллипсу. Аналогично, точка с такими координатами движется по эллипсу. Следовательно, две когерентные плоско поляризованные волны, плоскости колебаний которых взаимно перпендикулярны, при наложении друг на друга дают волну, в которой вектор  $\vec{E}$  изменяется со временем так, что конец его описывает эллипс.

Такой свет называется эллиптически поляризованным. При разности фаз  $\varphi$ , кратной  $\pi$ , эллипс вырождается в прямую, и получается плоско поляризованный свет. При разности фаз, равной  $\pi/2$ , и равенстве амплитуд складываемых волн, эллипс превращается в окружность



- Поляризаторы, в которых происходит полное поглощение электромагнитных волн, поляризованных перпендикулярно плоскости поляризатора, называют **идеальными или просто поляризаторами**. Если же полного поглощения нет, то **поляризатор называют несовершенным**.

Неполяризованная электромагнитная волна, проходящая идеальный поляризатор, превращается им в линейно поляризованную волну, плоскость колебаний вектора напряжённости электрического поля которой параллельна плоскости поляризатора. Интенсивность колебаний, полученной таким образом линейно поляризованной волны, будет в два раза меньше интенсивности неполяризованной волны, направляемой на поляризатор.

Неполяризованная электромагнитная волна, проходящая несовершенный поляризатор, не является полностью линейно поляризованной волной. Электромагнитные волны, в которых колебания вектора напряжённости электрического поля в определённом направлении преобладают над колебаниями, совершаемых в других направлениях, называются **частично поляризованными**.

Состояние поляризации произвольной электромагнитной волны задаётся *степенью поляризации*

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

Для линейно поляризованного света  $P = 1$ . Для неполяризованного света

$$P = 0.$$

Замечательной особенностью поляризаторов на основе турмалина является зависимость поглощения в нём электромагнитных волн от их длины волны. При определённой толщине кристалла турмалина выходящий из него свет будет не только линейно поляризован, но и приобретёт преимущественно жёлто зелёный световой оттенок, поскольку остальные спектральные компоненты окажутся поглощёнными. Таким образом, поляризатор на основе турмалина одновременно будет представлять собой *светофильтр*.

Другим дихроичным кристаллом является кристалл сульфата йодистого хинина, в котором поглощение одного из лучей отмечается уже на расстояниях в 0.1 мм. Кристаллы сульфата йодистого хинина применяются в поляризационных устройствах, получивших название поляроидов. Поляроид представляет собой *целлулоидную плёнку*, на поверхность которой наносится большое количество одинаково ориентированных кристаллов сульфата йодистого хинина.

## ***Как отличить линейно поляризованный свет от естественного, т.е. неполяризованного***

Для пучка естественного света вращение поляризатора не влияет на интенсивность проходящего света, она постоянна и всегда равна половине интенсивности падающего пучка.

## ***Как отличить естественный свет от поляризованного по кругу***

Пропустим оба пучка через пластинку, при этом поляризованный по кругу свет превратится в линейно поляризованный, так как пластинка вносит дополнительную разность фаз между двумя взаимно ортогональными направлениями колебаний вектора ***E***.

## **Как отличить эллиптически-поляризованный свет от частично-поляризованного**

Для идентификации двух рассматриваемых пучков одного поляризатора явно не хватает. Для их различения необходимо поместить перед световым пучком пластинку, а за ней поляризатор. Вращением пластинки вокруг пучка найти такое положение при котором свет, прошедший через нее, становится линейно поляризованным. Такое произойдет, если оптическая ось пластинки совпадает с большой (либо с малой) осью эллипса поляризации. Далее пропуская получивший линейно-поляризованный свет через поляризатор, вращением которого вокруг направления пучка, можно добиться полного затемнения и полного пропускания через каждые угла поворота. При эллиптической поляризации пучка действуя описанным выше образом, можно добиться полного затемнения на выходе, если же этого достичь не получается, - это означает смешанную или частично-поляризованную суть падающего пучка света.