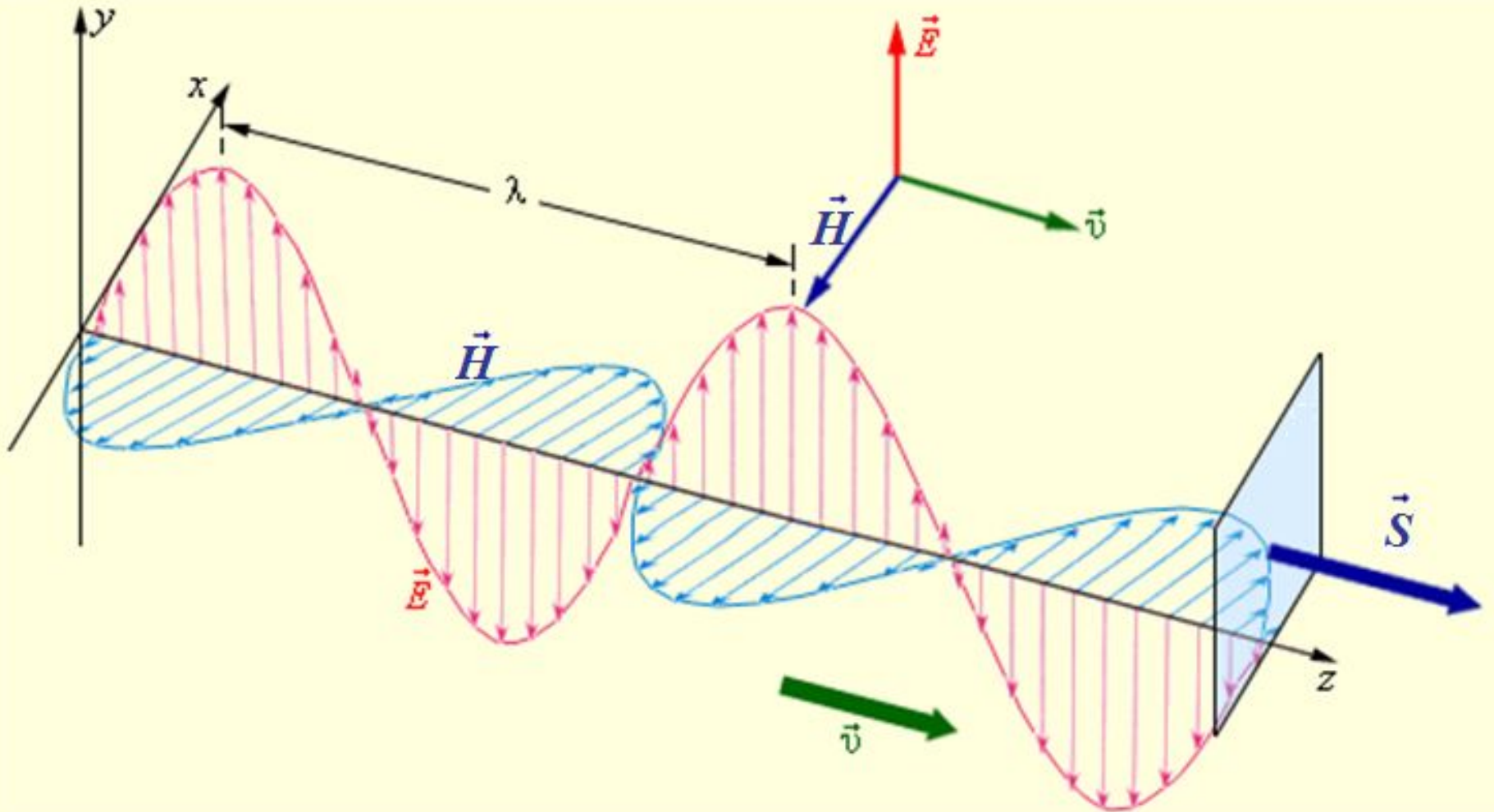
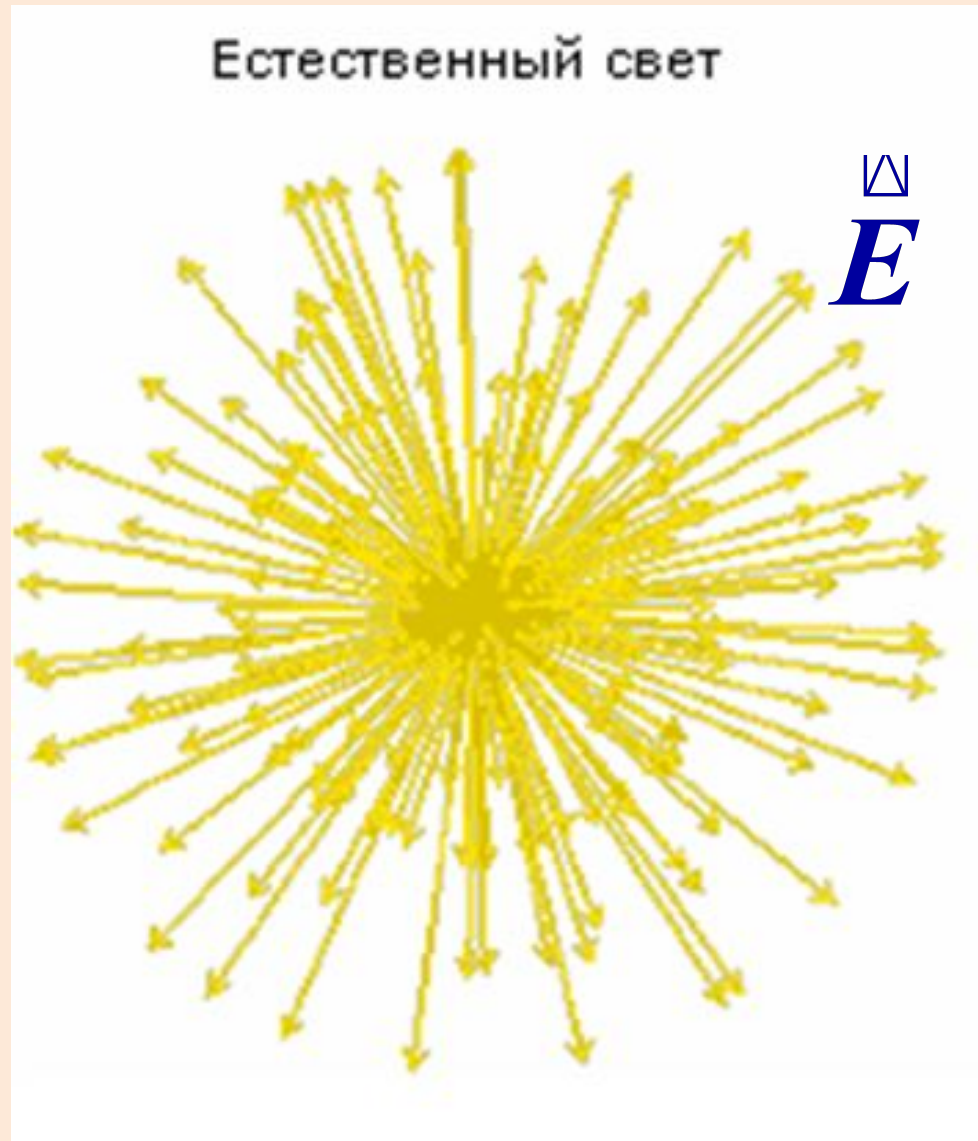


# ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

# Синусоидальная (гармоническая)



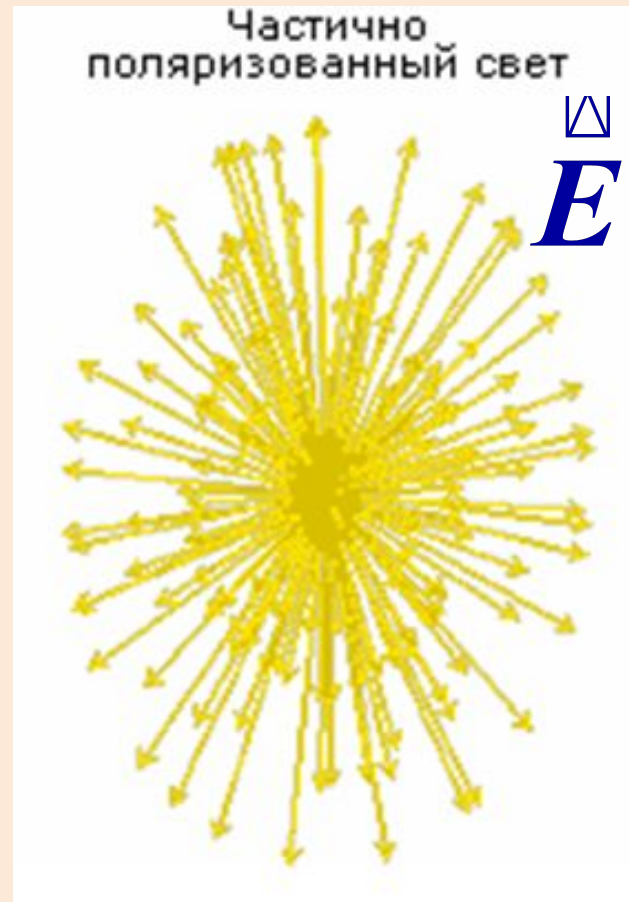
# В естественном свете колебания светового вектора



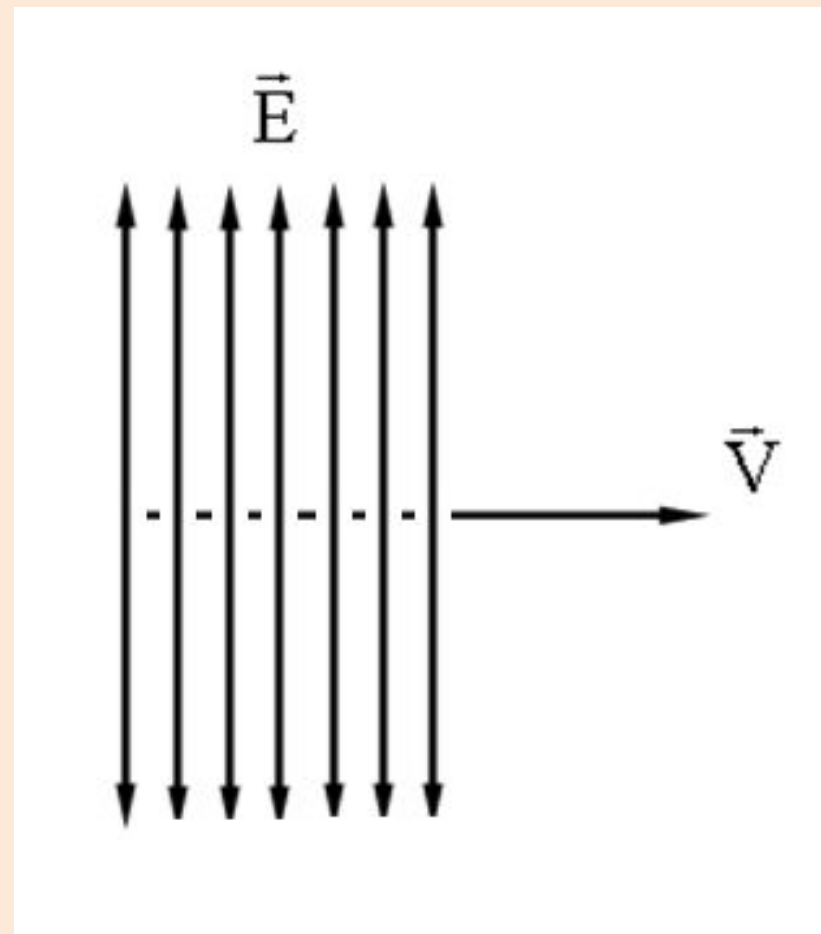
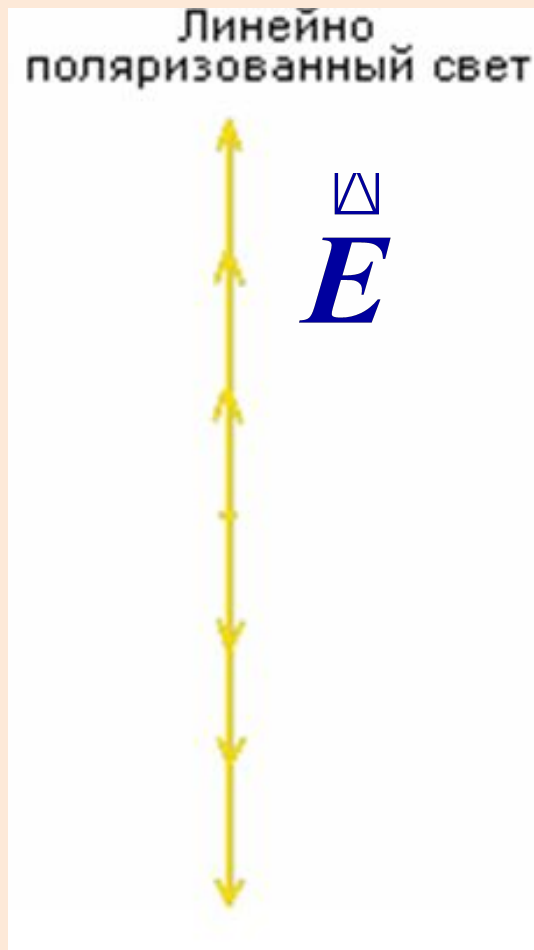
**Если колебания  
светового вектора как-  
то упорядочены, то  
свет называют  
поляризованным.**

