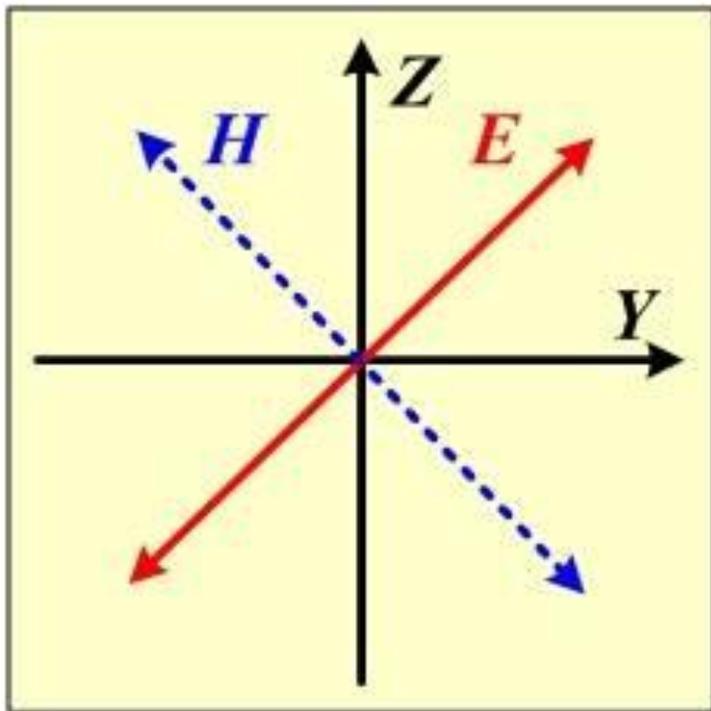
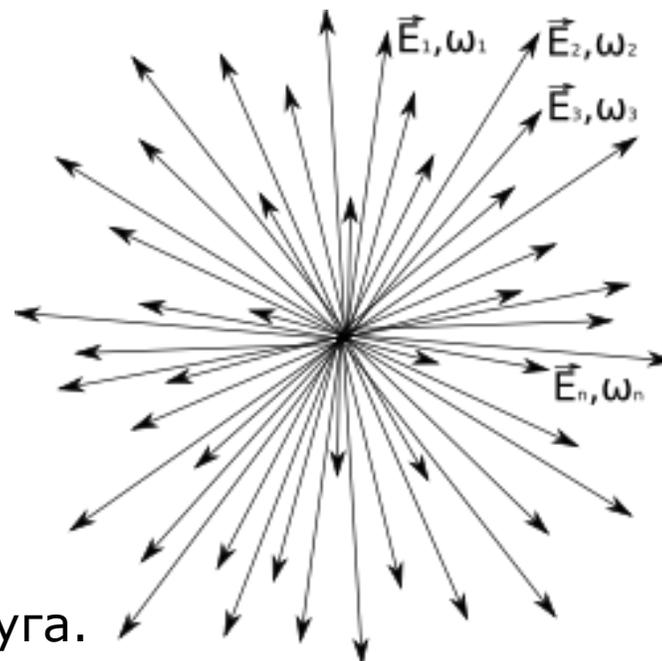
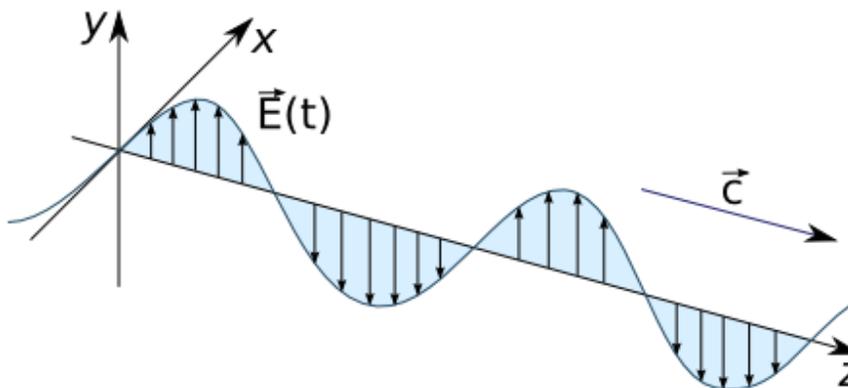


Электромагнетизм.  
Оптика  
Лекция 14

# ЕСТЕСТВЕННЫЙ И ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ СВЕТ



Поляризованным называется свет, в котором направления колебания светового вектора упорядочены каким-либо образом. В естественном свете колебания разных направлений быстро и беспорядочно сменяют друг друга.

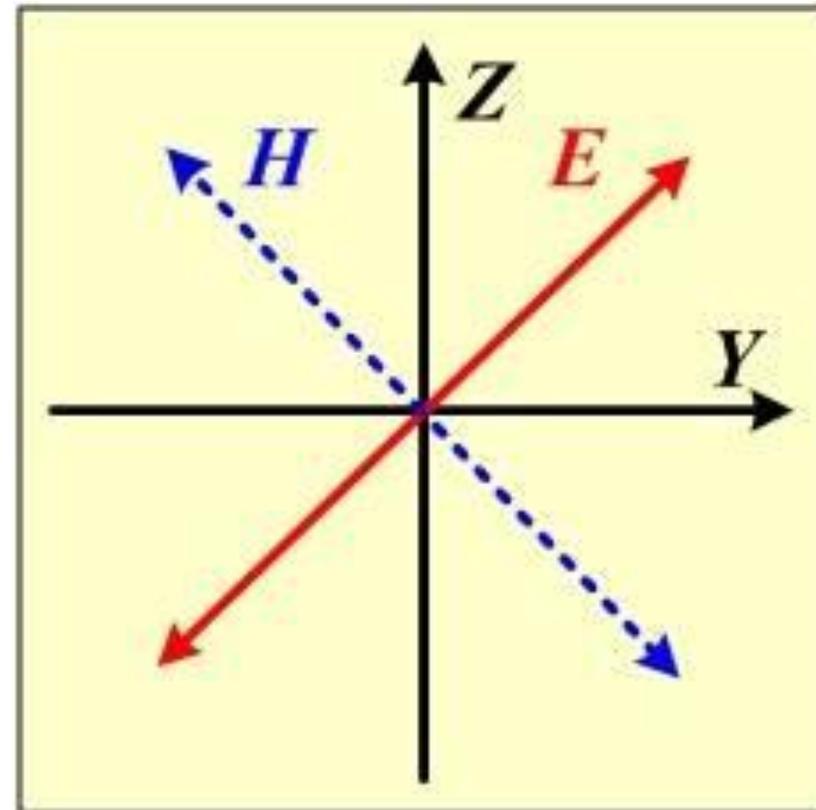
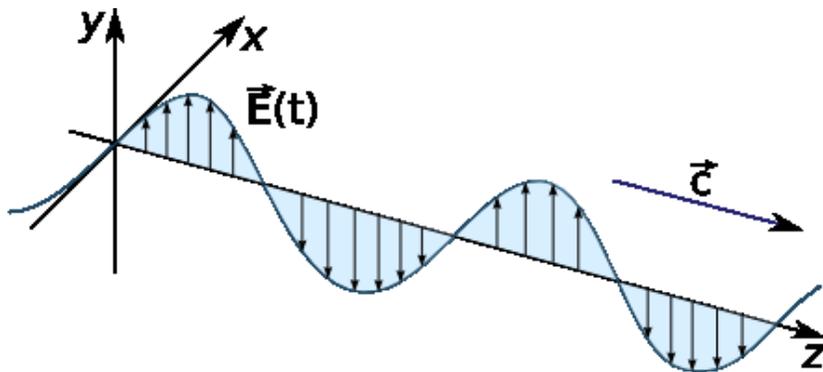


