

# Лекция 16-17. Поляризация света. Голография

1. Естественный и поляризованный свет.
2. Закон Малюса.
3. Закон Брюстера.
4. Распространение ЭМ волн в одноосных кристаллах. Двойное лучепреломление.
5. Поляризация света при двойном лучепреломлении.
6. Поляризационные призмы и поляроиды.
7. Опорная и предметная волны. Запись и воспроизведение голограмм. Применения голографии.

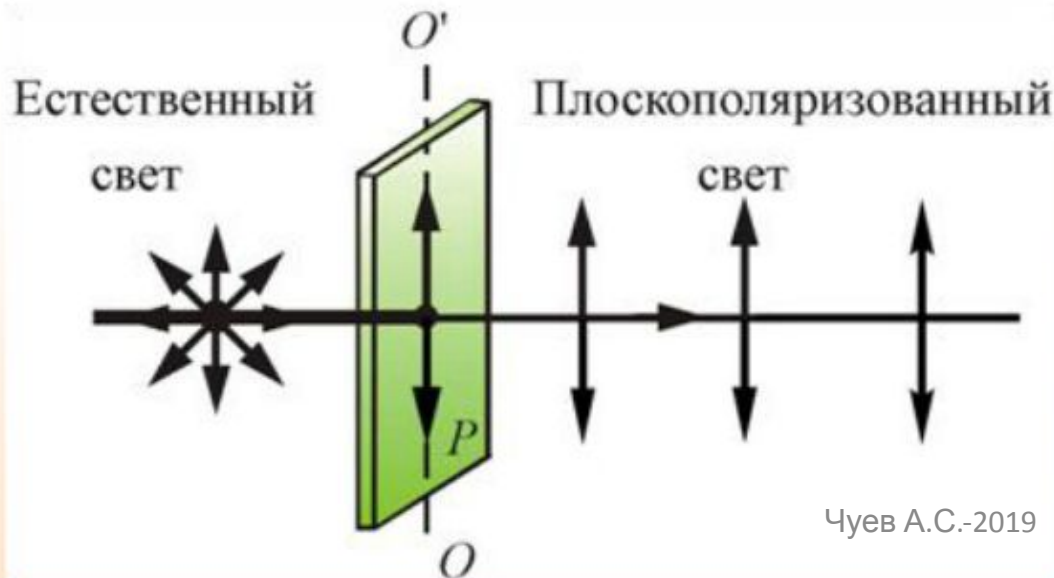
# Новый материал к лекции 16

## Линейно поляризованный свет:

Устройства, позволяющие получать линейно поляризованный свет из естественного, называют *линейными поляризаторами*:

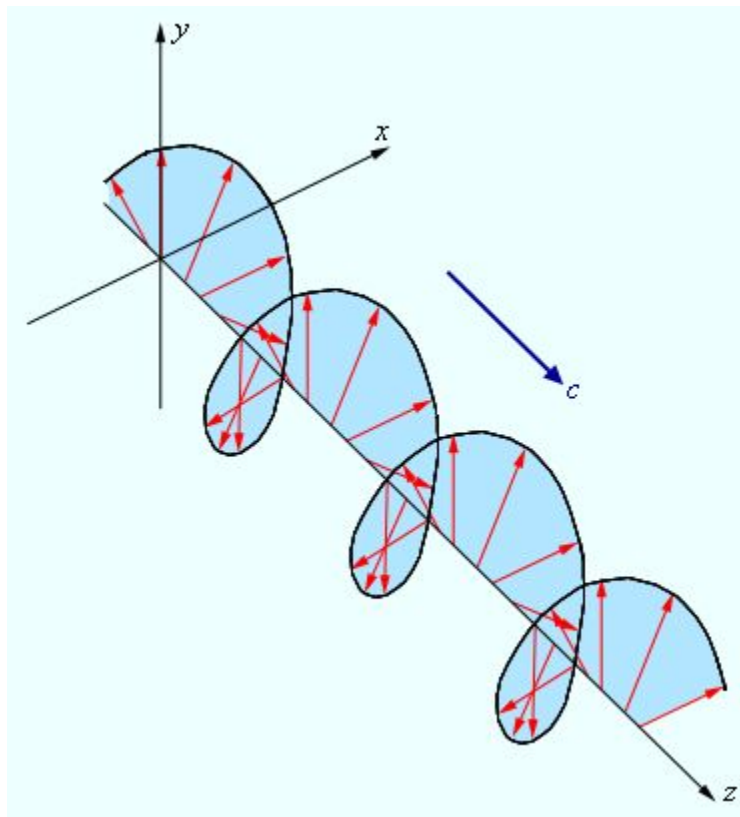
- свободно пропускают колебания, параллельные *плоскости поляризатора*,

- полностью или частично задерживают колебания перпендикулярные к его плоскости.