**Есть несколько видов  
поляризации.**

# 1. Частичная : одно направление колебаний преобладает.



## 2. Линейная (плоская): колебания происходят только в одном направлении.

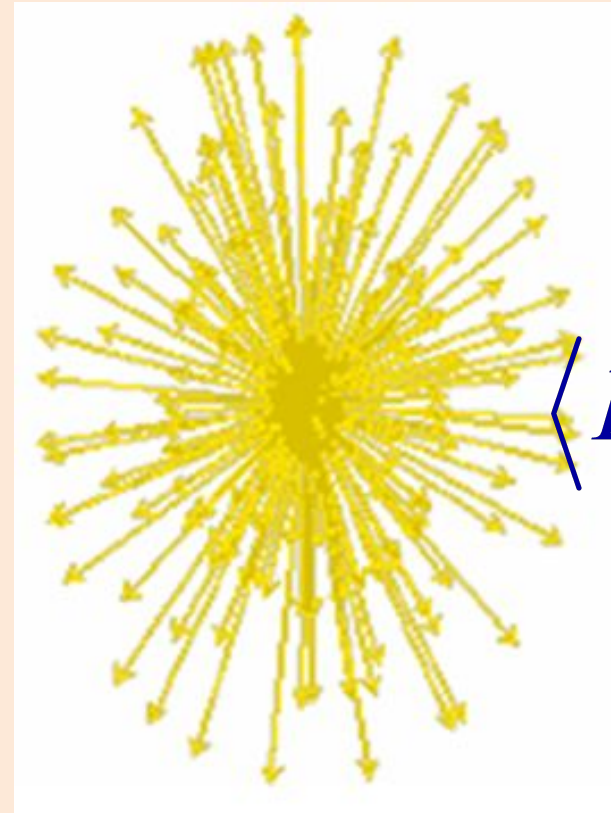


# Степень поляризации

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

$$I_{\max} = E_{\max}^2; \quad I_{\min} = E_{\min}^2.$$

$\langle E_{\max} \rangle$



$\langle E_{\min} \rangle$

**Для естественного света**

$$I_{\max} = I_{\min}$$

$$P = 0$$

**Для**

**плоскополяризованного**

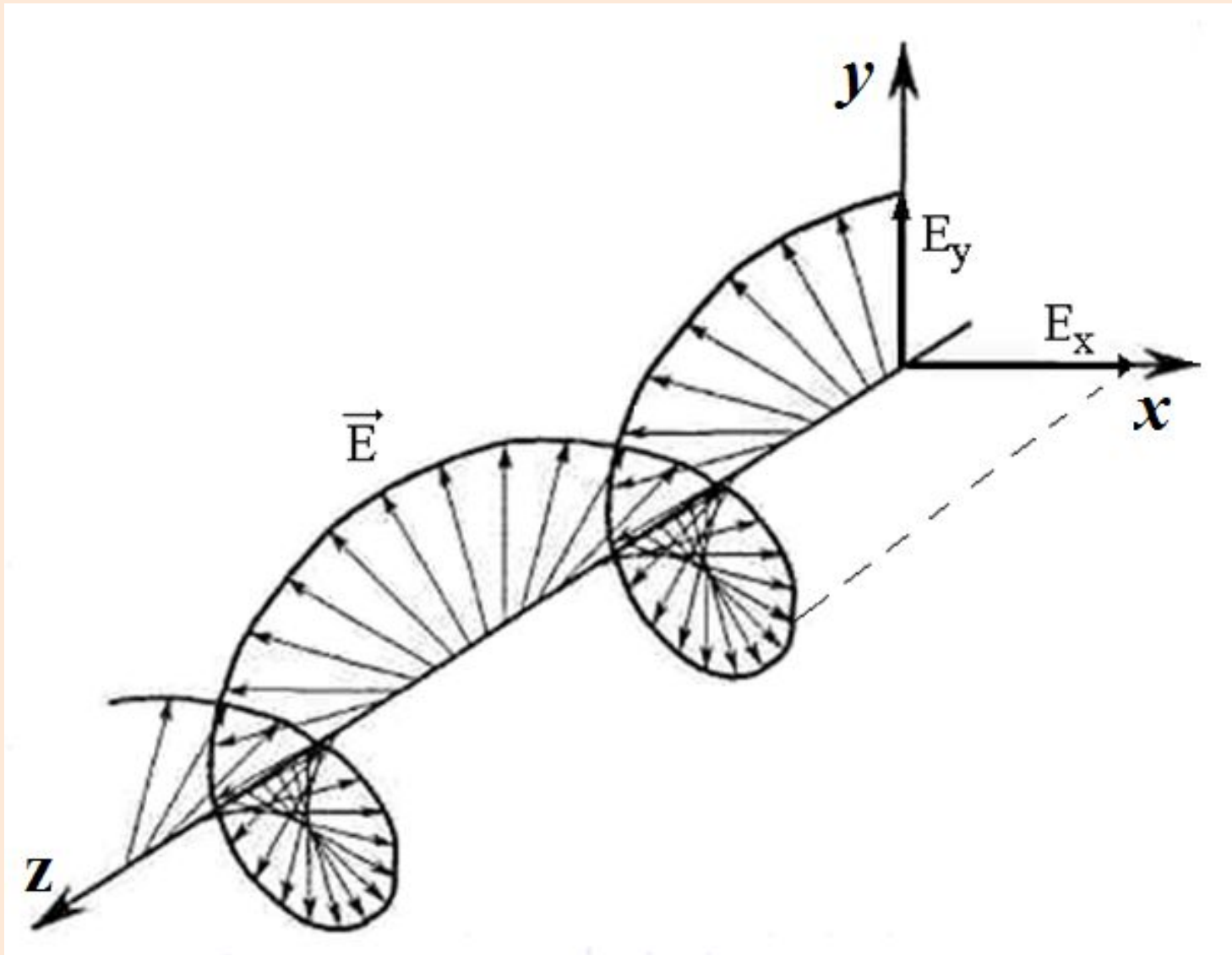
**света**

$$I_{\min} = 0$$

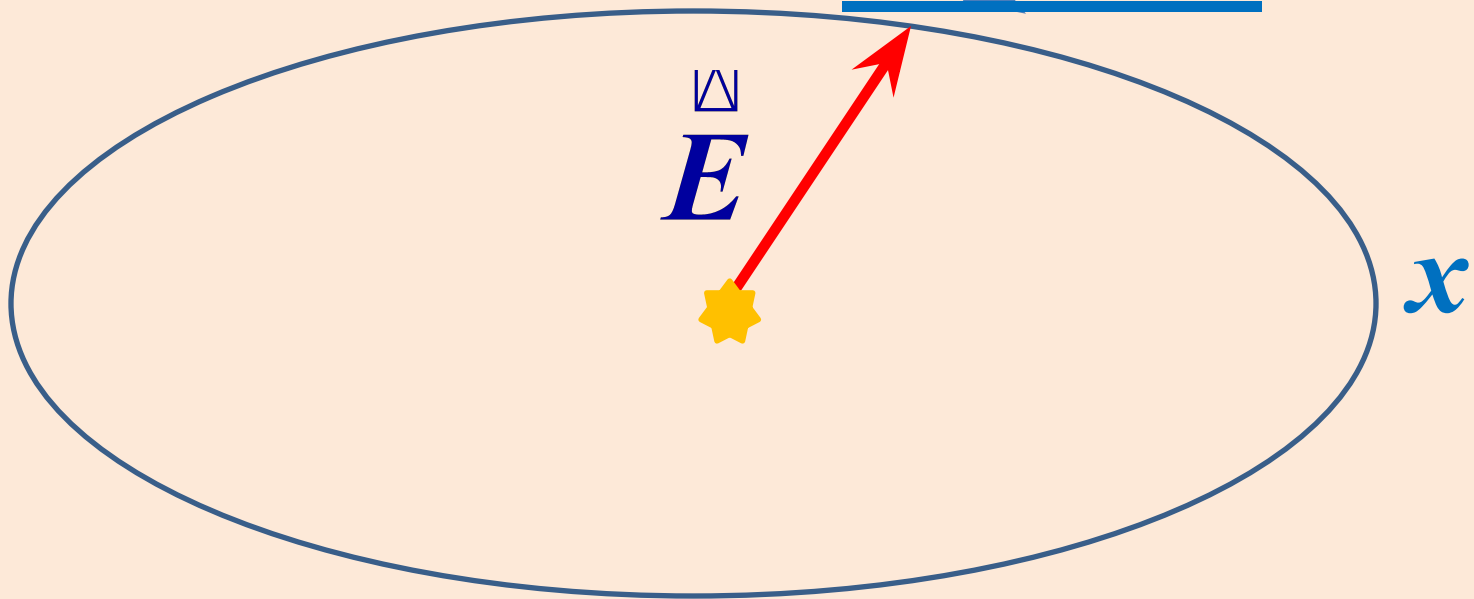
$$P = 1$$



### 3. Эллиптическая.

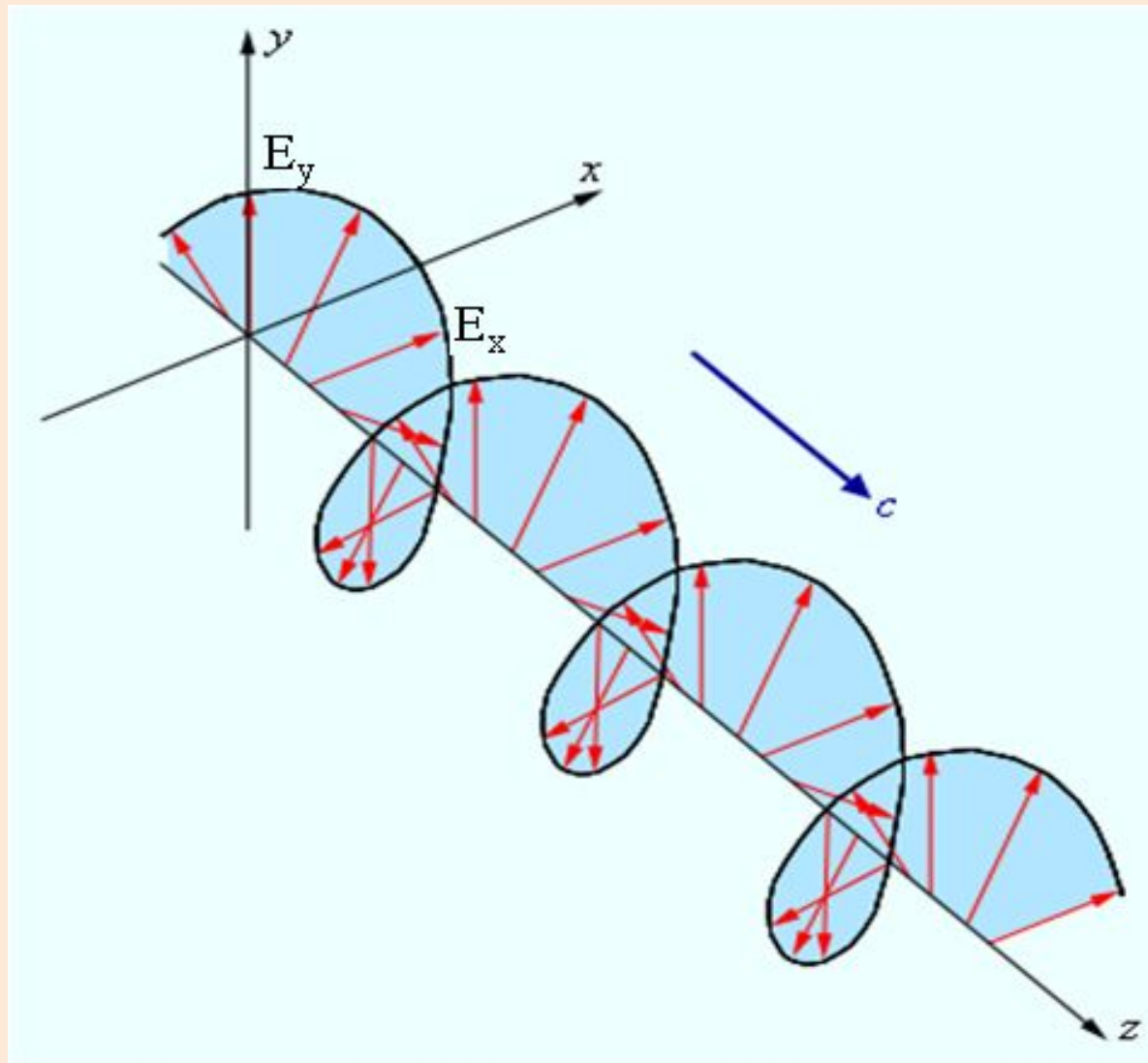


В плоскости  $xy$  кончик  
светового вектора  
выписывает эллипс.

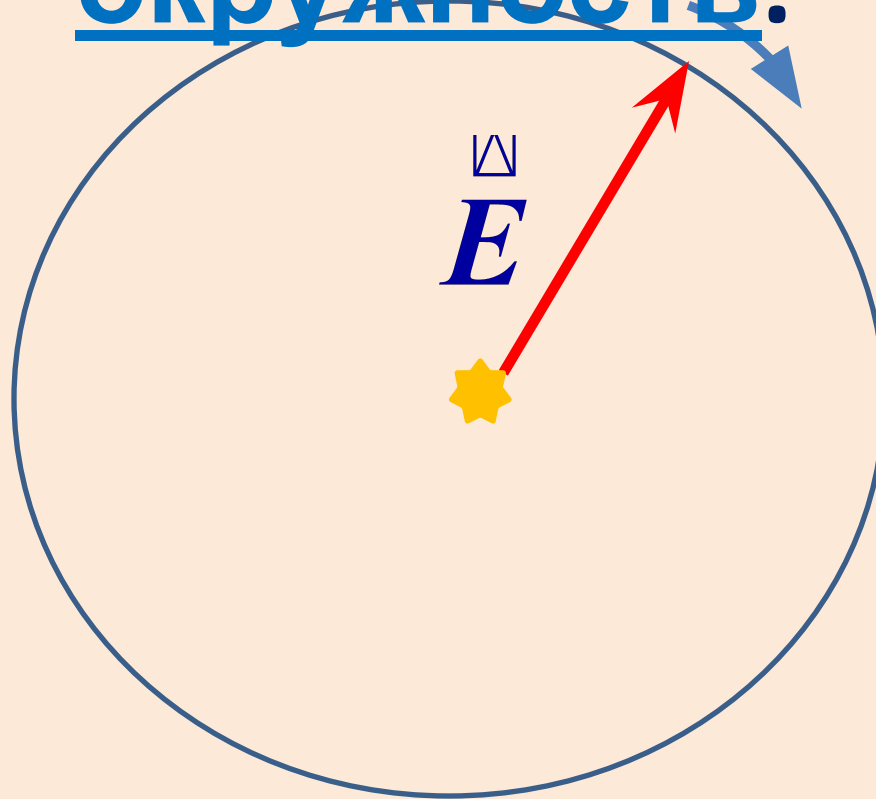


Поляризация м.б.  
правовинтовой и  
левовинтовой

# 4. Круговая.

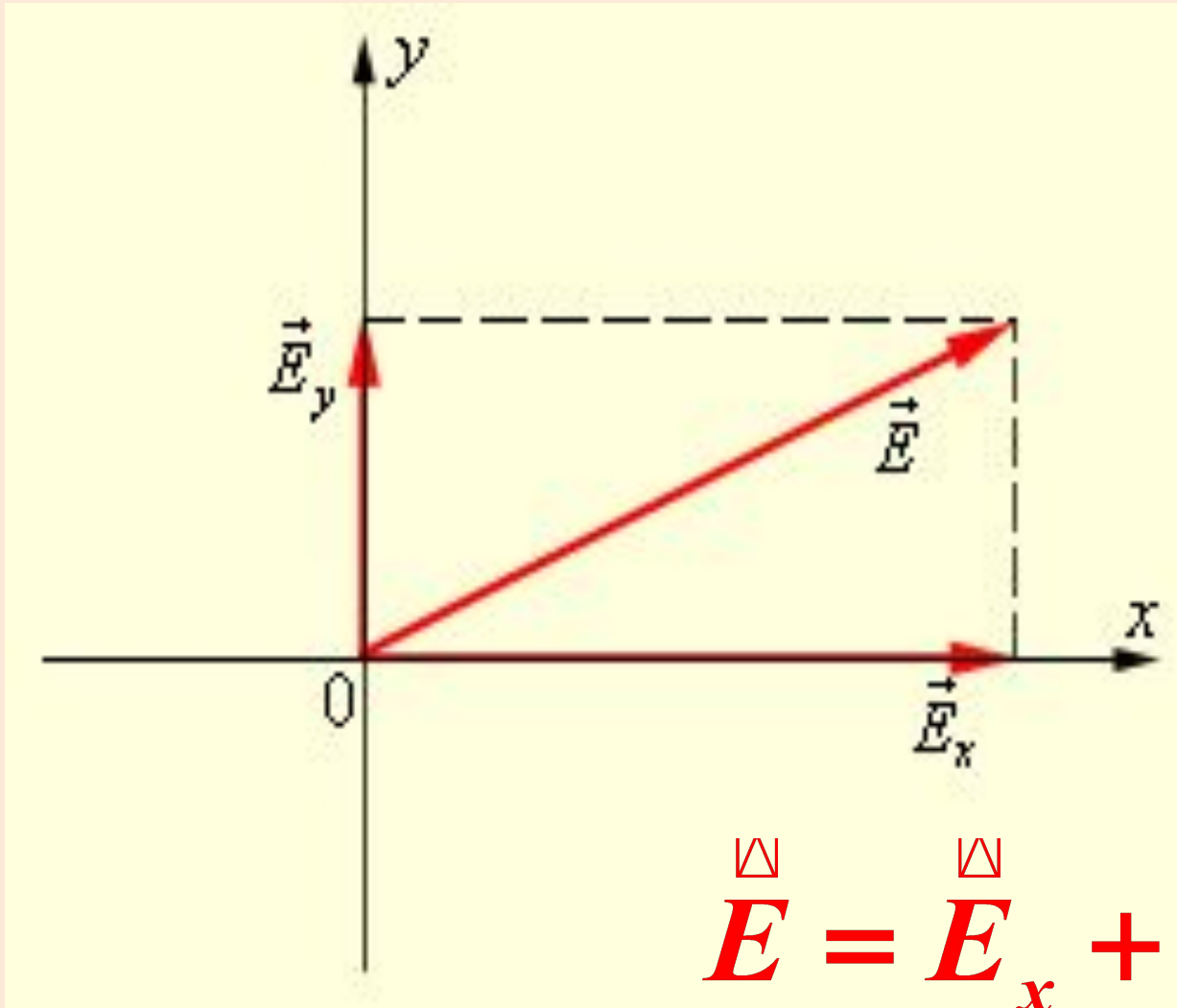


# Кончик выписывает окружность.



**Круговая и линейная  
поляризации –  
частные случаи  
эллиптической  
поляризации.**

# Разложение светового вектора на составляющие

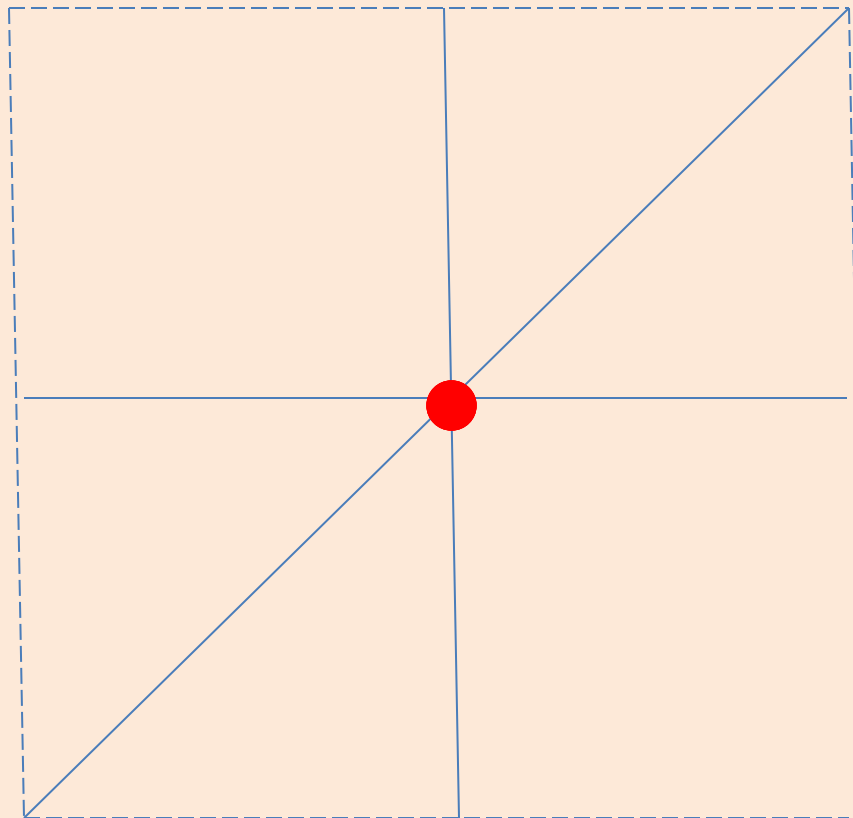


$$\vec{E} = \vec{E}_x + \vec{E}_y$$

**В естественном свете эти  
компоненты некогерентны,  
а в поляризованном  
когерентны.**

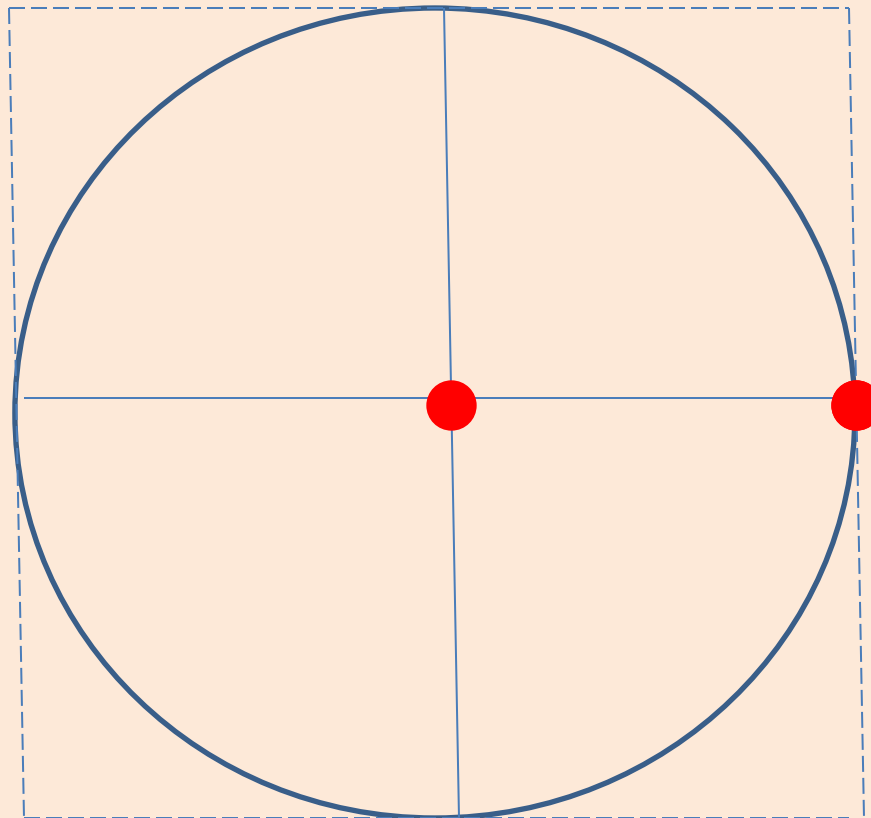
**Пусть колебания  
компонент сдвинуты по  
фазе на  $\Delta\phi$ .**

Если  $\Delta\phi = 0$  или  $\pi$ , то поляризация линейная.