# ПЛОСКОСТЬ КОЛЕБАНИЙ. ПЛОСКОСТЬ ПОЛЯРИЗАЦИИ

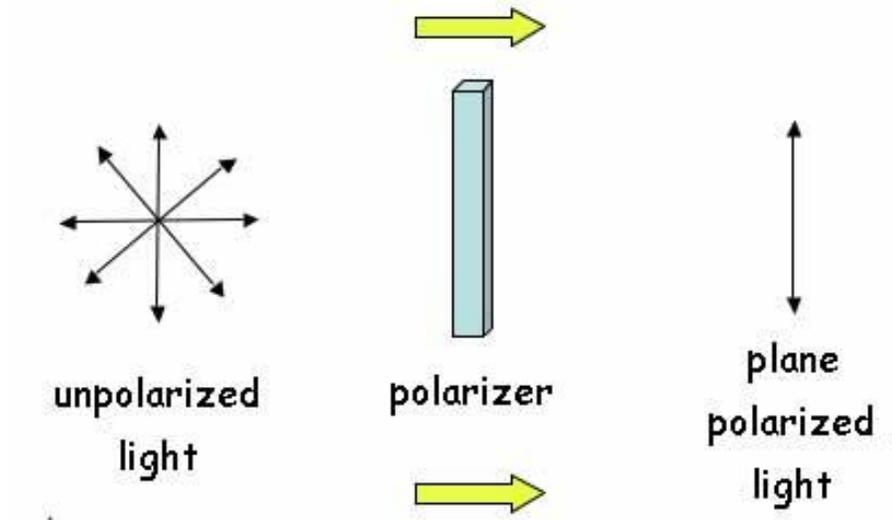
Плоскость, в которой колеблется световой вектор в плоскополяризованной волне, называется плоскостью колебаний.

Плоскостью поляризации называется плоскость, проходящая через световой луч и перпендикулярная плоскости, в которой совершает колебания световой вектор.

В плоскости поляризации волны колебания совершает напряженность магнитного поля волны.



# ПОЛЯРИЗАТОР

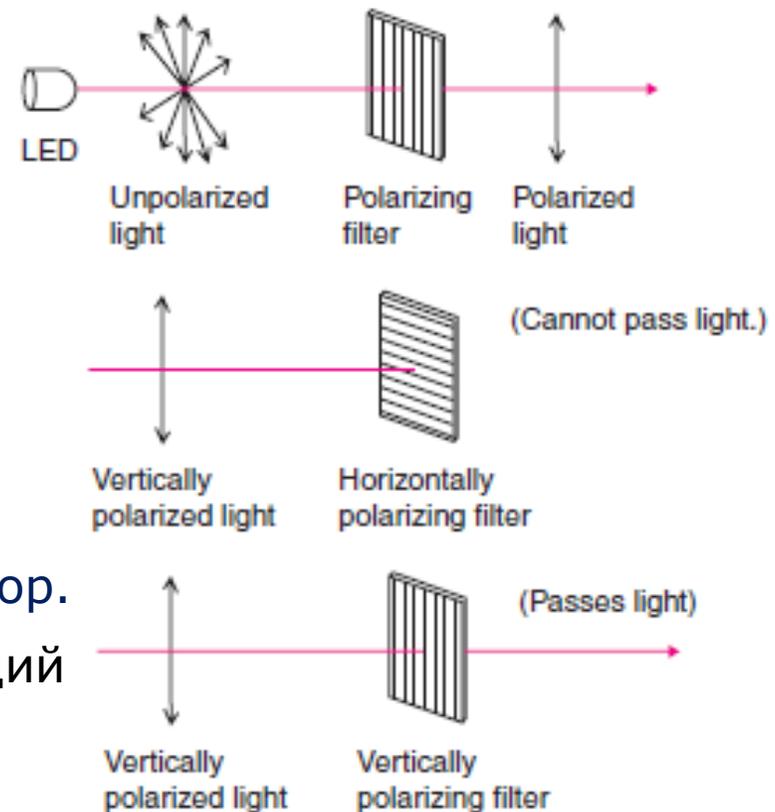


Плоскополяризованный свет можно получить из естественного с помощью прибора, называемого поляризатором.

Поляризаторы свободно пропускают колебания, параллельные плоскости, называемой плоскостью поляризатора.

Колебания, перпендикулярные плоскости поляризатора не пройдут через поляризатор.

Поляризатор лишь частично задерживающий колебания, перпендикулярные к его плоскости, называется несовершенным.