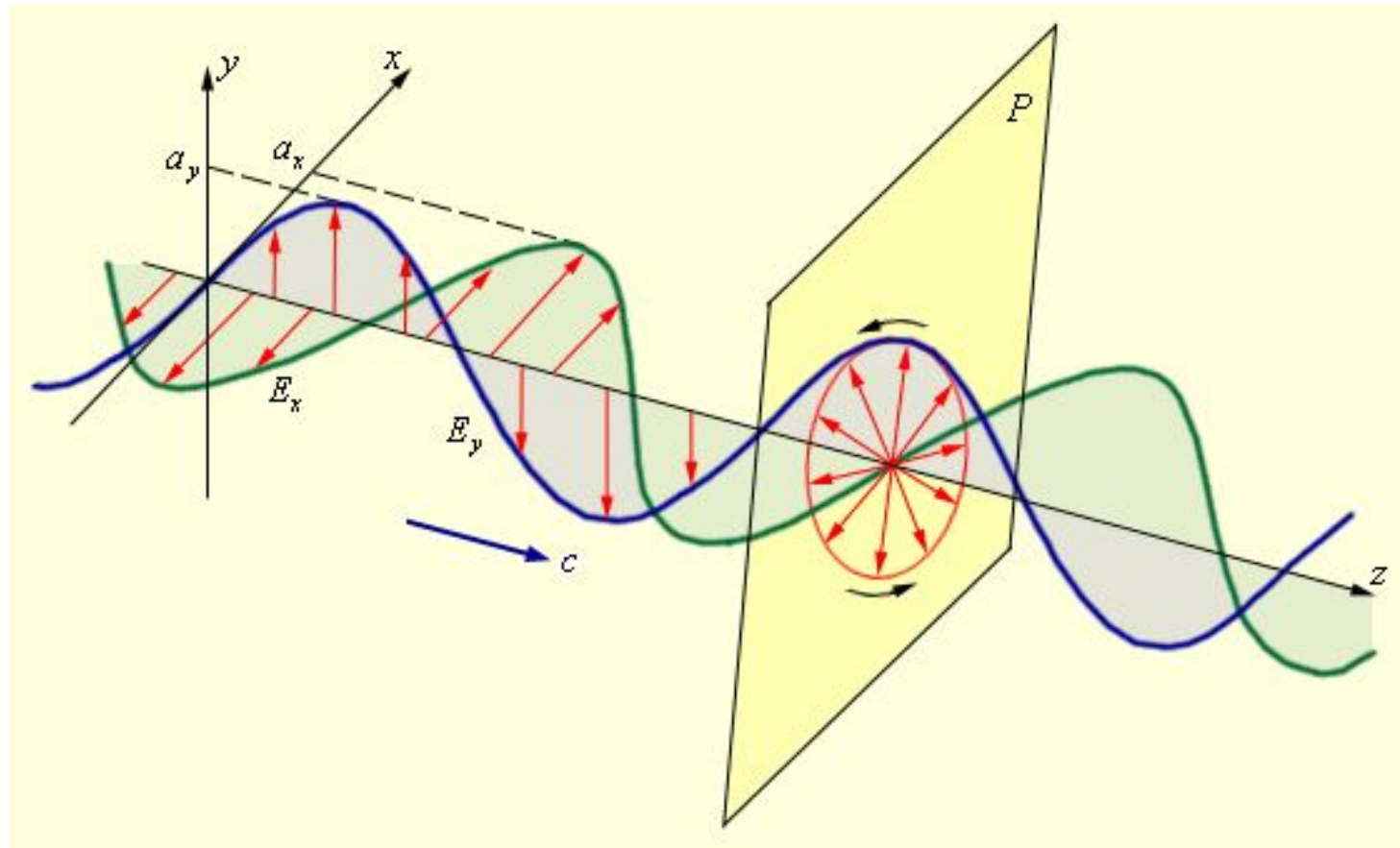


После прохождения поляризатора свет будет линейно поляризован в направлении  $OO'$ .