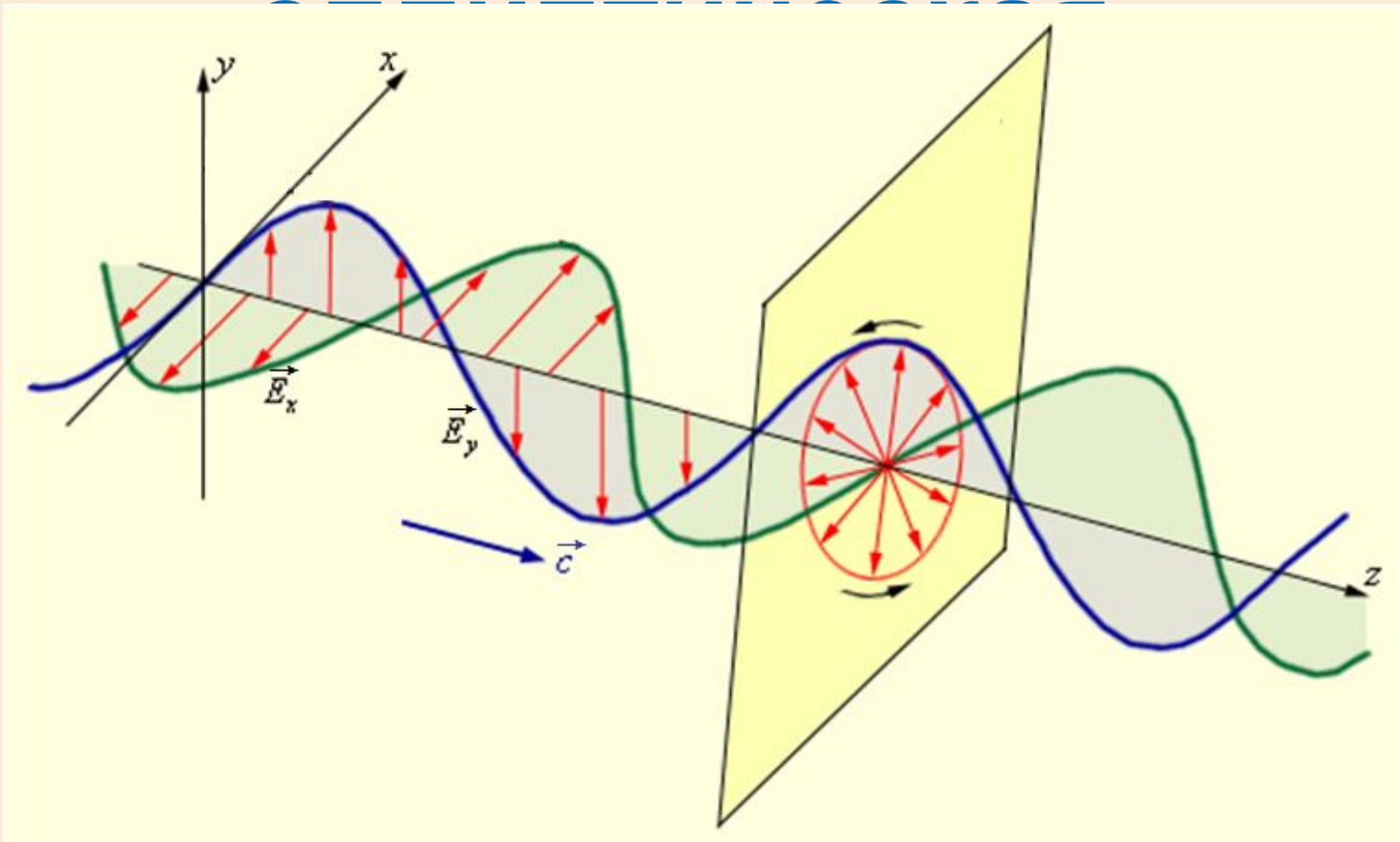




При  $\Delta\phi = \pi/2$  и  $E_x = E_y$   
поляризация круговая.

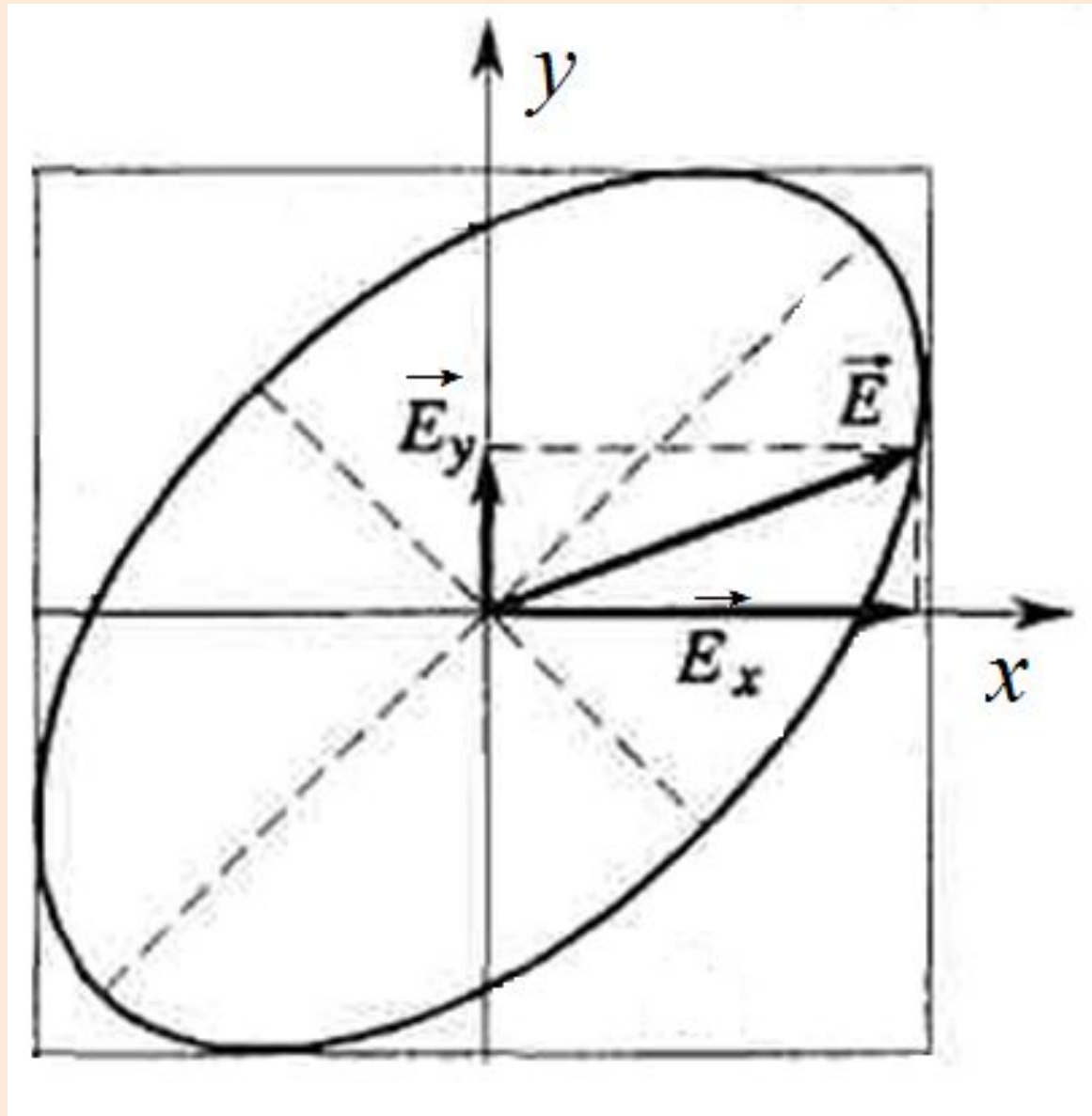


# Во всех других случаях поляризация



**Эллиптически  
поляризованные волны  
образуются в результате  
сложения двух взаимно  
перпендикулярно  
поляризованных волн.**

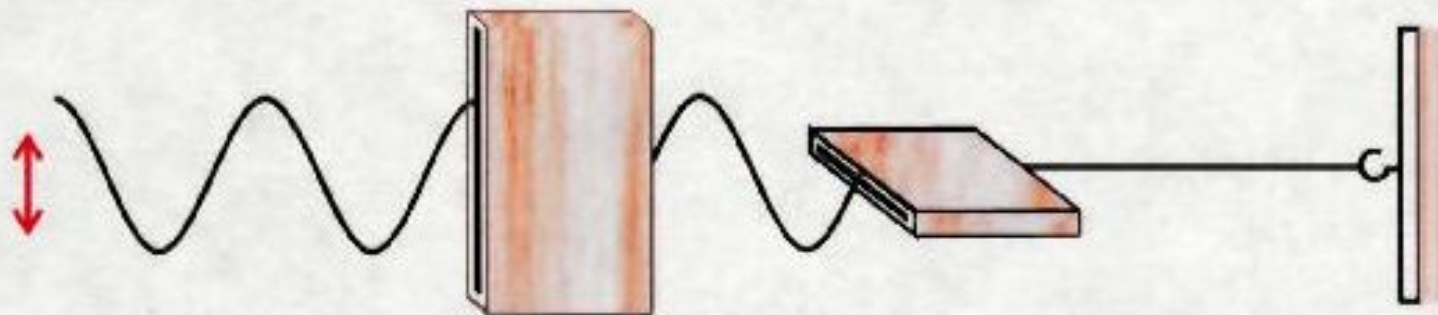
# Эллипс поляризации



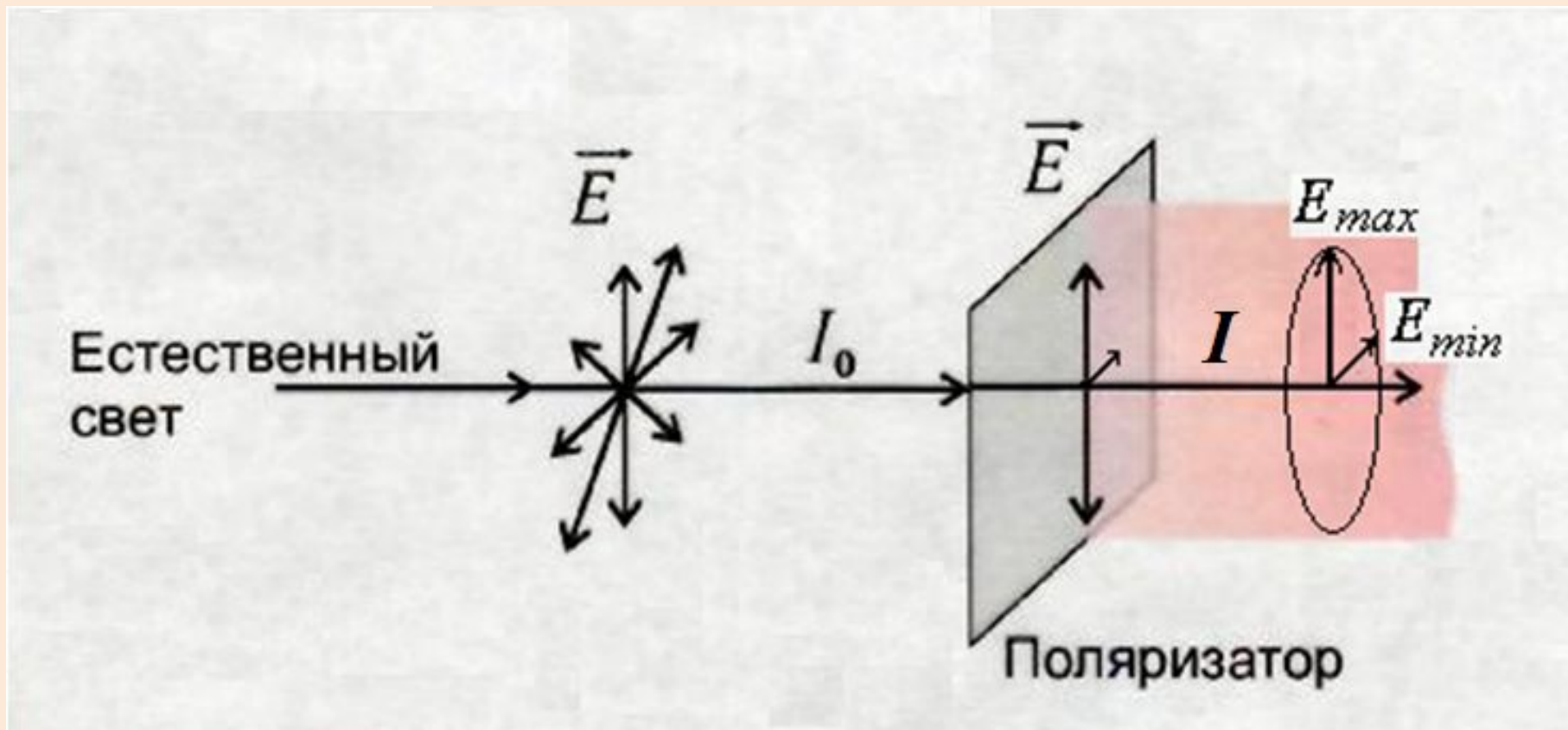
# Поляризаторы

Это природные кристаллы или устройства, позволяющие получить линейно поляризованный свет из естественного. Они пропускают только одну компоненту светового вектора.

## Поляризация механических волн



# Реально получается частичная поляризация.



**Направление колебаний,  
пропускаемое  
поляризатором, называют  
осью поляризатора.  
Поляризаторы  
используют и для анализа  
поляризованного света.  
Тогда их называют  
анализаторами.**