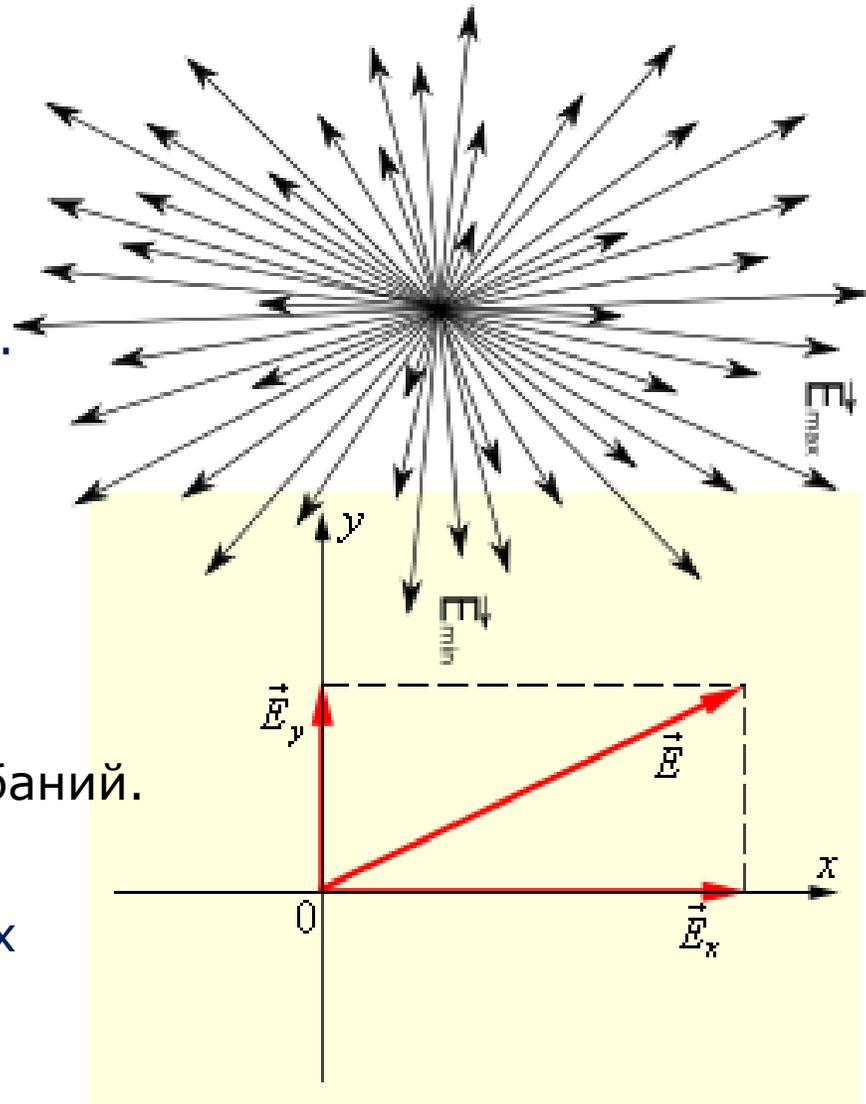
# ЧАСТИЧНО ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ СВЕТ

На выходе из несовершенного поляризатора колебания одного направления преобладают над колебаниями направления, перпендикулярного к преобладающему.

Такой свет называется **частично поляризованным светом**.

Частично поляризованный свет, как и естественный, можно представить в виде наложения двух некогерентных плоскополяризованных волн с взаимно перпендикулярными плоскостями колебаний.

Отличие заключается в том, что для естественного света интенсивность этих волн одинакова, а в случае частично поляризованного – разная.



# СТЕПЕНЬ ПОЛЯРИЗАЦИИ



Если пропустить частично поляризованный свет через поляризатор, то при вращении прибора вокруг направления луча интенсивность прошедшего света будет изменяться от  $I_{\max}$  до  $I_{\min}$ , причем переход от одного из этих значений к другому будет совершаться при повороте поляризатора на угол, равный  $\pi/2$ . То есть за один полный оборот по два раза будут достигаться максимальные и минимальные значения.

Выражение  $P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$  называется степенью поляризации.

Для плоско поляризованного света  $I_{\min} = 0$  и  $P = 1$ ;

для естественного света  $I_{\max} = I_{\min}$  и  $P = 0$ .

# ЗАКОН МАЛЮСА

Колебание амплитуды  $E$ , происходящее в плоскости, образующей с плоскостью поляризатора угол  $\varphi$ , можно разложить на два колебания с амплитудами:

$$E_{\parallel} = E \cos \varphi, \quad E_{\perp} = E \sin \varphi.$$

Первое колебание пройдет через поляризатор, а второе будет им задержано.

Интенсивность волны пропорциональна квадрату амплитуды, поэтому

$$I = I_0 \cos^2 \varphi,$$

где  $I$  — интенсивность волны с амплитудой  $E_{\parallel}$ , прошедшей через поляризатор; а  $I_0$  — интенсивность падающей волны с амплитудой  $E$ .

Полученное соотношение называется **законом Малюса**. Он означает, что колебание, параллельное плоскости поляризатора, проходит через него и несет с собой от падающей волны долю интенсивности, равную  $\cos^2 \varphi$ .

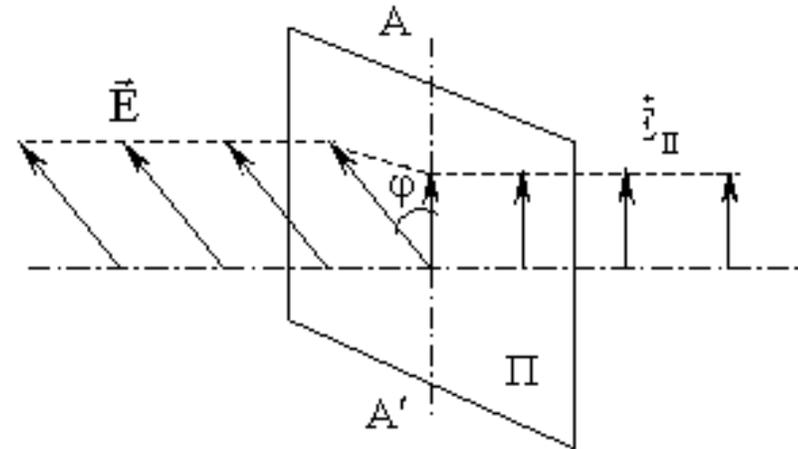
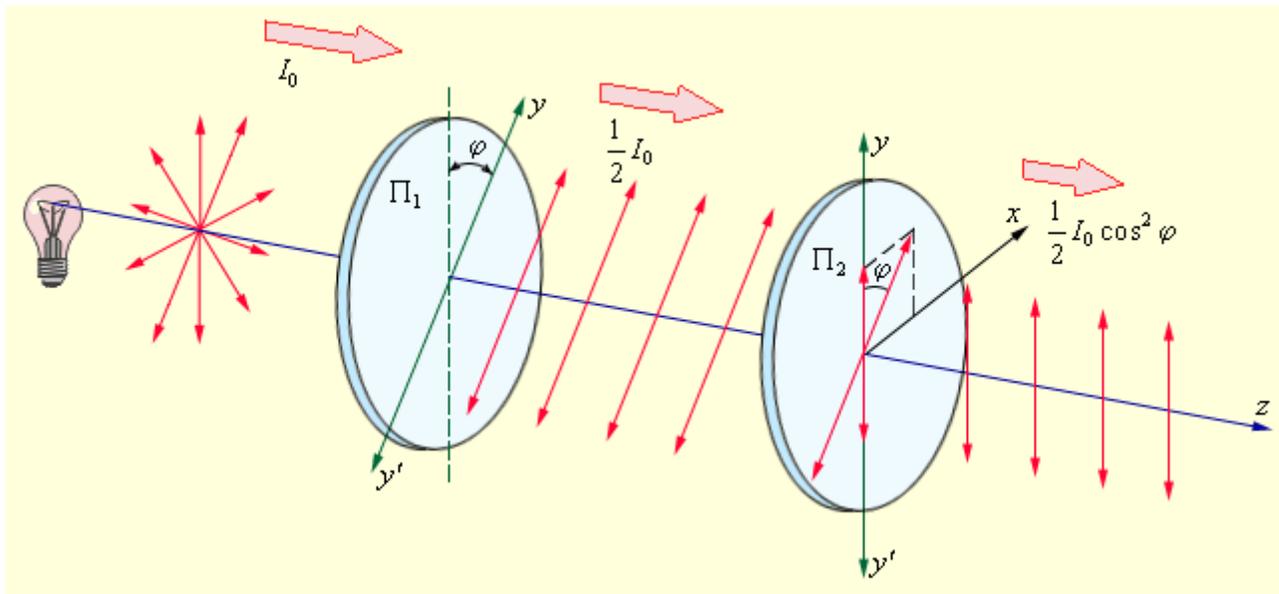


Рис. 2

# ЗАКОН МАЛЮСА

Поставим на пути естественного света интенсивностью  $I_0$  два поляризатора, плоскости которых образуют между собой угол  $\varphi$ .