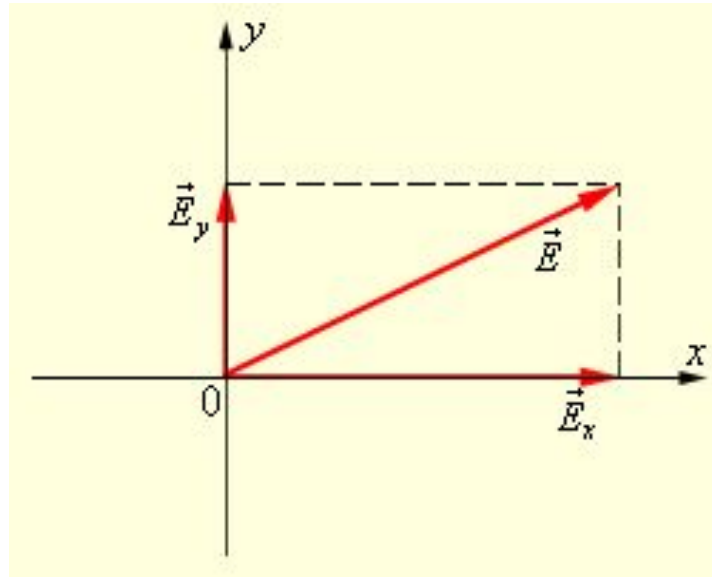
# Свет с круговой поляризацией



# В плоскости $P$ наблюдается вращение вектора $\mathbf{E}$



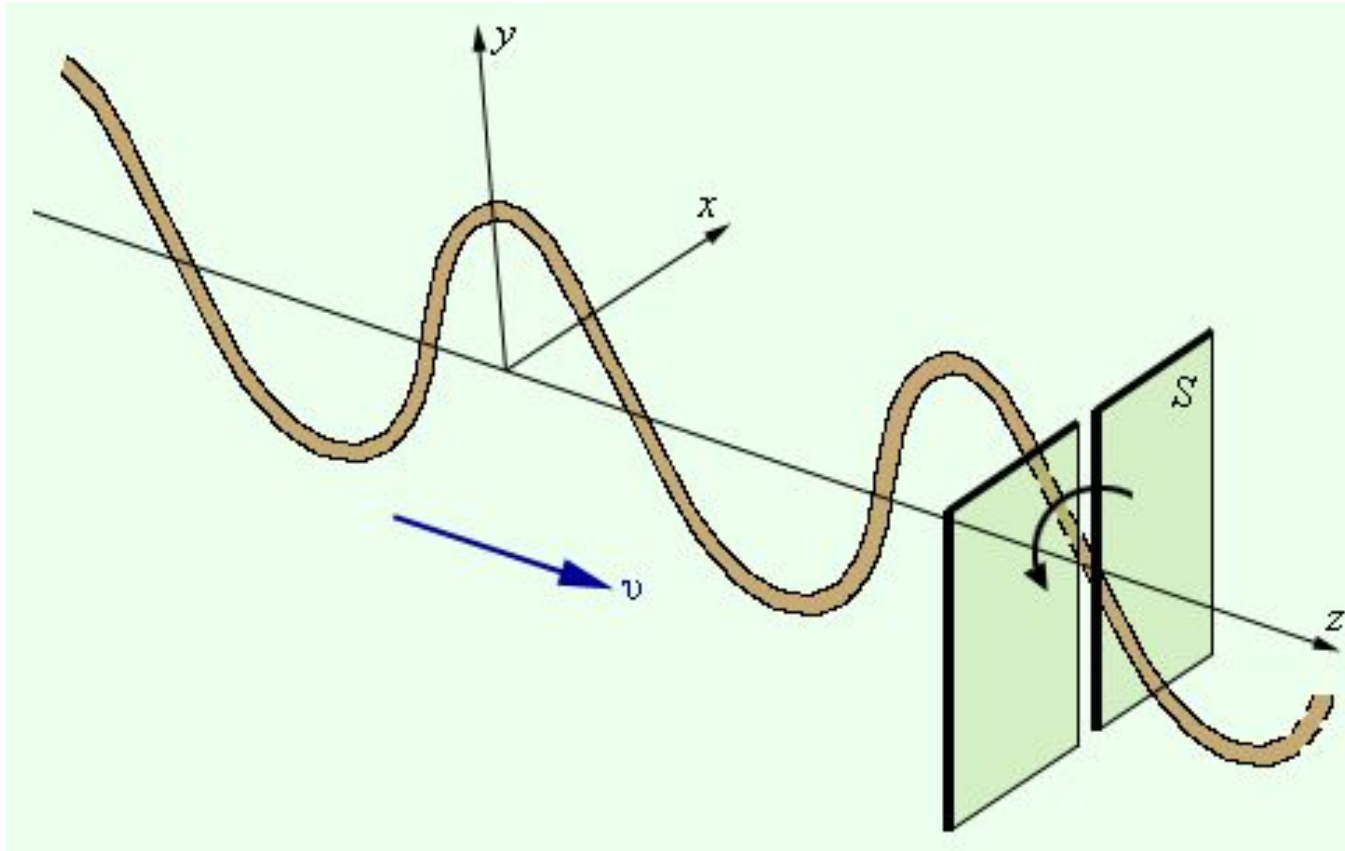
В каждый момент времени вектор  $\mathbf{E}$  может быть спроектирован на две взаимно перпендикулярные оси



Это означает, что любую волну (поляризованную и неполяризованную) можно представить как суперпозицию двух линейно поляризованных во взаимно перпендикулярных направлениях волн

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.