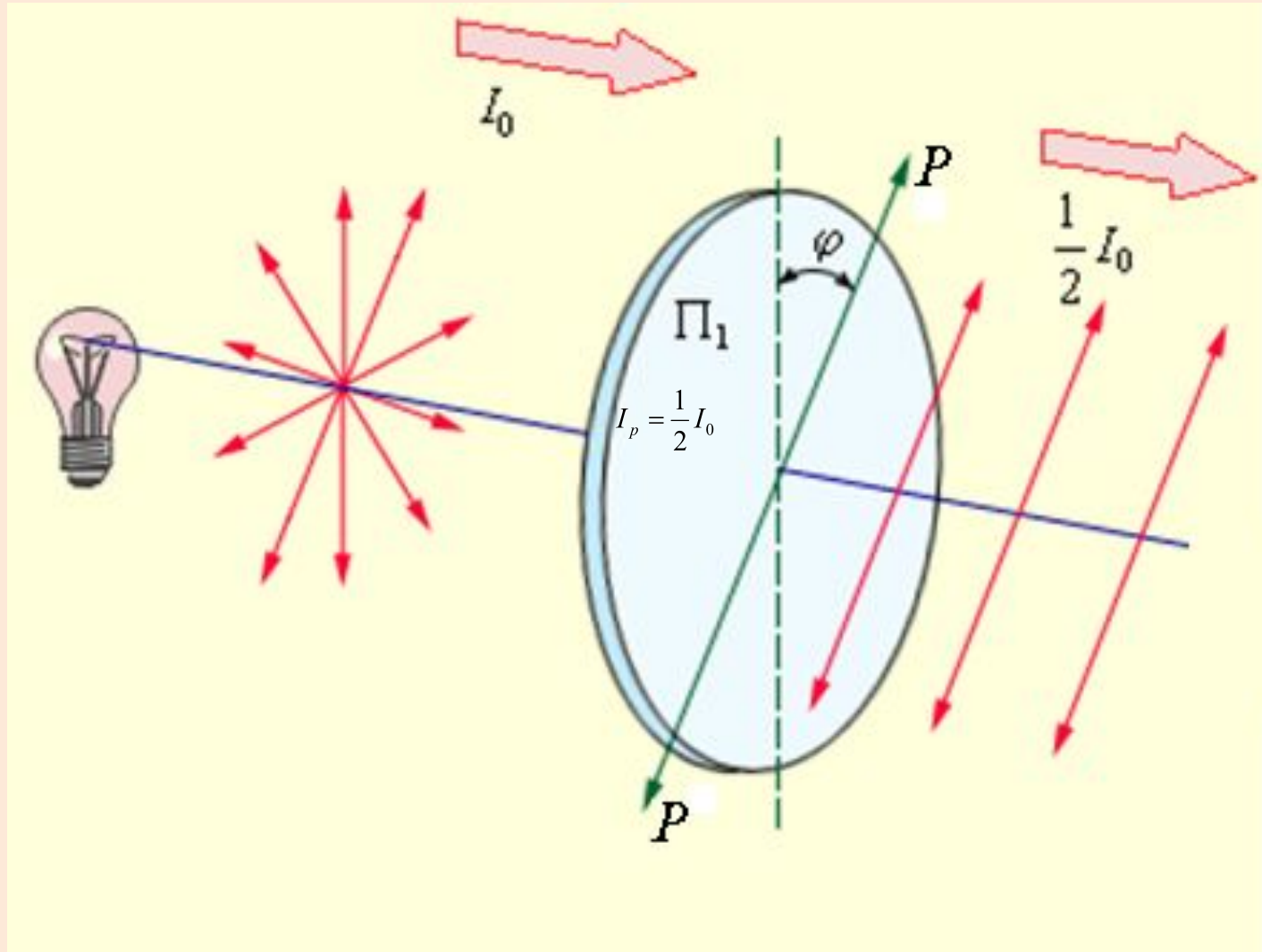


**В идеальном  
поляризаторе ( $P = 1$  и нет  
поглощения)  
интенсивность света на  
выходе ослабляется в 2**

**$I$  раз,**

$$I = \frac{I_0}{2}$$

# Поляризация естественного света поляроидом



***PP*** – ось пропускания

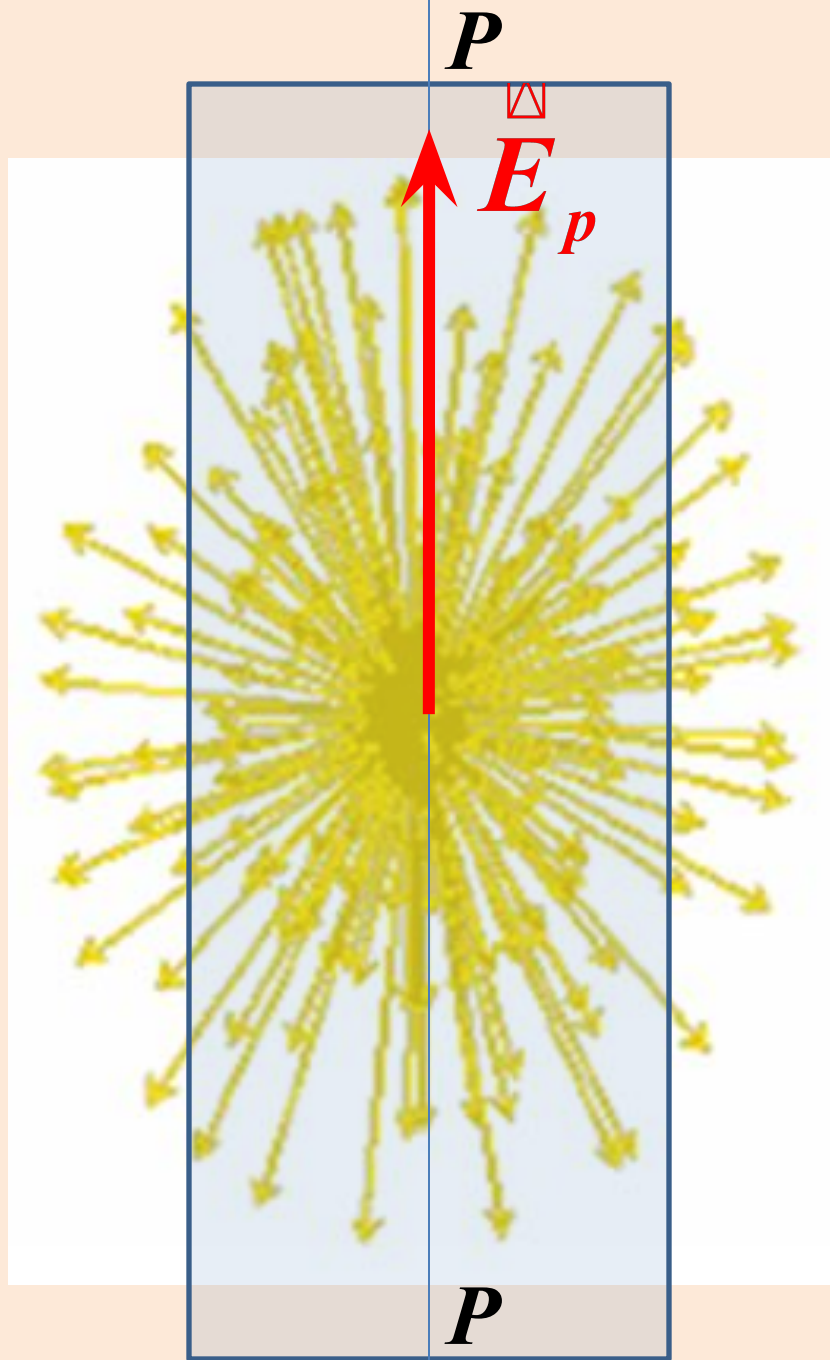
**Если поляроид поглощает часть света, то интенсивность прошедшего через него света:**

$$I' = I(1 - \alpha)$$

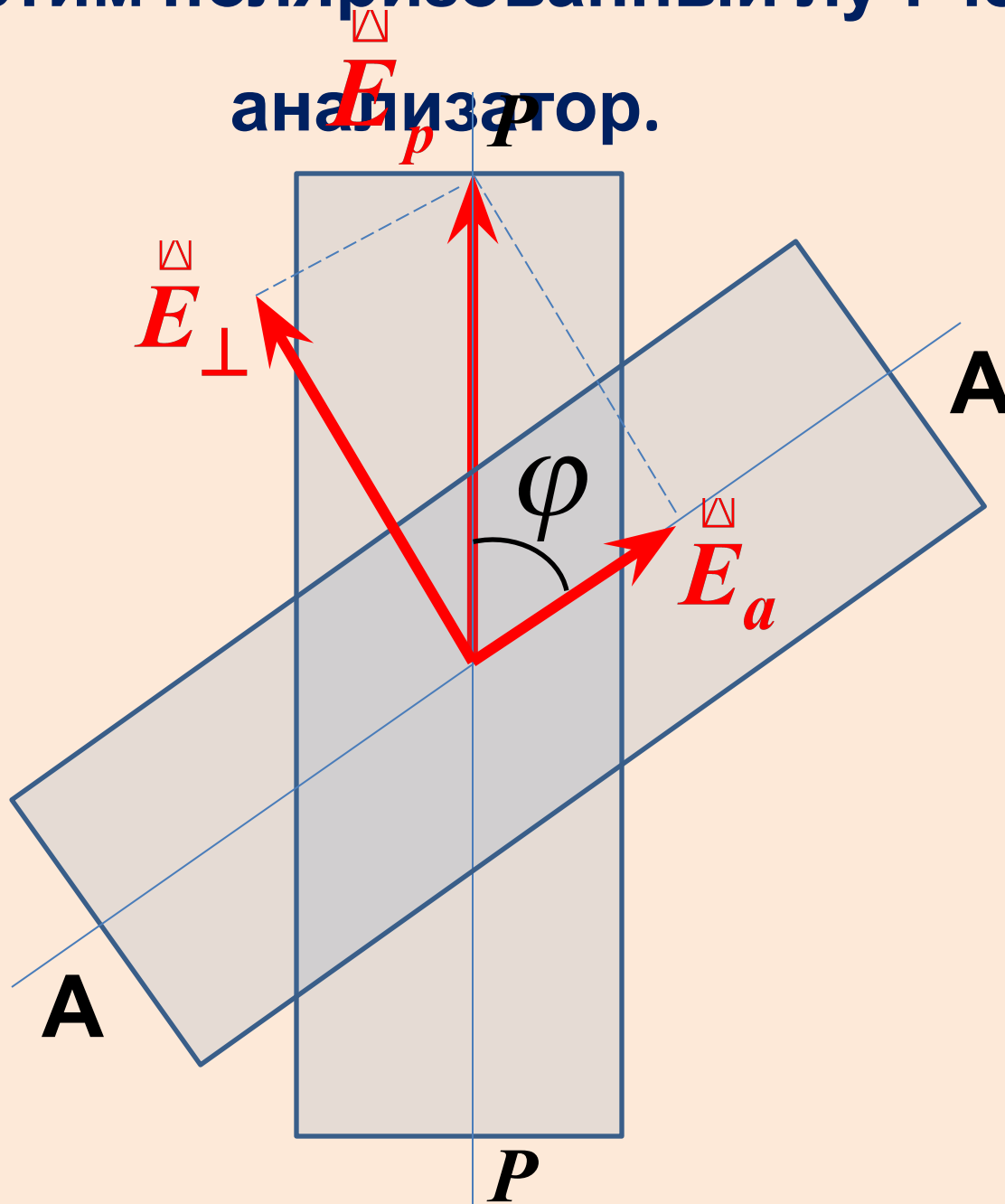
**$\alpha$  – коэффициент поглощения.**

# Закон Малюса

Направим естественный свет на поляризатор. На выходе поляризатора получим световой вектор амплитуды  $E_p$ , совершающий колебания в направлении оси поляризатора. Амплитуда света за поляризатором



Пропустим поляризованный луч через  
анализатор.



**Через анализатор пройдет  
только компонента, // -я его  
оси AA.**

$$**$E_a = E_p \cos \varphi$**$$

**Возведя в квадрат,  
получим:**

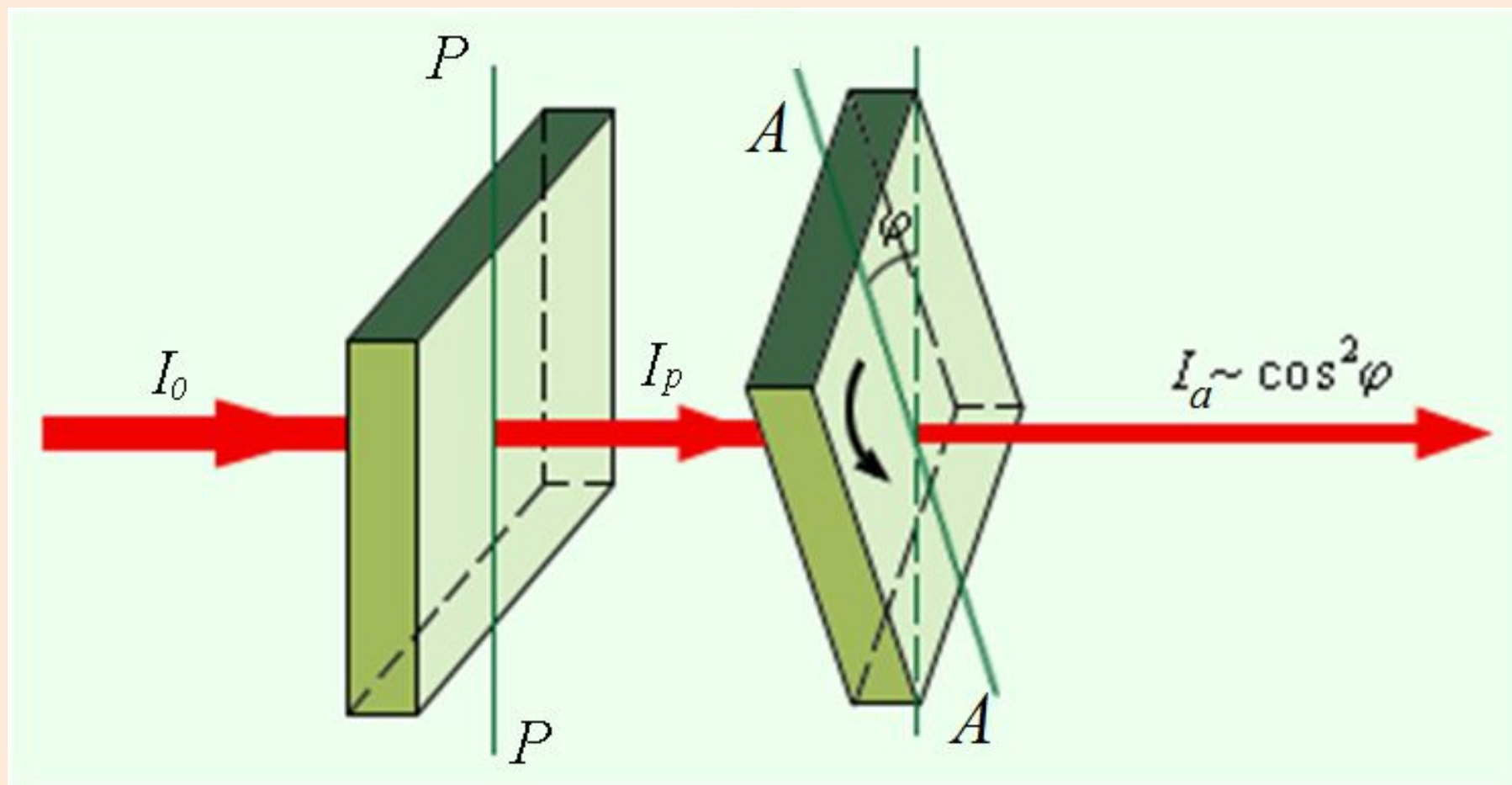
$$**$I_a = I_p \cos^2 \varphi$**$$

Для линейно  
поляризованного света  
интенсивность за  
анализатором  
пропорциональна квадрату  
косинуса угла между осью  
анализатора и направлением

$$I_a = I_p \cos^2 \varphi$$



Можно говорить, что  $\phi$  - это угол между осями поляризатора и анализатора.



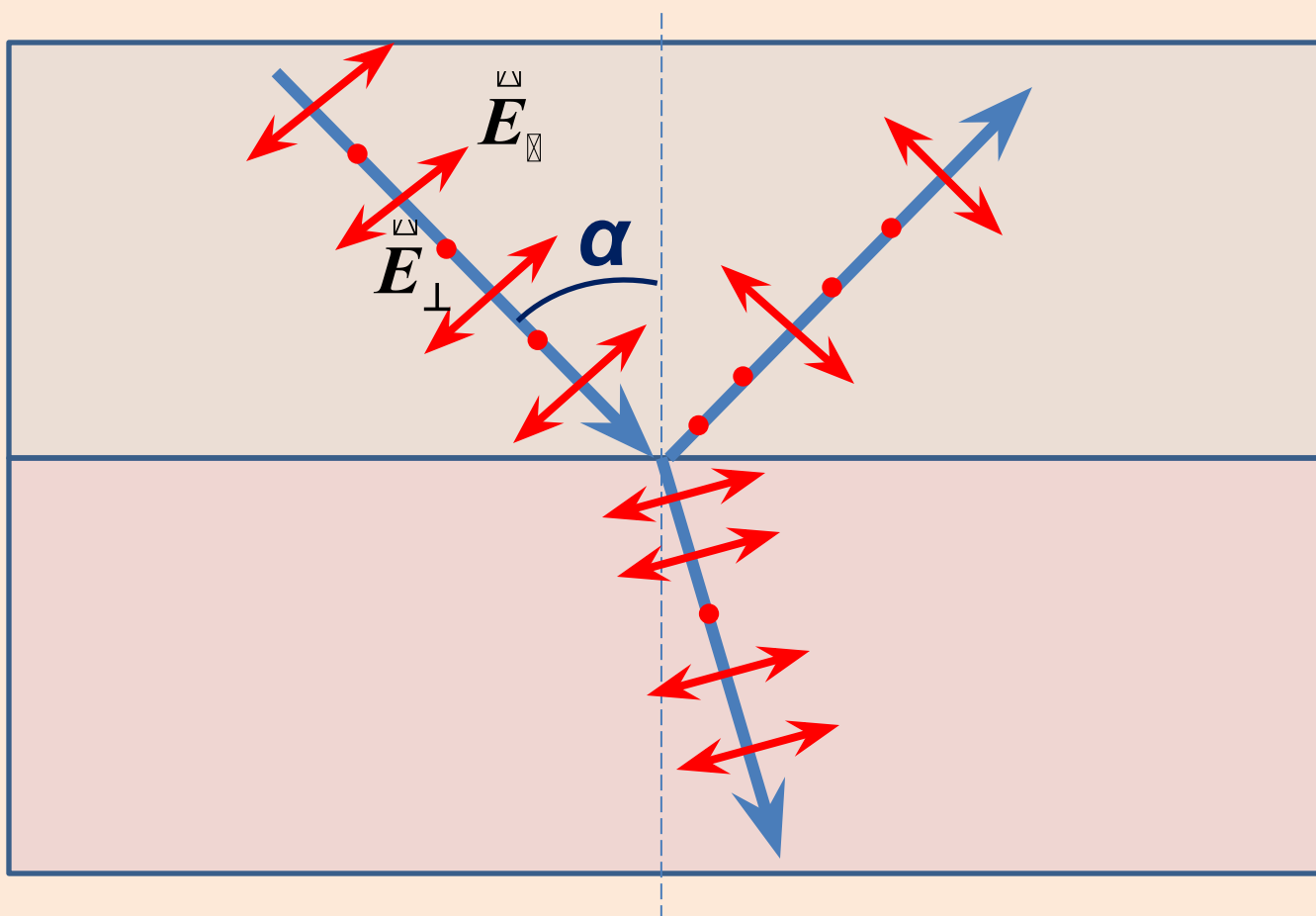
# Закон

## Брюстера

Падая на границу раздела диэлектриков, световая волна частично отражается и частично преломляется.

Опыт показывает, что отраженный и преломленный лучи частично поляризованы.

Разложим световой вектор падающего луча на 2 компоненты:  
П-ю и S-ю плоскости падения.