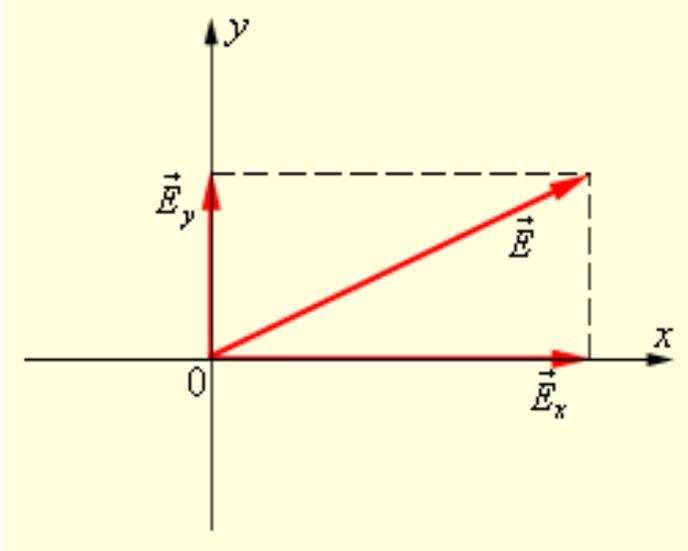
Из первого поляризатора свет выйдет плоскополяризованным с интенсивностью  $I_1 = I_0/2$ .

Это объясняется тем, что в естественном свете все направления колебаний перпендикулярные оси поляризатора равновероятны, а среднее значение квадрата косинуса равно одной второй.

По закону Малюса из второго поляризатора выйдет свет интенсивностью

$$I_2 = I_1 \cos^2 \varphi \Rightarrow I_2 = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \varphi.$$

# ПЛОСКОПОЛЯРИЗОВАННЫЙ СВЕТ



Допустим, что световые волны

$$E_x = A_1 \cos(\omega t), \quad E_y = A_2 \cos(\omega t + \delta)$$

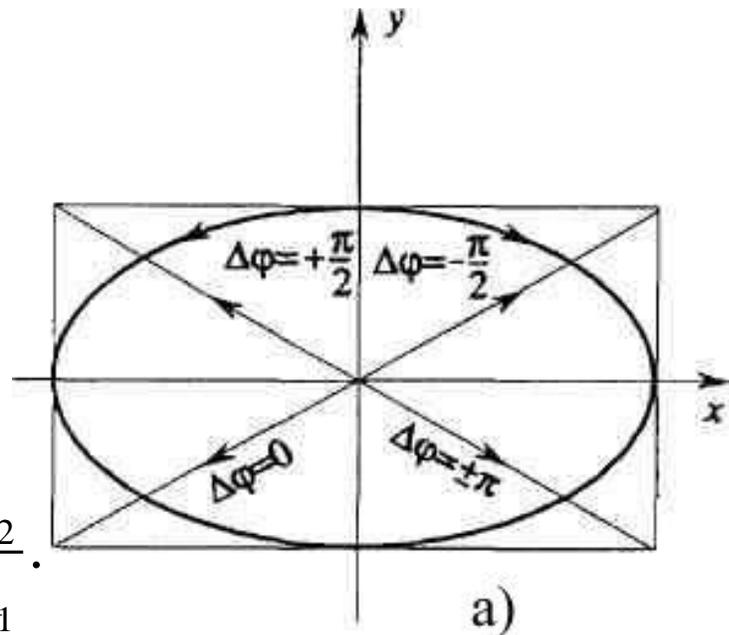
когерентны, причем сдвиг фаз  $\delta \equiv \Delta\varphi = 0, \pm\pi$ .

Тогда 
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{A_2 \cos(\omega t + \delta)}{A_1 \cos(\omega t)} = \pm \frac{A_2}{A_1} = \text{const.}$$

Полученный результат означает, что результирующее колебание совершается в фиксированном направлении - волна оказывается плоскополяризованной или линейнополяризованной.

Если  $\delta \equiv \Delta\varphi = 0 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = \frac{A_2 \cos(\omega t)}{A_1 \cos(\omega t)} = \frac{A_2}{A_1}$ .  
(первая-третья четверти)

Если  $\delta \equiv \Delta\varphi = \pm\pi \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = \frac{-A_2 \sin(\omega t)}{A_1 \cos(\omega t)} = -\frac{A_2}{A_1}$ .  
(вторая-четвертая четверти)