**В падающем естественном  
луче**

$$E_{\boxtimes} = E_{\perp}.$$

**В отраженном луче**

$$E_{\boxtimes} < E_{\perp}.$$

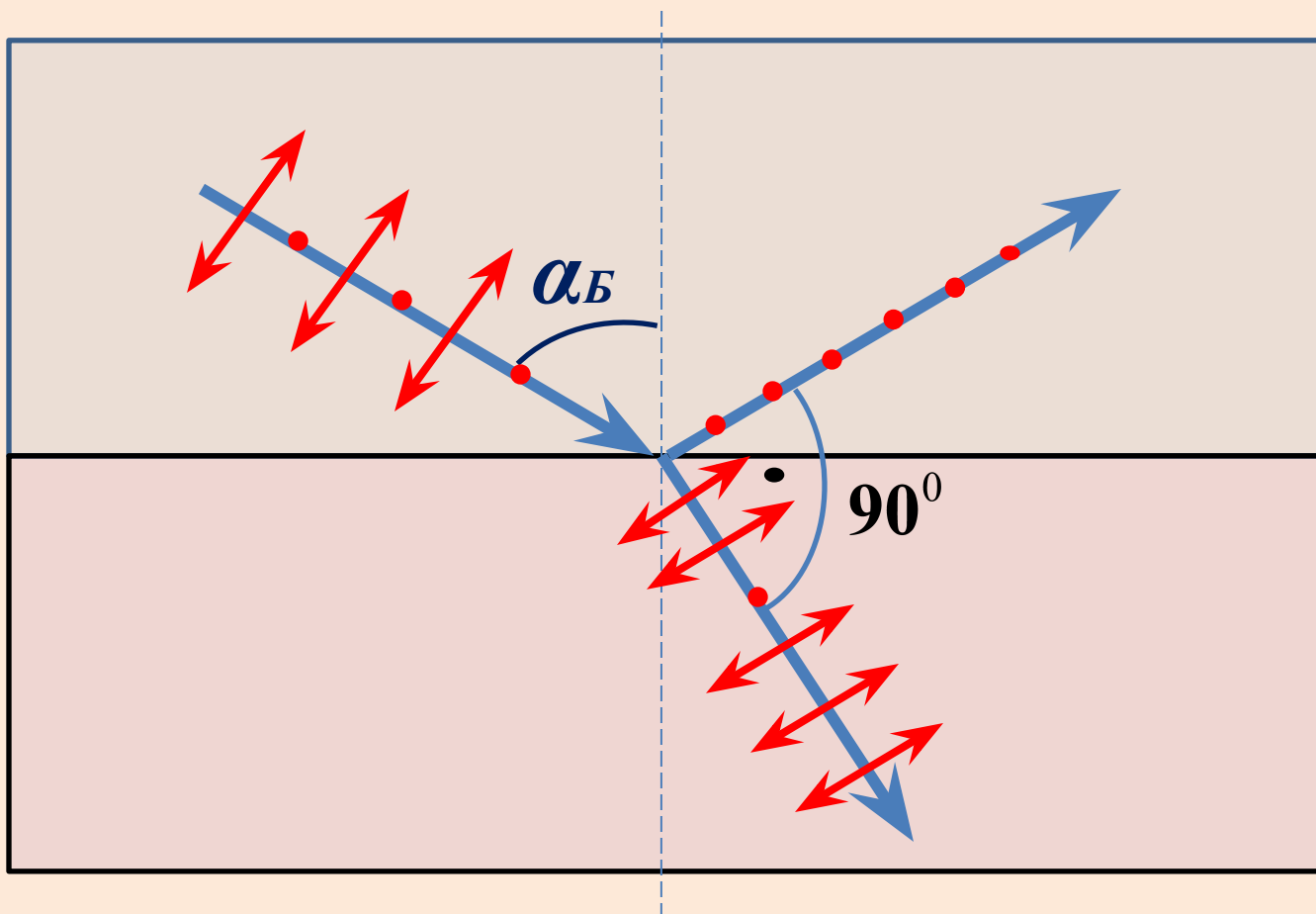
**В преломленном луче**

$$E_{\boxtimes} > E_{\perp}.$$

Существует такой угол падения, при котором отраженный луч полностью поляризуется. Этот угол называют углом Брюстера. В этом случае отраженный и преломленный луч взаимно перпендикулярны.

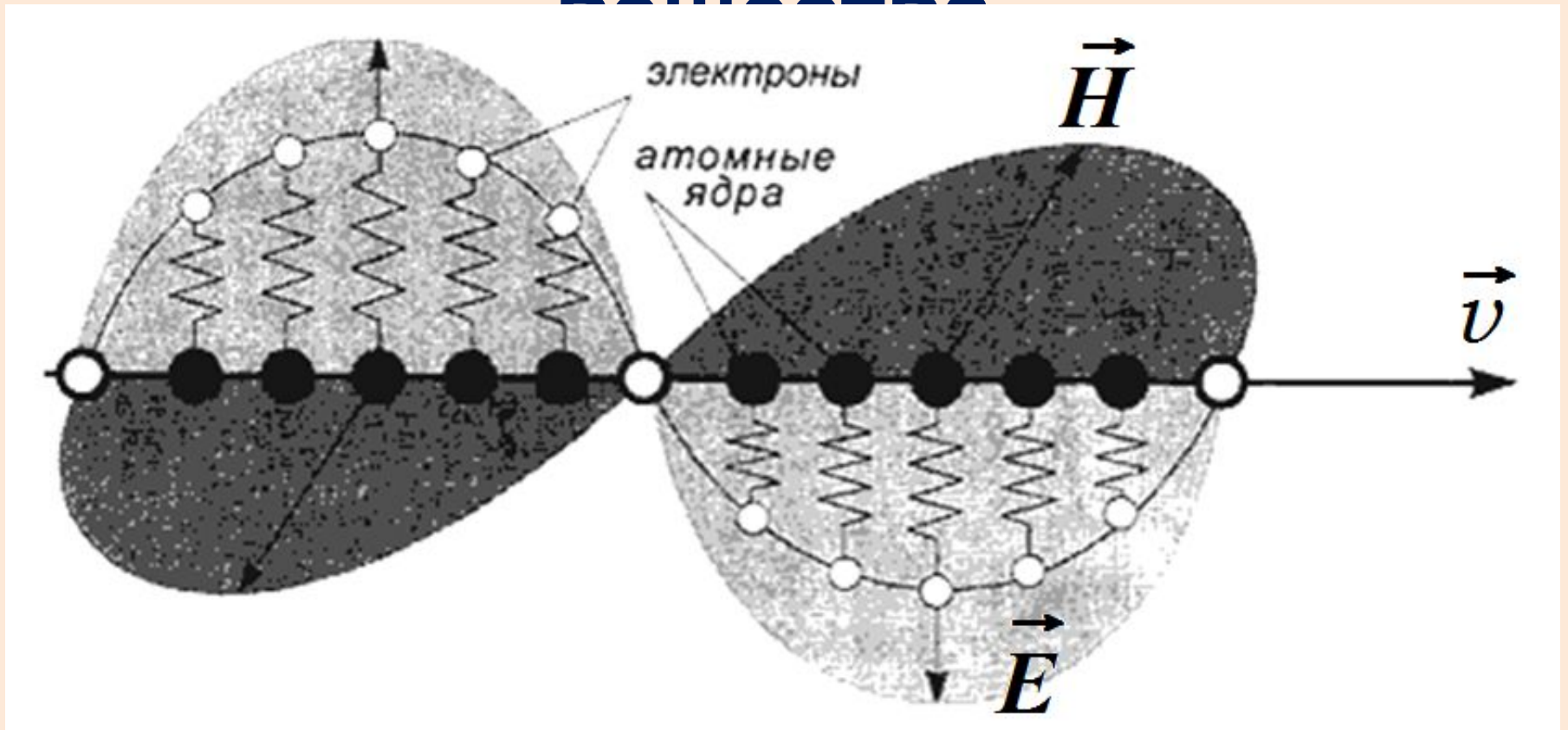
Преломленный луч остается частично поляризованным.

$\alpha_B$  – угол полной поляризации

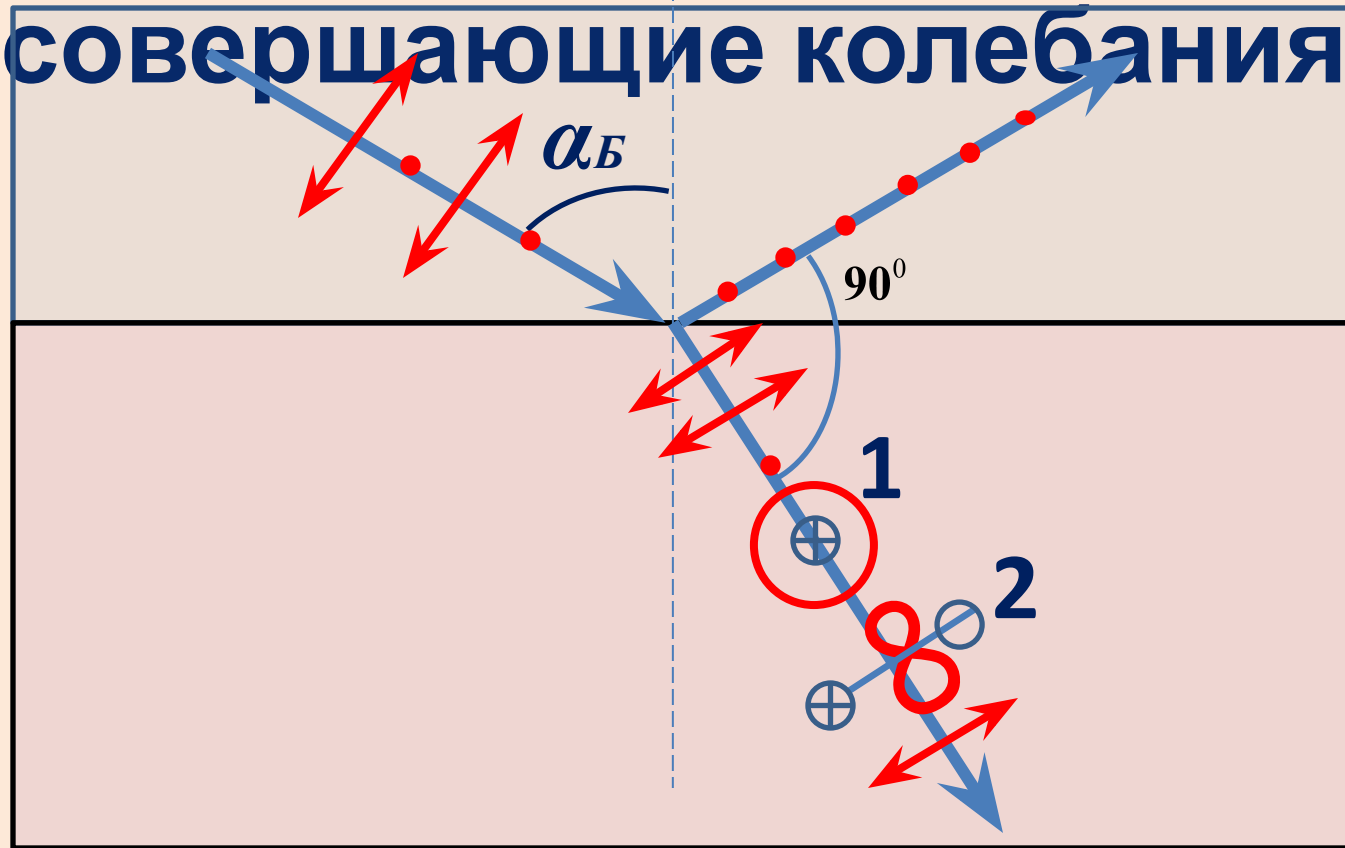


$$\operatorname{tg} \alpha_B = n_{21}$$

# Закон Брюстера можно объяснить, рассмотрев взаимодействие света с атомами



**Под действием электрического поля атомы вещества превращаются в диполи, совершающие колебания.**



**Вдоль своей оси диполь не излучает**



**В отраженном луче  
оказываются только  
колебания, возбуждаемые  
диполями 1, колеблющимися  
в направлении  
перпендикулярном плоскости  
падения. В преломленном  
луче – колебания,  
возбуждаемые и диполями 1,  
и диполями 2**

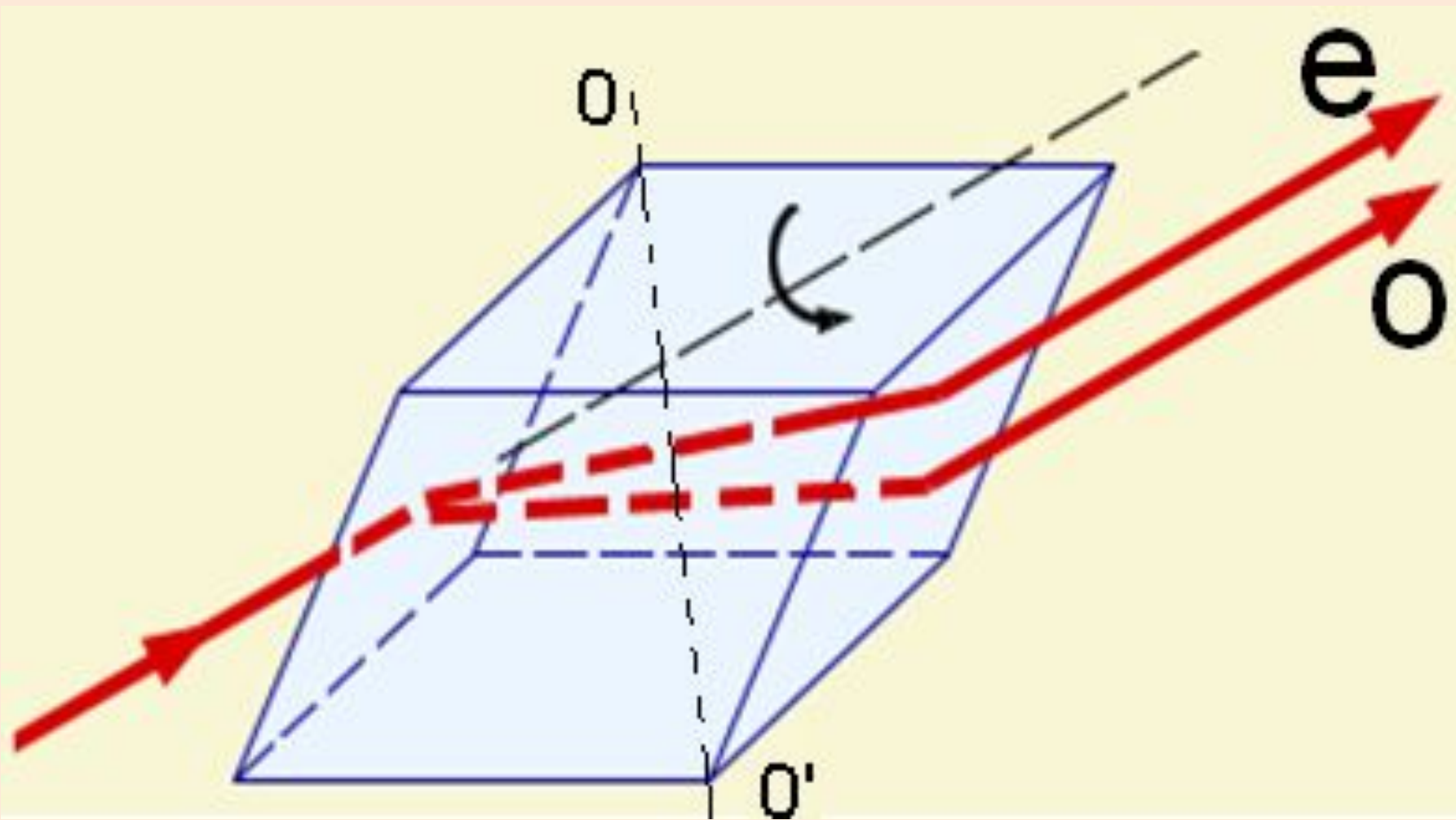
# Распространение света в анизотропных средах

Анизотропные среды – это среды, в которых скорость и поляризация волн зависят от направления распространения.

Примеры: кристаллы кварца, алмаза, турмалина, слюды, исландского шпата.