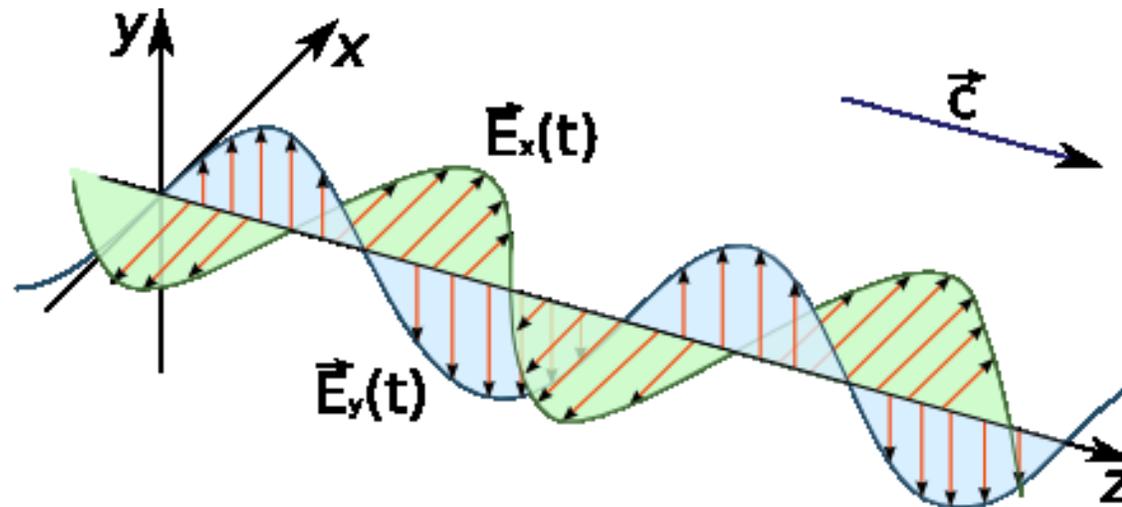
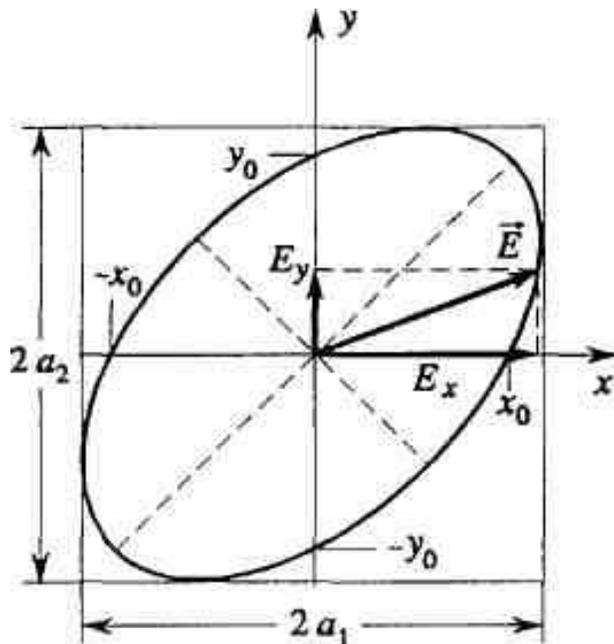


# ЭЛЛИПТИЧЕСКИ ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ СВЕТ

Две когерентные линейно поляризованные световые волны, плоскости колебаний которых взаимно перпендикулярны, при наложении друг на друга дают в общем случае эллиптически поляризованную волну.

При произвольной разности фаз между волнами эллипс, описываемый световым вектором, «не приведен к координатным осям».

При разности фаз  $\delta = \pm \pi/2$  и произвольных амплитудах полуоси эллипса совпадают с осями координат. При равенстве амплитуд эллипс вырождается в окружность.



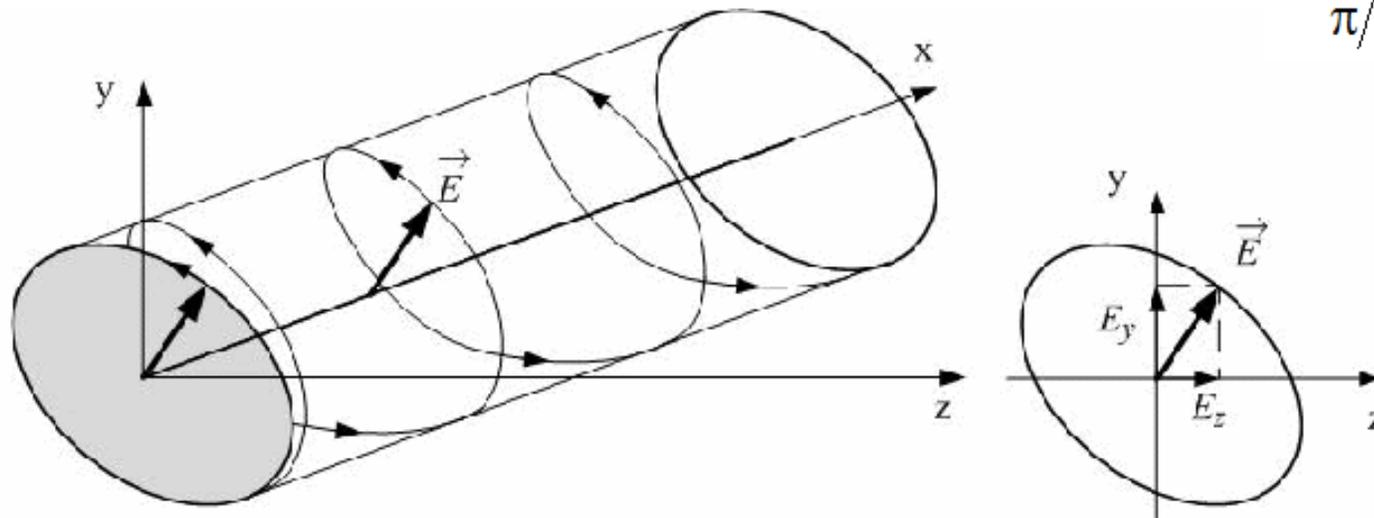
# Эллиптическая поляризация

- Эллиптически поляризованной называют волну, у которой вектор  $\vec{E}$  в любой точке пространства вращается, описывая за время одного периода  $T$  своим концом эллипс.

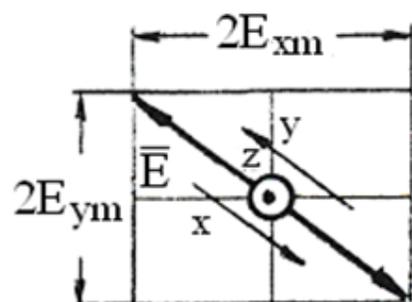
Эта кривая является геометрическим местом точек, координаты которых удовлетворяют системе уравнений

$$\left(\frac{E_x}{E_{xm}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{ym}}\right)^2 - 2\frac{E_x E_y}{E_{xm} E_{ym}} \cos \Delta\varphi = \sin^2 \Delta\varphi$$

$$\pi/2 < \Delta\varphi < \pi$$

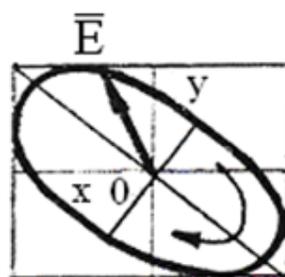


# Эллиптическая поляризация



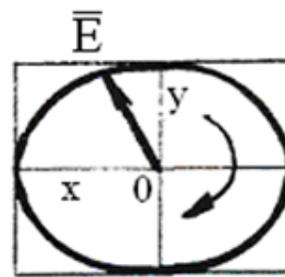
$$\Delta\varphi = 0$$

а)



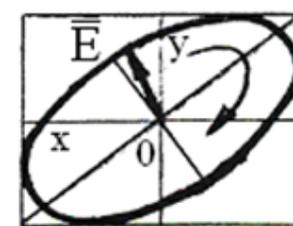
$$0 < \Delta\varphi < \pi/2$$

б)



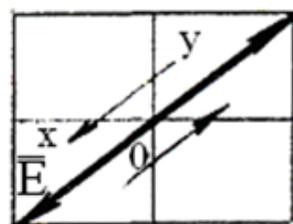
$$\Delta\varphi = \pi/2$$

в)

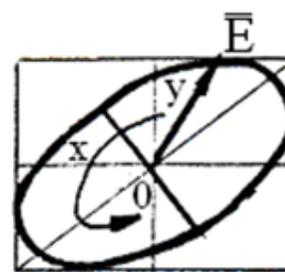


$$\operatorname{tg} \varphi_e < \Delta\varphi < \pi$$

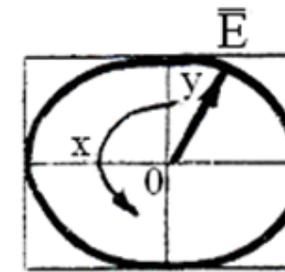
г)



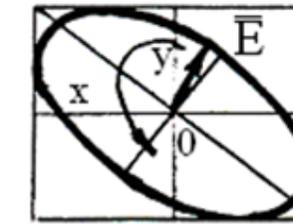
$$\Delta\varphi = \pi$$



$$\pi < \Delta\varphi < 3\pi/2$$

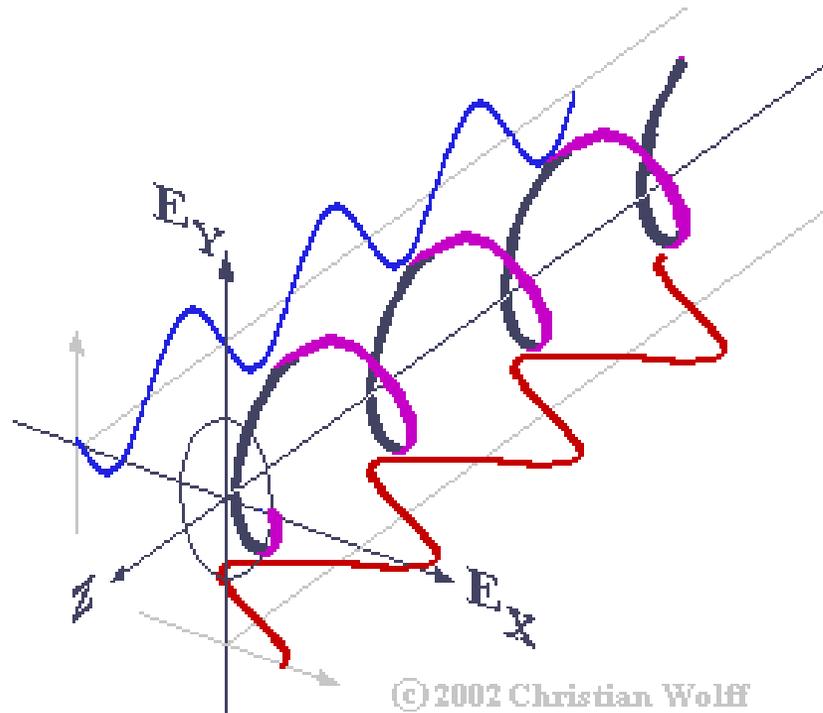


$$\Delta\varphi = 3\pi/2$$



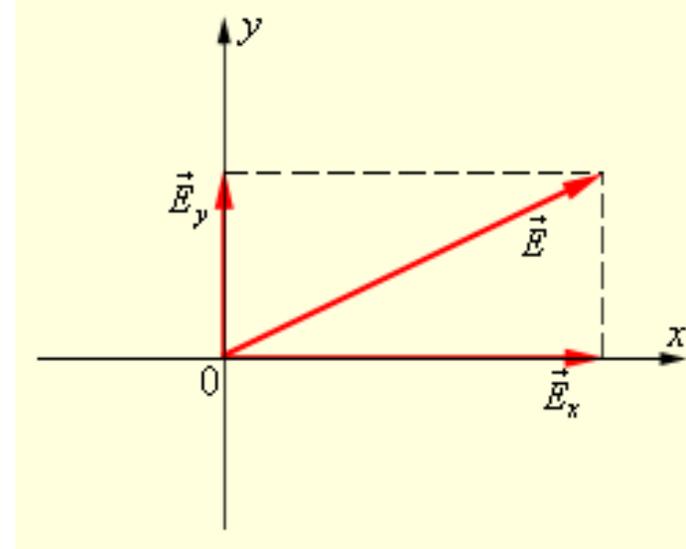
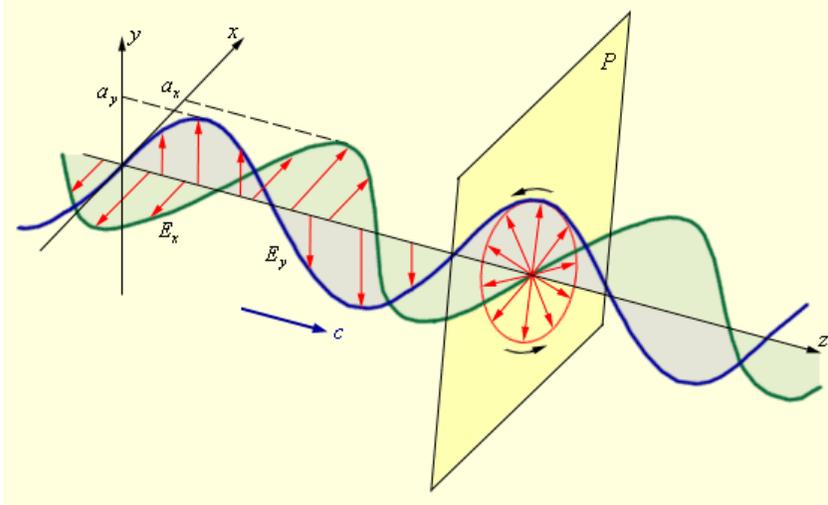
$$3\pi/2 < \Delta\varphi < 2\pi$$

- В зависимости от направления вращения конца вектора относительно направления распространения волны (если смотреть в направлении ее распространения) во времени в фиксированной точке пространства различают поляризацию **правого** (по часовой стрелке) и **левого** (против часовой стрелки) **вращения**



Любая волна, поляризованная по эллипсу, может быть представлена в виде суммы двух линейно поляризованных волн, плоскости поляризации которых взаимно перпендикулярны, а фазы сдвинуты на угол, отличный от нуля или  $\pi$ .