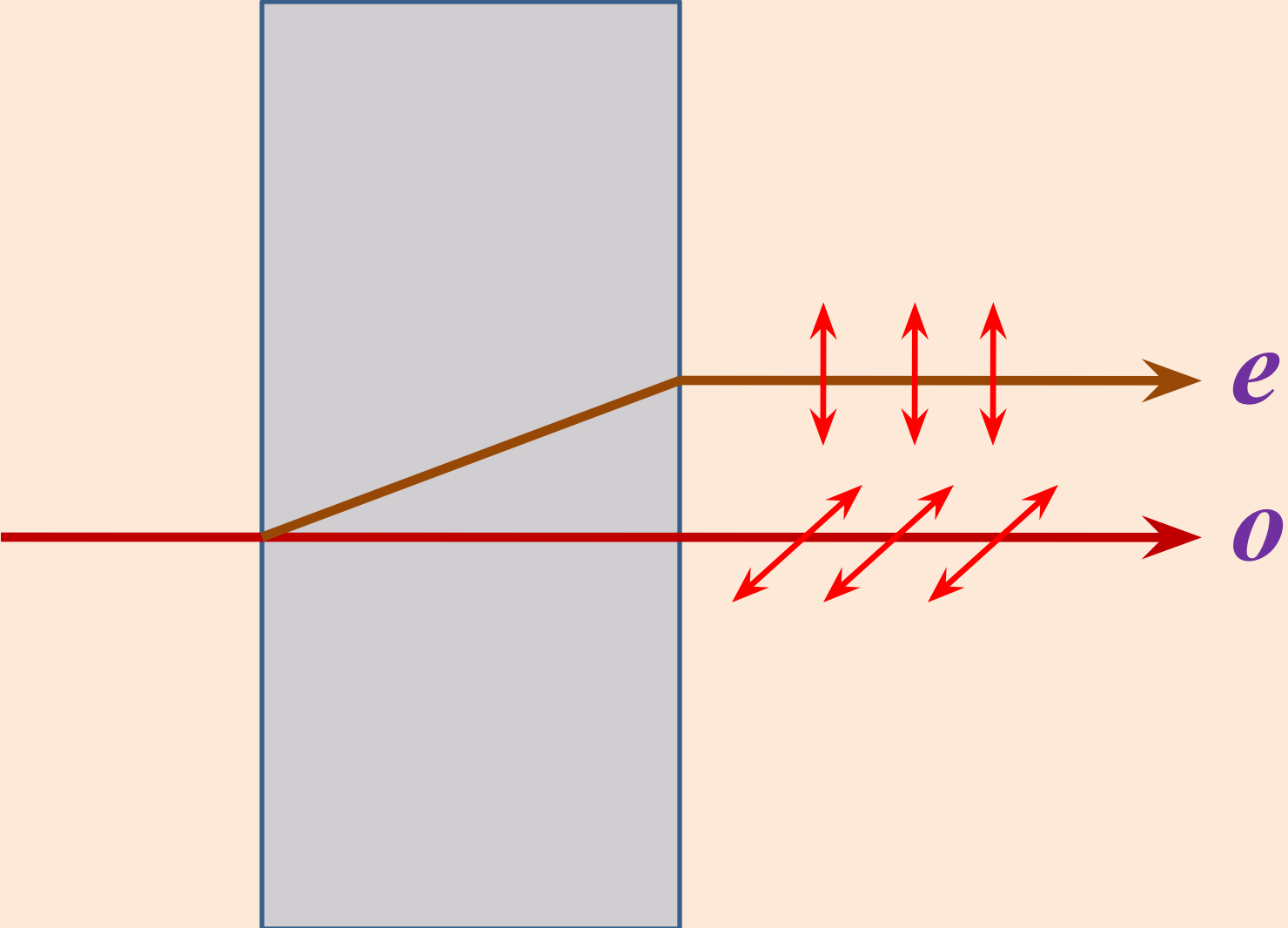
# Двойное лучепреломление

Во всех кристаллах, исключая кристаллы кубической симметрии (например,  $NaCl$ ), наблюдается двойное лучепреломление. Это раздвоение преломленного света на два луча: обыкновенный ( $o$ ) и



**Для *o*-луча обычный закон преломления выполняется, для *e*-луча нарушается.**

**Лучи линейно поляризованы во взаимно перпендикулярных направлениях.**



**Оптическая ось – это**

**направление в кристалле, вдоль которого свет распространяется без двойного лучепреломления.**

**Одноосные кристаллы: исландский шпат, кварц, турмалин. Двуосные кристаллы: гипс, слюда, топаз, сера.**

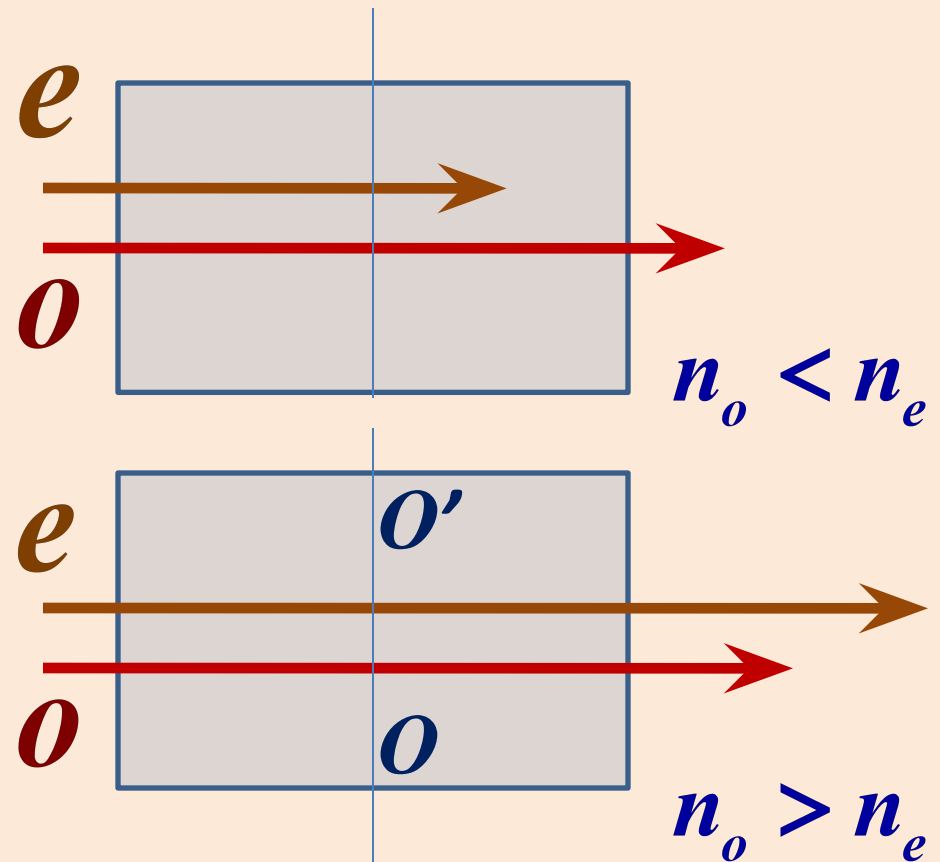
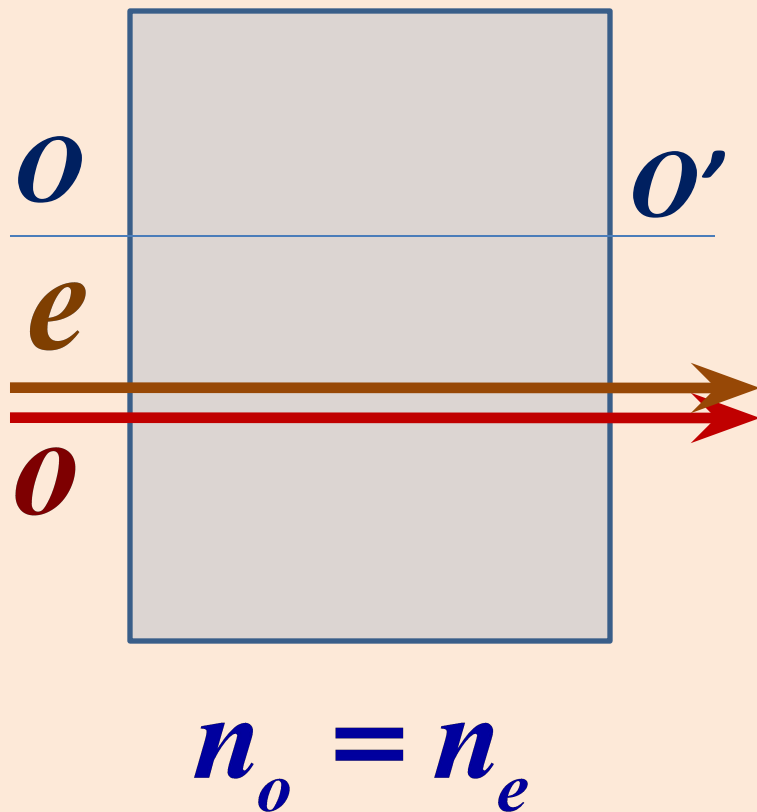
**Главная плоскость (главное сечение) – это плоскость, проходящая через оптическую ось кристалла.**

**$O$ -луч поляризован нормально к главной плоскости,  $e$ -луч – параллельно ей.**

**Вдоль оптической оси  $OO'$  и перпендикулярно к ней лучи идут не разделяясь, но в первом случае их скорость одинакова, а во втором – разная.**

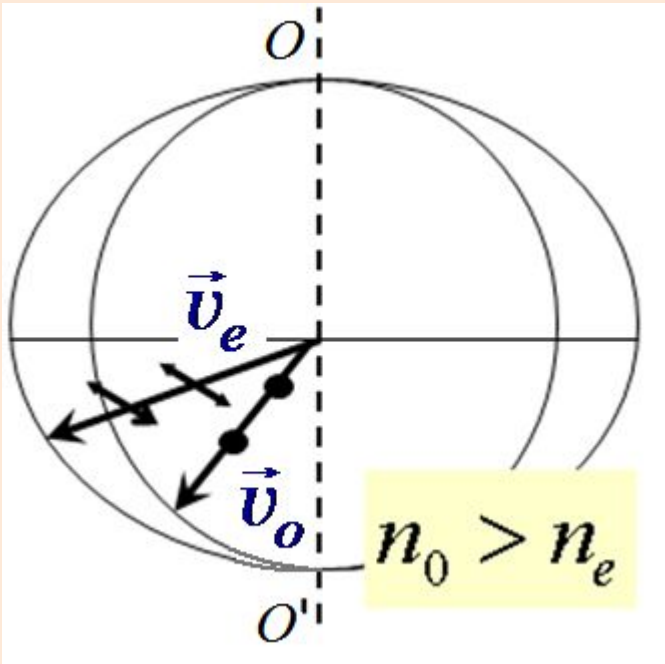
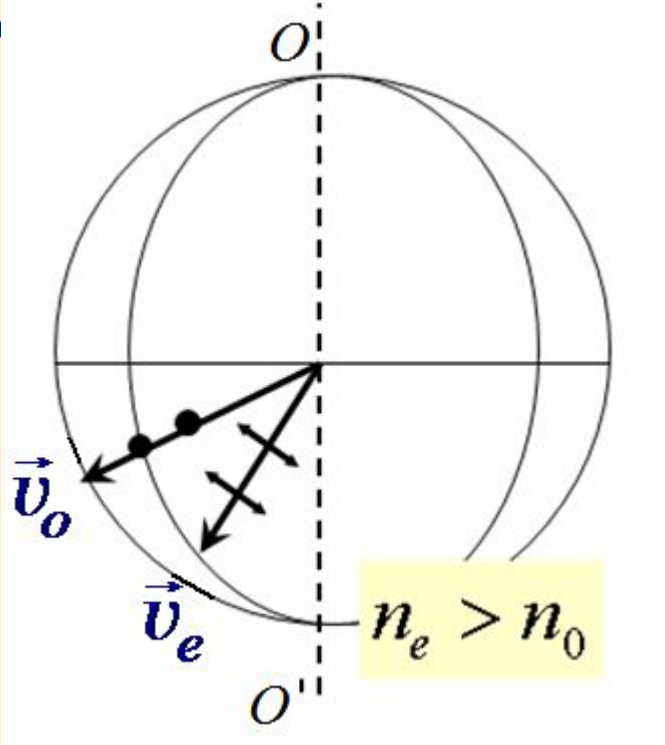


Для *o*-луча  $n_o = \text{const.}$ ,  
для *e*-луча  $n_e$  зависит от  
направления распространения.



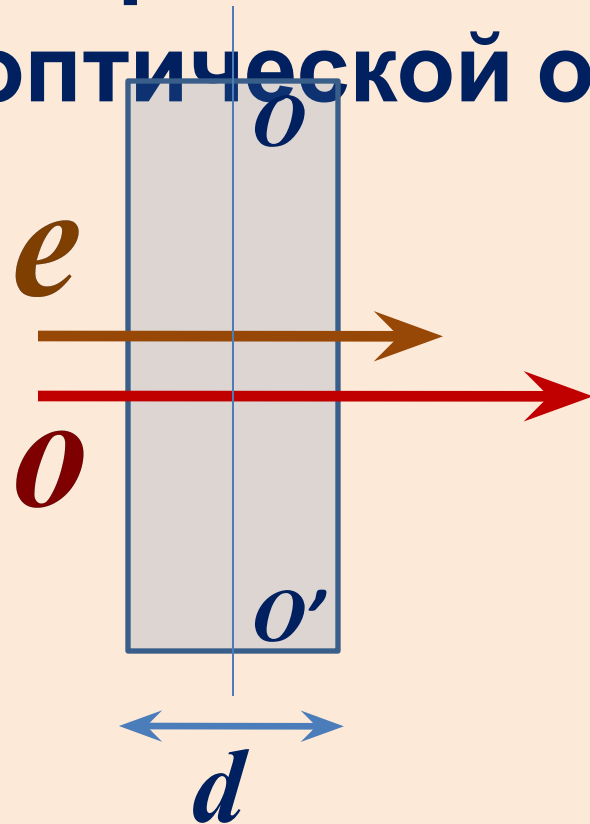
- Скорость обыкновенного луча:  $v_o = \frac{c}{n_o}$
- Скорость необыкновенного луча:  $v_e = \frac{c}{n_e}$
- Если  $n_e > n_o$ , то кристалл называют оптически положительным. Если  $n_e < n_o$ , то кристалл оптически отрицательный.
- Только вдоль оптической оси кристалла  $n_e = n_o$ . Скорости движения  $o$ - и  $e$ - лучей вдоль оси  $OO'$  равны. В других направлениях – разные.

- Лучевая поверхность – это поверхность, описываемая вектором скорости световой волны.
- В одноосном кристалле лучевая поверхность  $o$ -волны – это сфера,  $e$ -волны – эллипсоид вокруг оси  $OO'$ .



# Полу- и четвертьволновые пластинки

Вырежем пластинку вдоль оптической оси.



Она создает оптическую разность хода лучей:

$$\Delta = (n_e - n_o)d$$

и разность фаз:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta = \frac{2\pi d}{\lambda_0} (n_e - n_o)$$

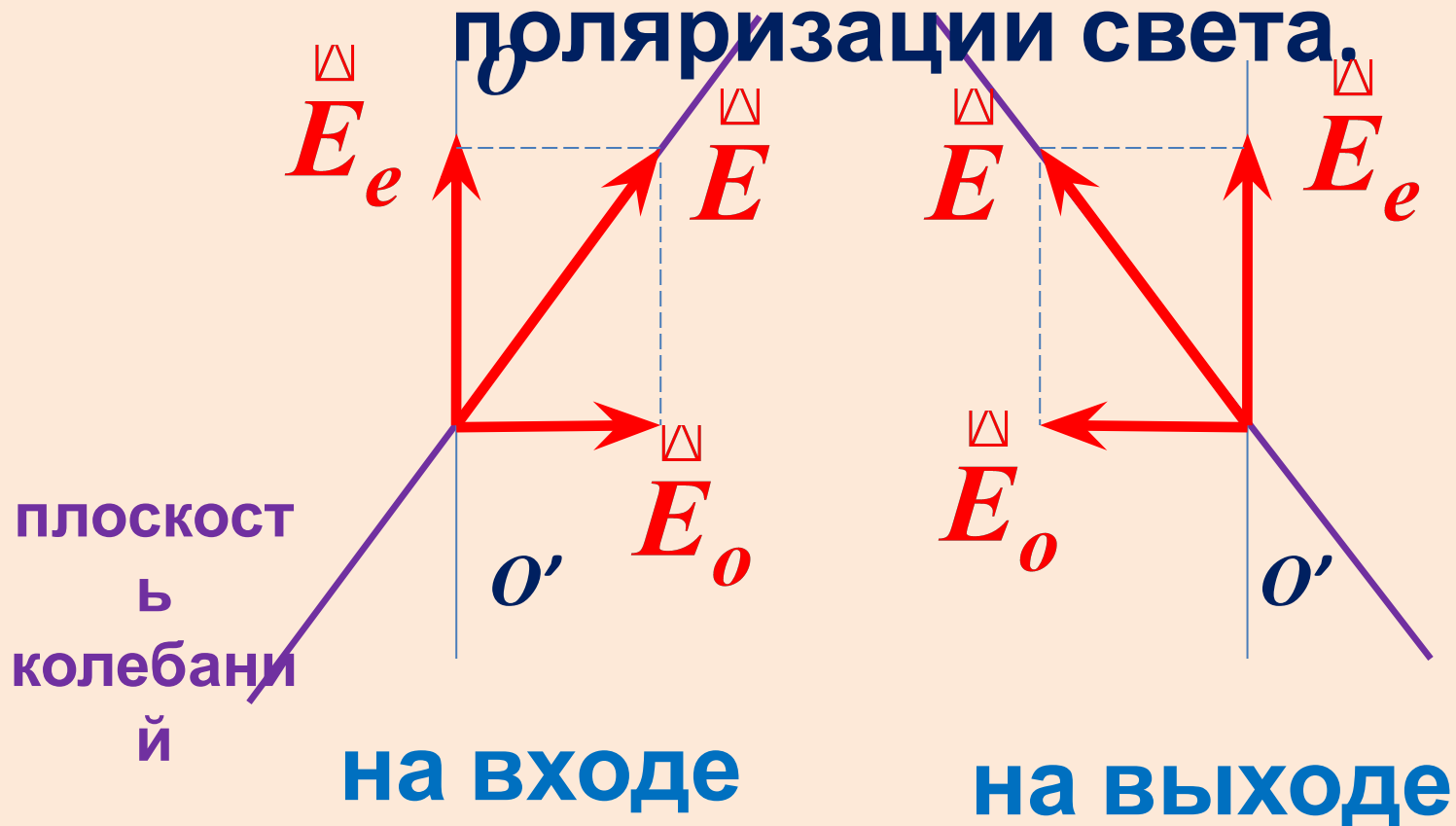
Для полуволновой пластинки:

$$\Delta = \frac{\lambda_0}{2}, \Delta\varphi = \pi$$

Для четвертьволновой  
пластинки:

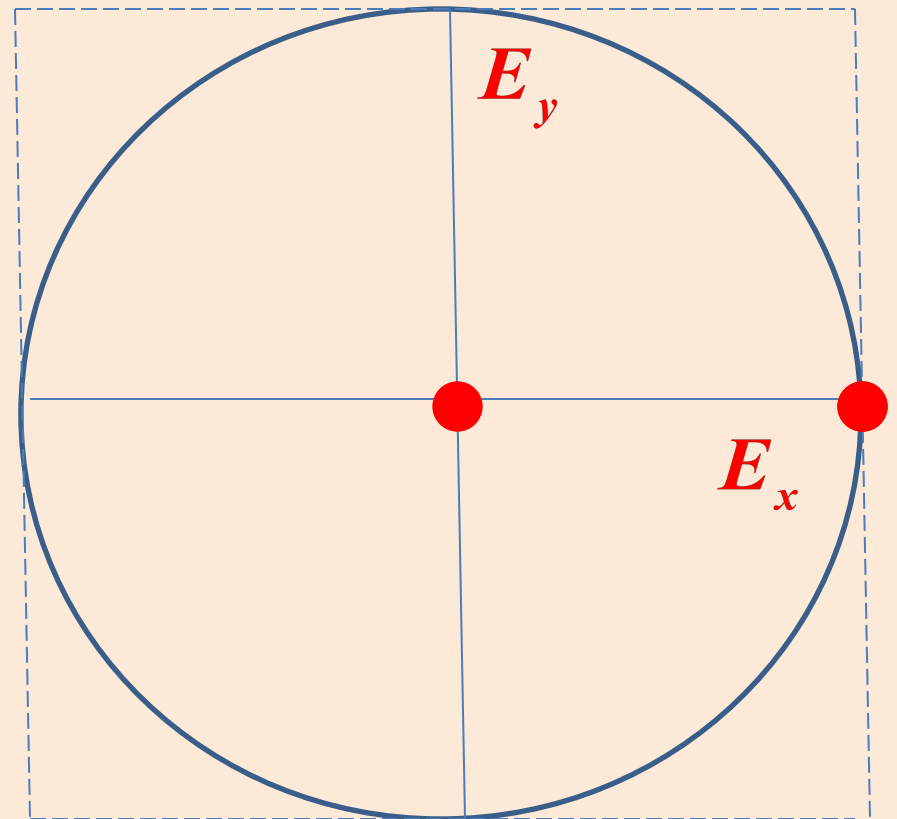
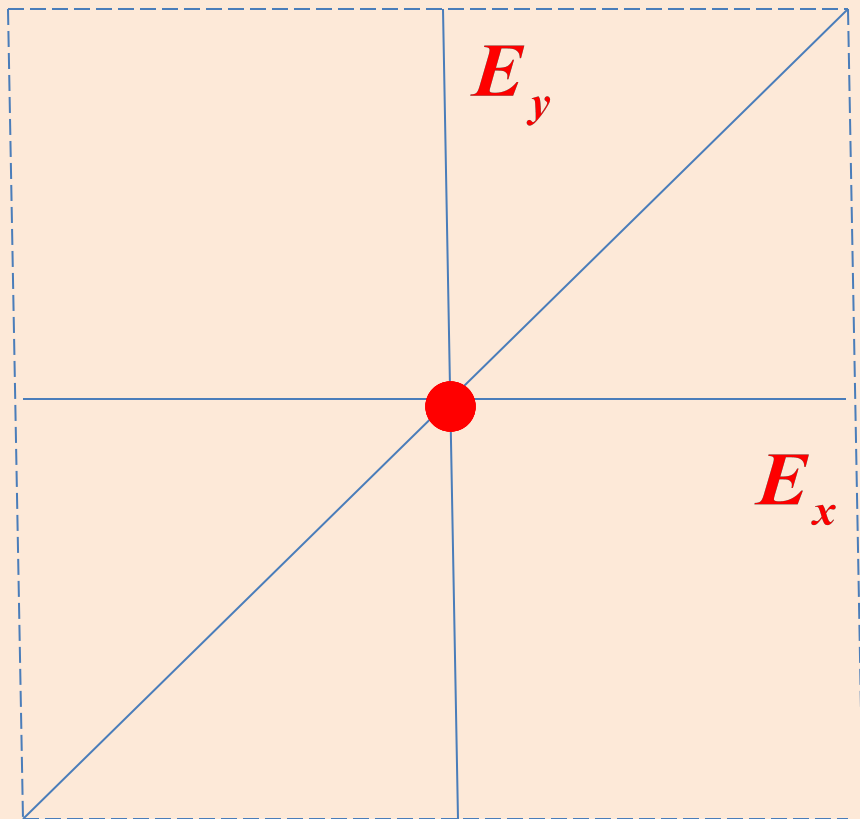
$$\Delta = \frac{\lambda_0}{4}, \Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$$

# Полуволновая пластинка поворачивает плоскость поляризации света.



**Четвертьволновая пластинка  
превращает  
плоскополяризованный свет в  
эллиптически поляризованный и  
наоборот. Она позволяет  
различить эти виды поляризации  
на опыте.**

**Внося разность фаз  $\pi/2$ , она  
делает из вот этого – это.**





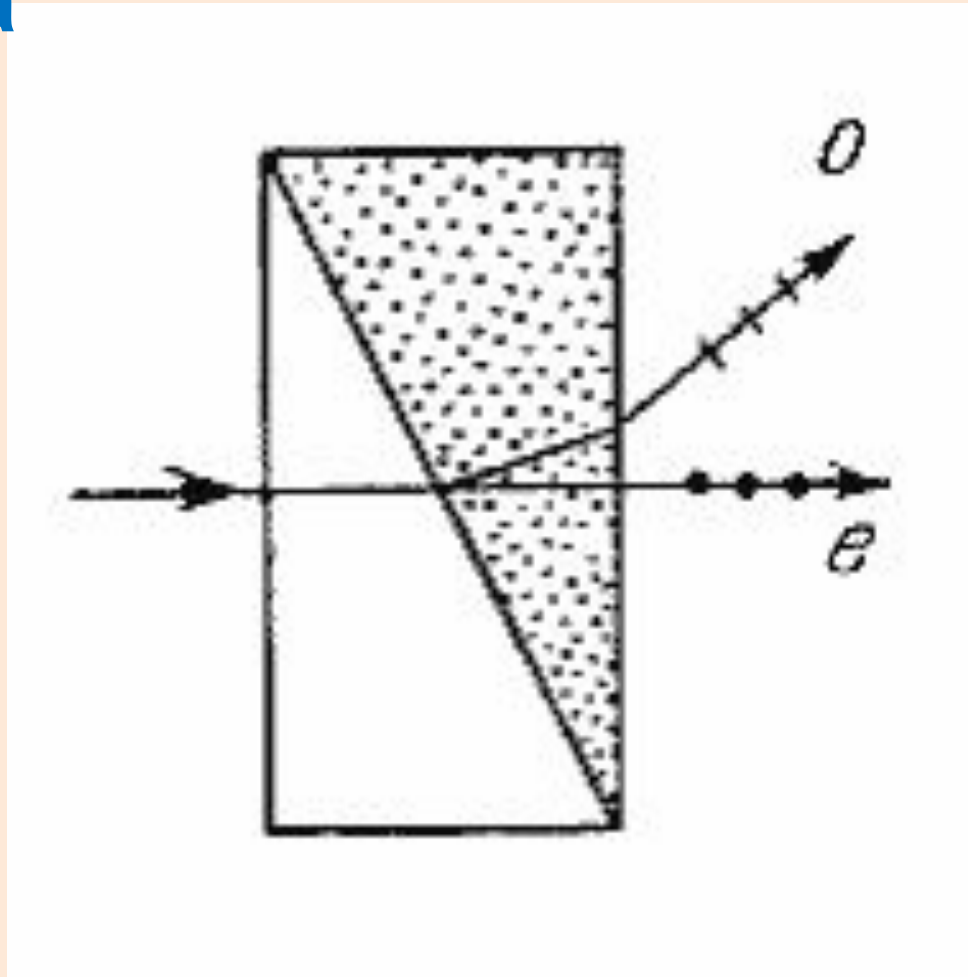
# Поляризационные устройства

Большинство поляризаторов создано на основе дихроизма.

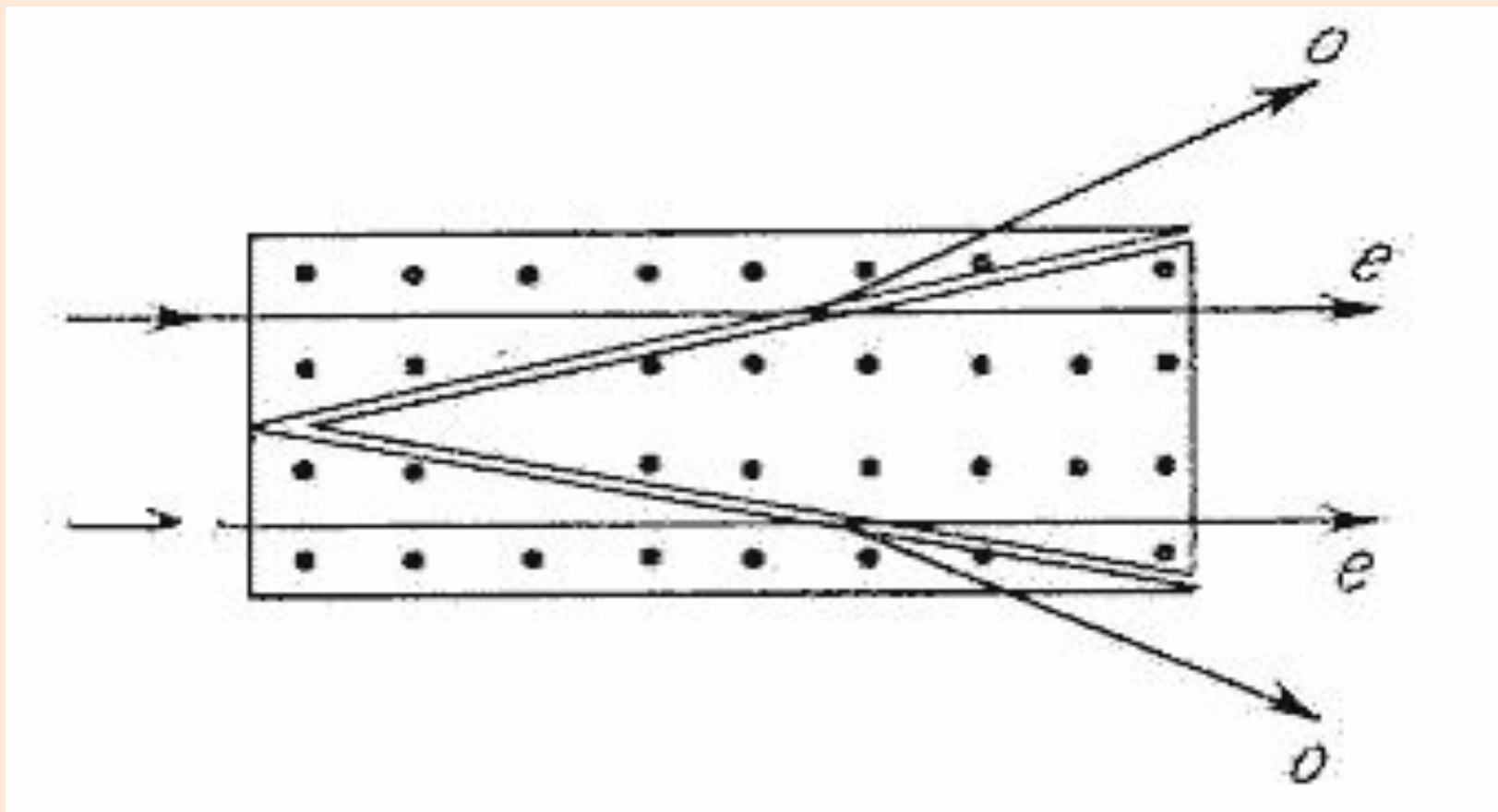
Дихроизм – это явление сильного поглощения одного из преломленных лучей.

**Или же стараются  
развести *o*- и *e*-лучи как  
можно дальше друг от  
друга. Для этого  
применяют  
поляризационные  
призмы.**

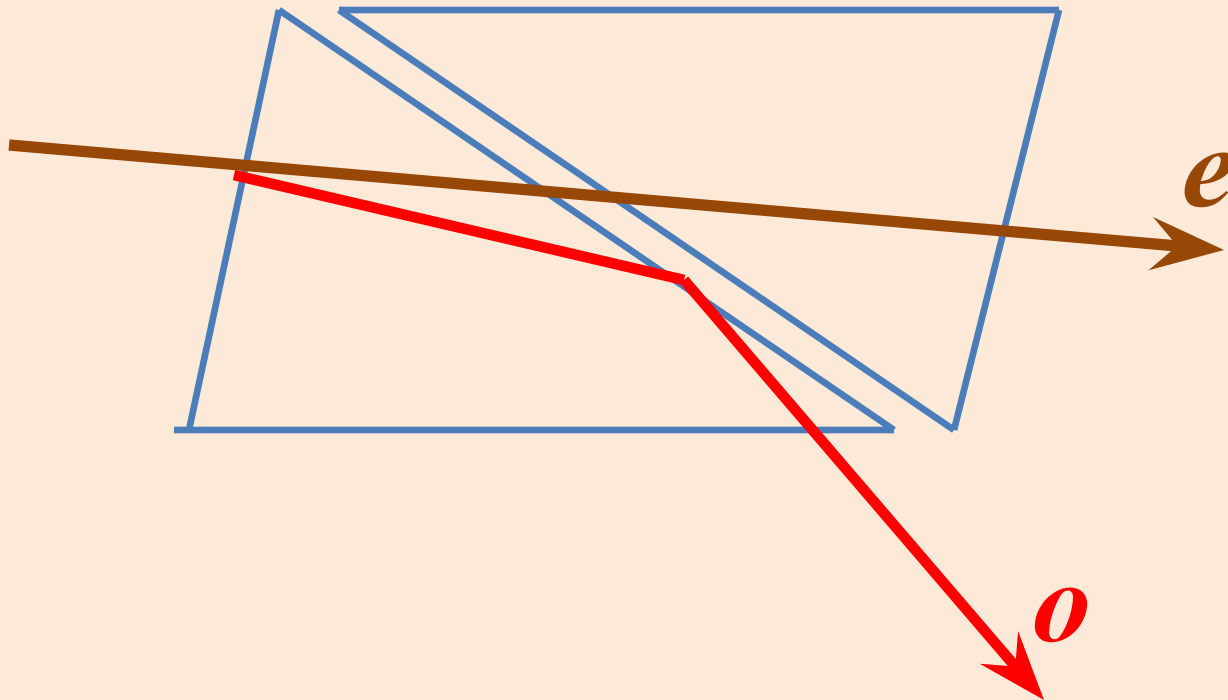
# Двулучевая поляризационная призма



# Тройная призма Аренса

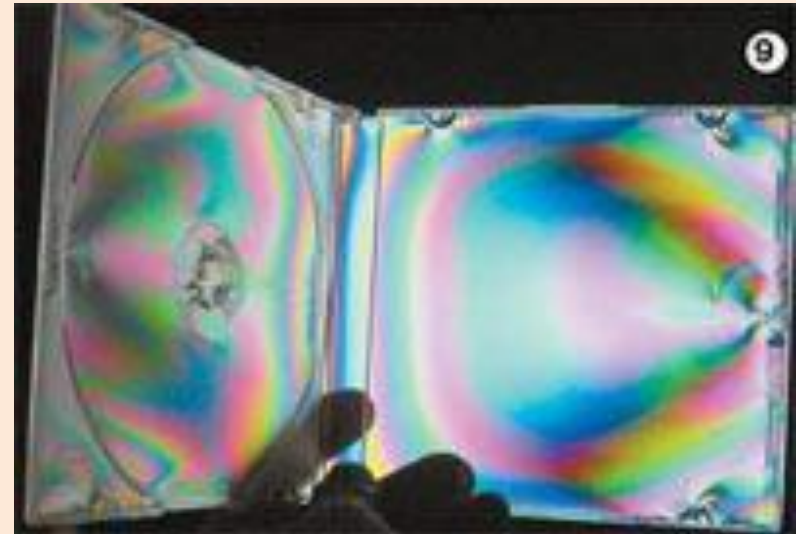
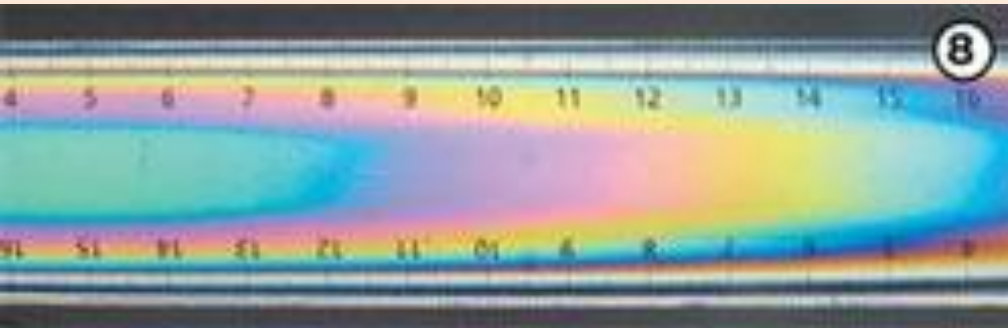


# Призма Николя (николь)

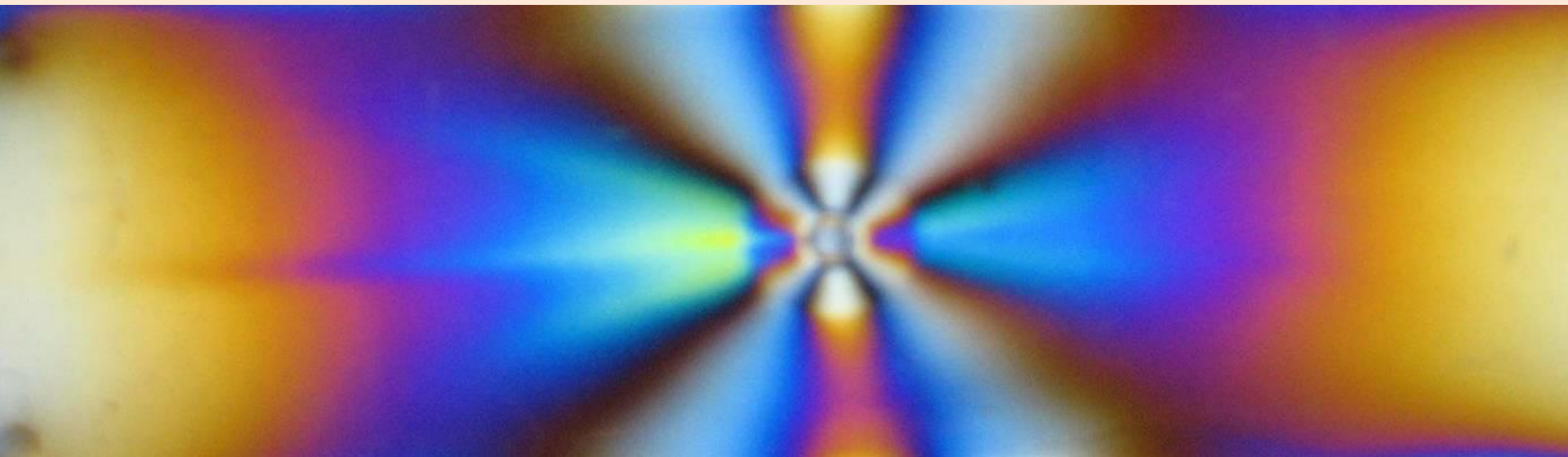


Призма Николя изготавливается из кристалла исландского шпата – это *углекислый кальций* ( $\text{CaCO}_3$ ). У такого кристалла  $n_o = 1.6585$  и  $n_e = 1.4863$  сильно различаются