# СВЕТ ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ ПО КРУГУ



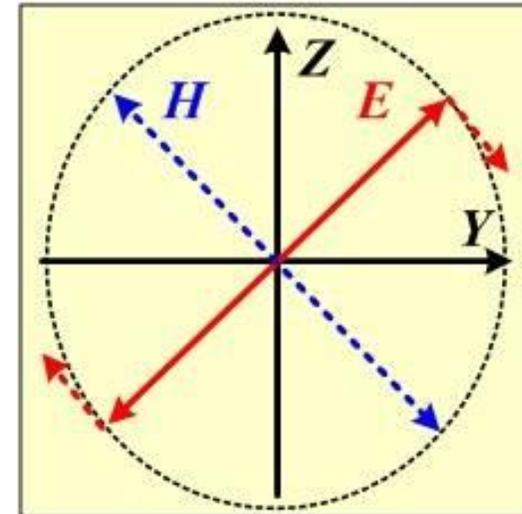
Допустим, что световые волны

$$E_x = A_1 \cos(\omega t), \quad E_y = A_2 \cos(\omega t + \delta)$$

когерентны, причем  $A_1 = A_2$  и сдвиг фаз  $\delta = \pm \pi/2$ .

$$\text{Тогда } \operatorname{tg} \varphi = \frac{E_y}{E_x} = \frac{A_2 \cos(\omega t \pm \pi/2)}{A_1 \cos(\omega t)} = \mp \frac{\sin(\omega t)}{\cos(\omega t)} = \mp \operatorname{tg}(\omega t).$$

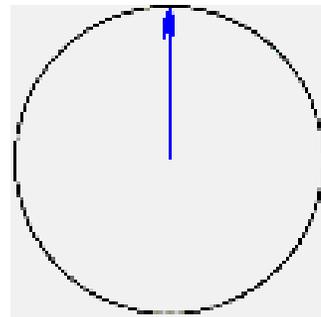
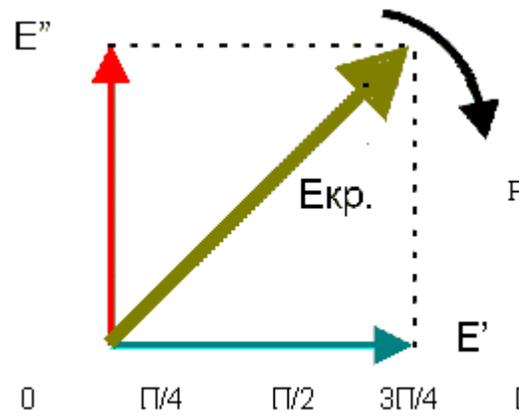
Этот результат означает, что плоскость колебаний поворачивается вокруг направления луча с угловой скоростью, равной частоте колебаний.



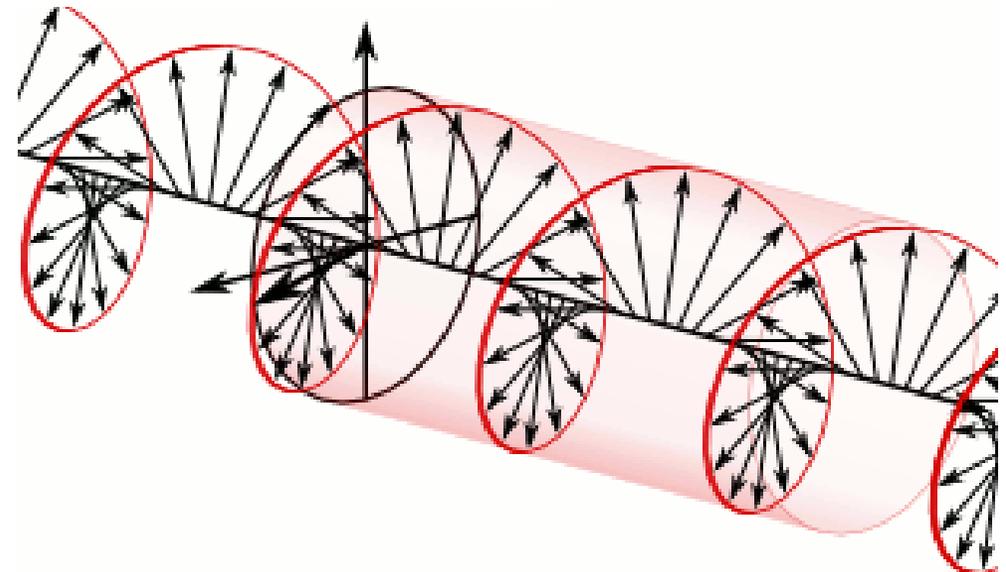
# Круговая поляризация

- При круговой поляризации волны вектор  $E$  в любой точке пространства равномерно вращается, описывая за время одного периода  $T$  своим концом окружность.

$$E_{xm} = E_{ym} = E_0 \quad \Delta\varphi = \pi/2$$

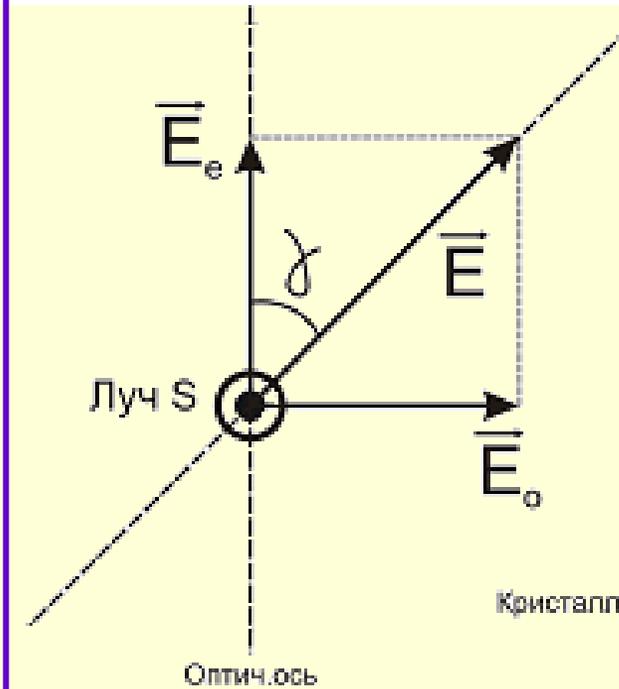


$$\left(\frac{E_x}{E_0}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_0}\right)^2 = 1$$



# Условия получения света круговой поляризации

- на кристалл падает свет линейной поляризации;
- вектор амплитуды падающей волны должен разделиться на обыкновенную и необыкновенную компоненты так что  $|\mathbf{E}_o| = |\mathbf{E}_e|$ ; для этого вектор амплитуды  $\mathbf{E}$  в падающей волне должен составлять с оптической осью угол  $\gamma = 45^\circ$ .
- разность хода между обыкновенной и необыкновенной волнами, вносимая кристаллом, равна  $\Delta_{oe} = (2m + 1)\lambda/4$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ); разность фаз  $\Delta\Phi_{oe} = (2m + 1)\pi/2$ . Такая пластинка называется “**четвертьволновой**” или “**пластина в  $\lambda/4$** ”;



# Фазовые пластинки

- это оптический элемент, предназначенный для преобразования состояния поляризации проходящего излучения.

Фазовая пластина создаёт определённую разность фаз между ортогональными линейно-поляризованными компонентами светового излучения.