# Применение поляризованного света



**В поляризованном свете изучают распределение механических напряжений в деталях машин и механизмов, строительных конструкциях, ...**



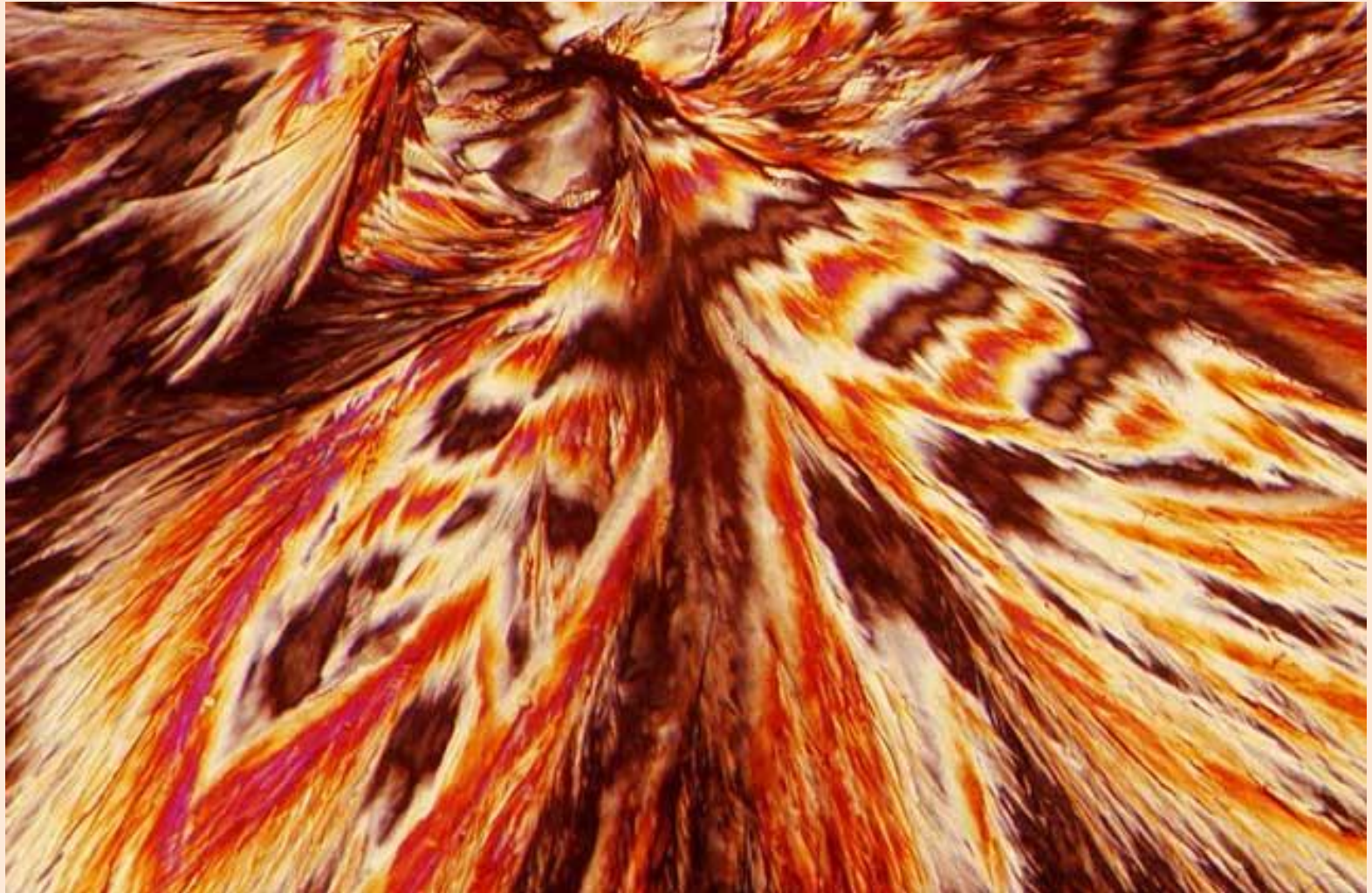
**... прозрачных изделиях.**



**Скрепку удерживает поверхностное натяжение. Прогиб поверхности можно увидеть, если поляризовать источник света.**





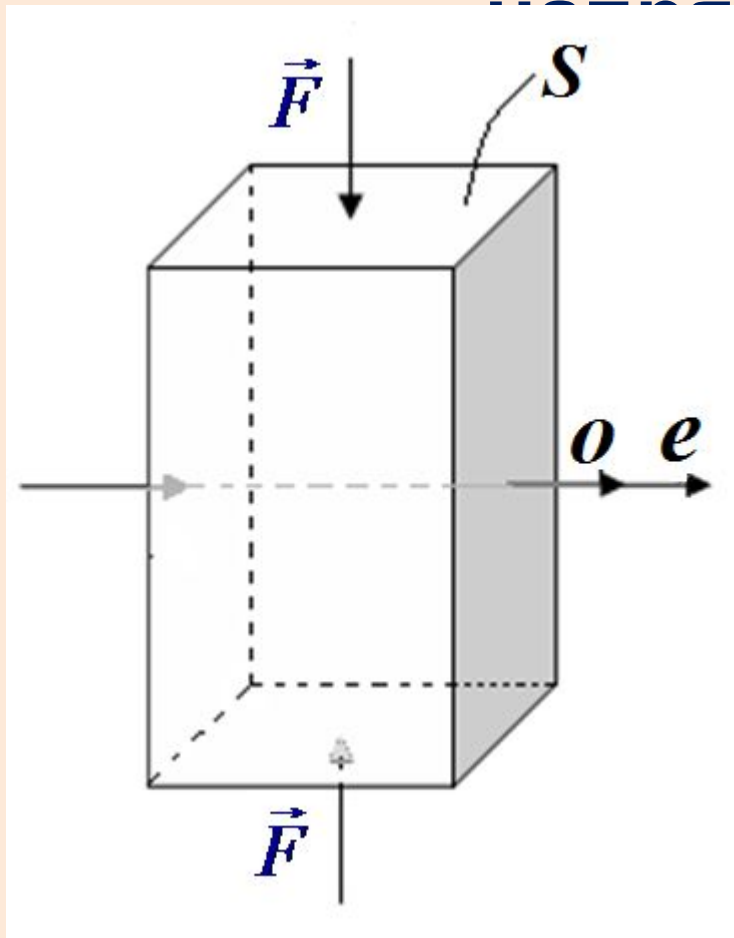


**Микрофотография кристаллов  
холестерина в поляризованном  
свете.**

# Искусственная оптическая

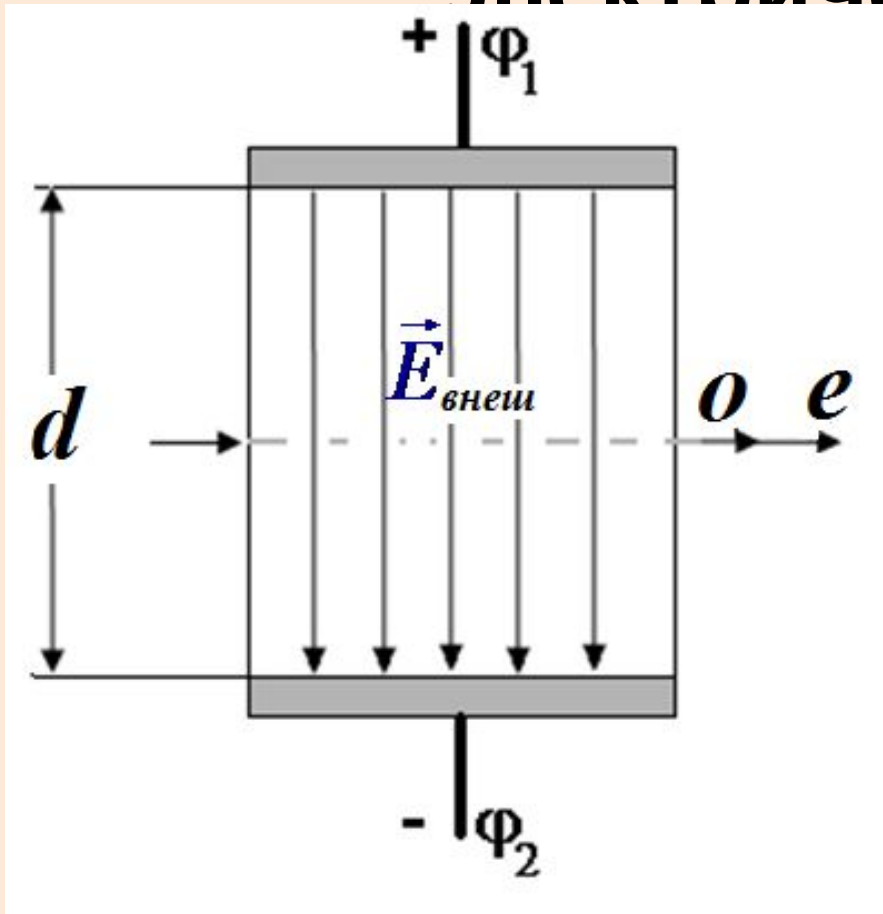
## анизотропия

Фотоупругость – явление наведения оптической анизотропии упругими деформациями.



$$n_e - n_o = k \frac{F}{S}$$

# Эффект Керра – наведение оптической анизотропии электрическим полем.



$$n_e - n_o = B\lambda_0 E_{\text{внеш}}^2$$

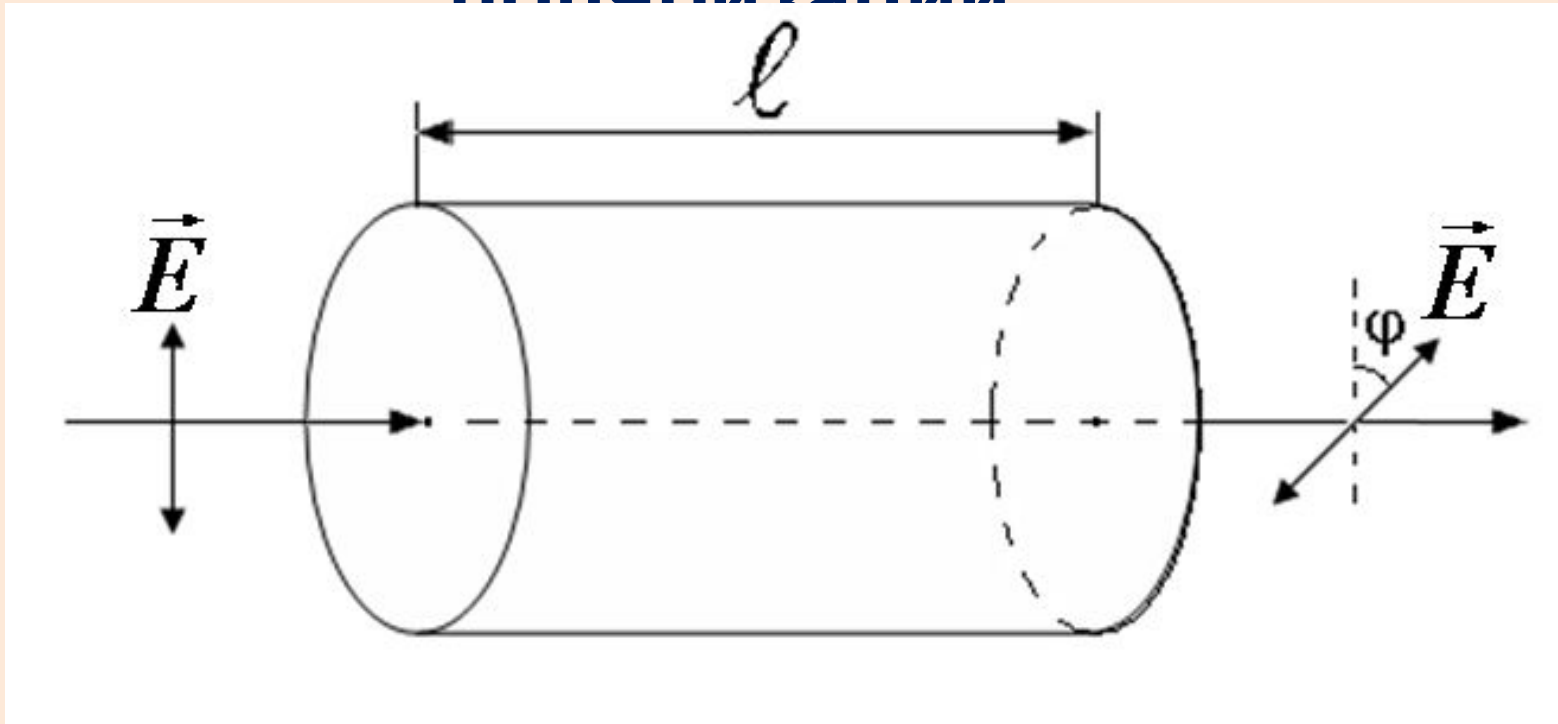
$B$  – постоянная Керра,

$\lambda_0$  – длина волны света,

$E_{\text{внеш}}$  – напряженность внешнего электрического

# Оптическая активность вещества.

Заключается в повороте плоскости  
поляризации

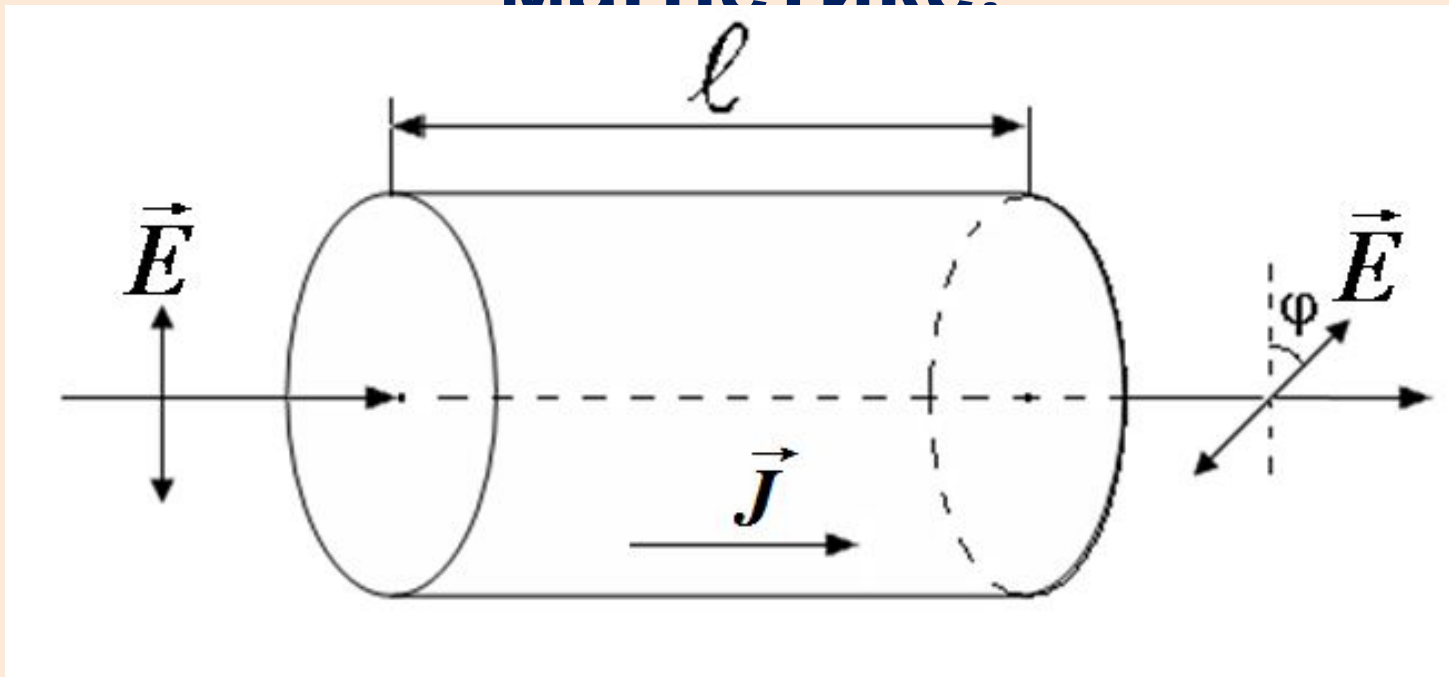


Угол поворота плоскости поляризации:  $\phi = \alpha l$

$\alpha$  – постоянная вращения,  $l$  – длина  
образца

**Раствор сахара оптически активен.  $\alpha$  зависит от концентрации сахара. На этом принципе работают сахариметры.**

# Эффект Фарадея – Вращение плоскости поляризации света в магнетике.



$$\phi = VJl$$

$V$  – постоянная Верде,  $l$  – длина образца,  
 $J$  – намагниченность.