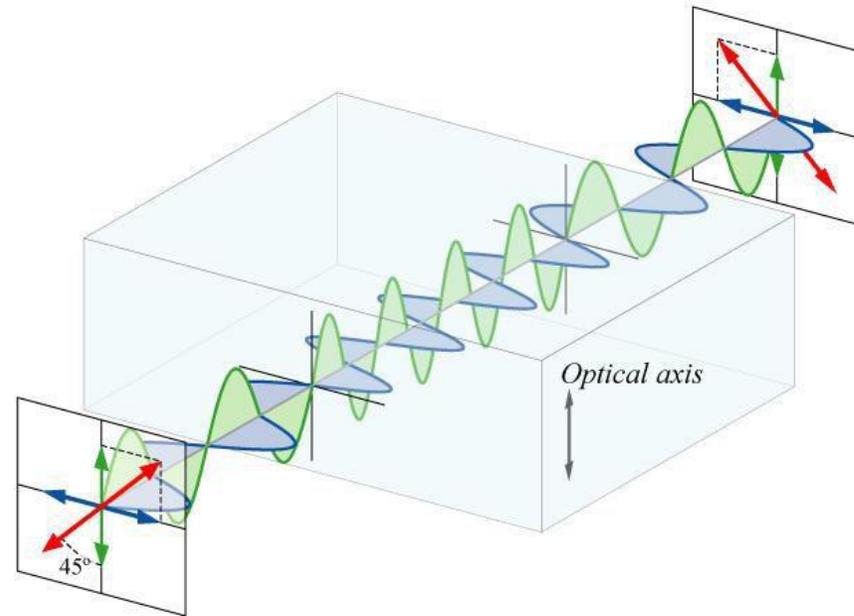
Хроматические фазовые пластины изготавливаются на определённую длину волны.

Пластины могут быть

- полуволновыми ( $\lambda/2$ ),  
создающими разность хода  $\Delta_{oe} = (2m+1)\lambda/2$
- четвертьволновыми ( $\lambda/4$ ),  
создающими разность хода  $\Delta_{oe} = (2m+1)\lambda/4$

# Фазовые пластинки

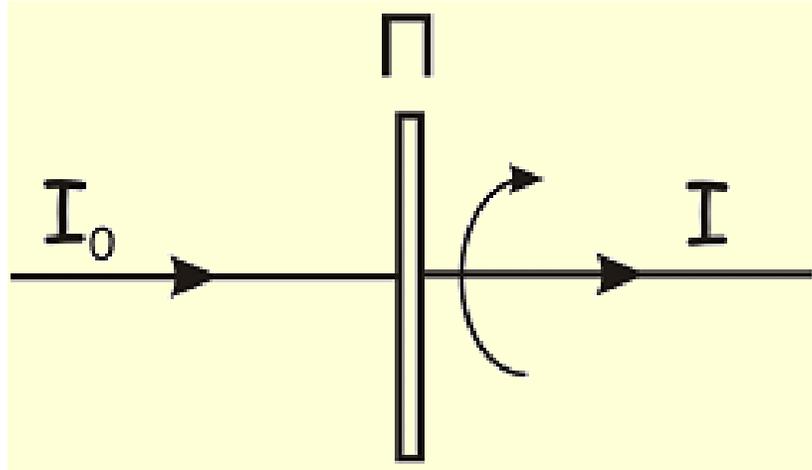
**Полуволновые** фазовые пластины используются для вращения плоскости поляризации линейно-поляризованного излучения. При циркулярно-поляризованном излучении они служат для изменения направления вращения плоскости.



**Четвертьволновые** фазовые пластины служат для преобразования линейно-поляризованного излучения в циркулярно-поляризованное или эллиптически-поляризованного в линейное при фиксированной ориентации.

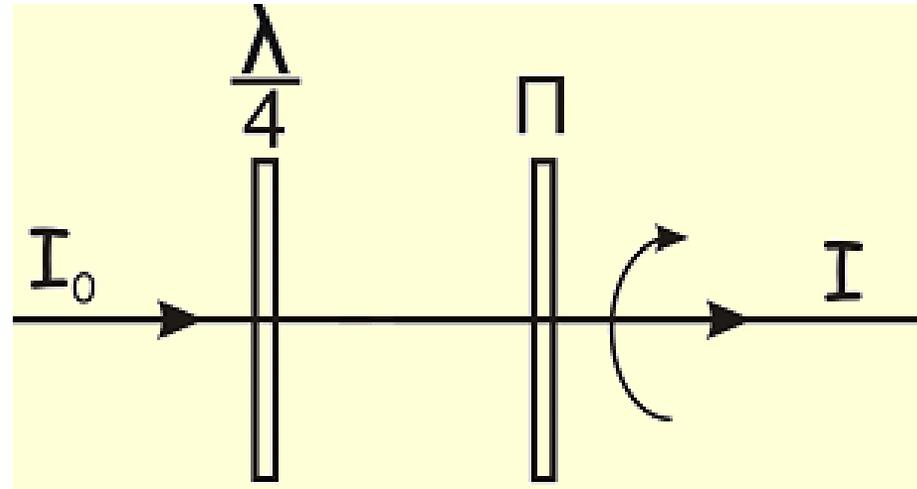
# Анализ состояния поляризации света

## 1. Линейно поляризованный свет



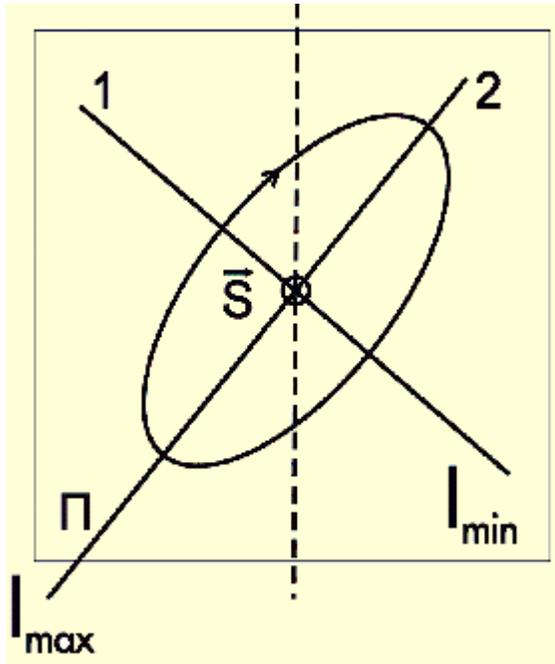
## 2. Свет естественный и поляризованный по кругу

Ориентация  
пластинки – любая:  
ЦПС  $\longrightarrow$  ЛПС



# Анализ состояния поляризации света

## 3. эллиптически и частично поляризованный свет



Главные направления  
пластинки совпадают с  
главными осями эллипса:  
ЭПС  $\longrightarrow$  ЛПС