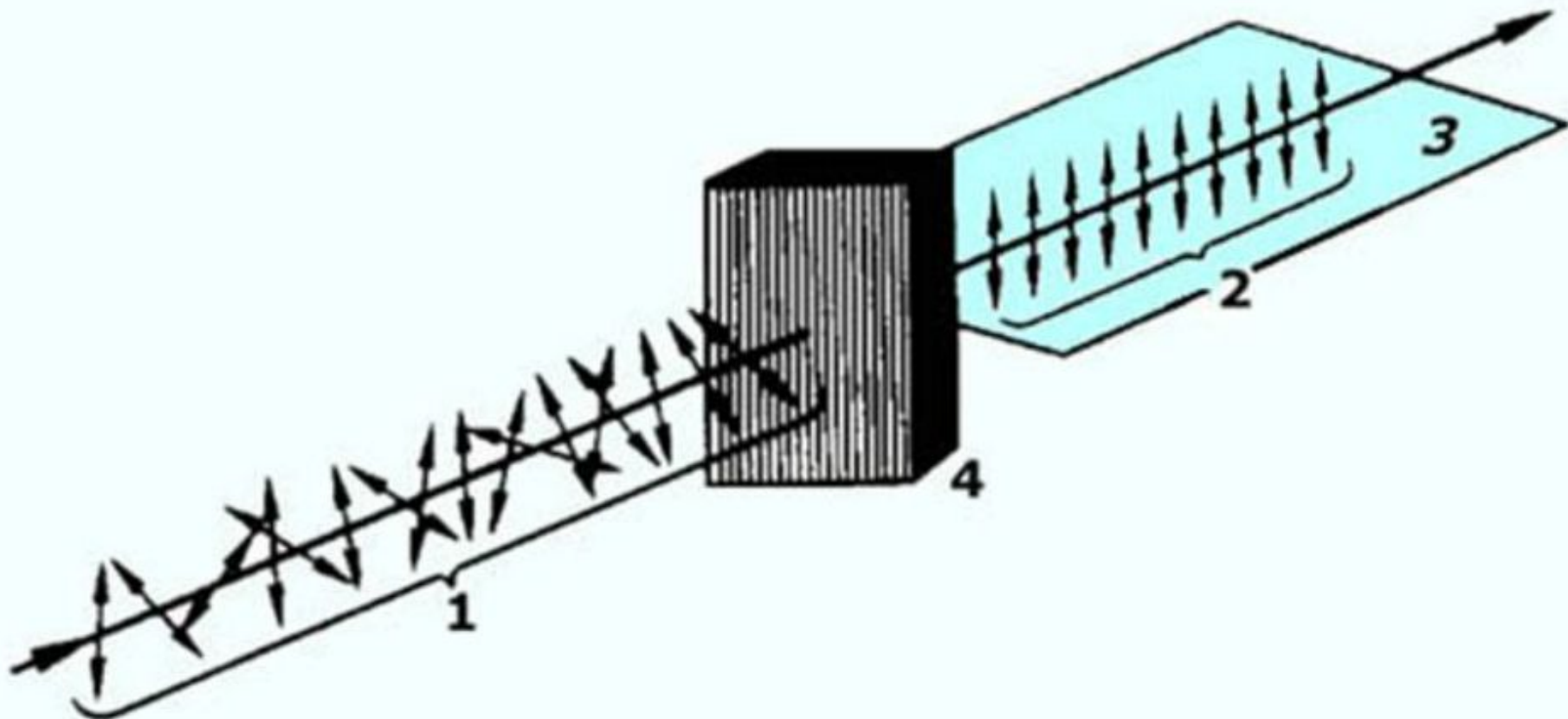
# Механическая аналогия



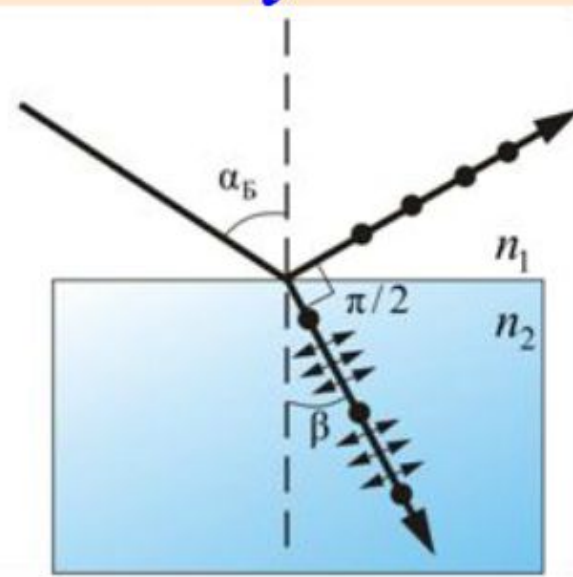
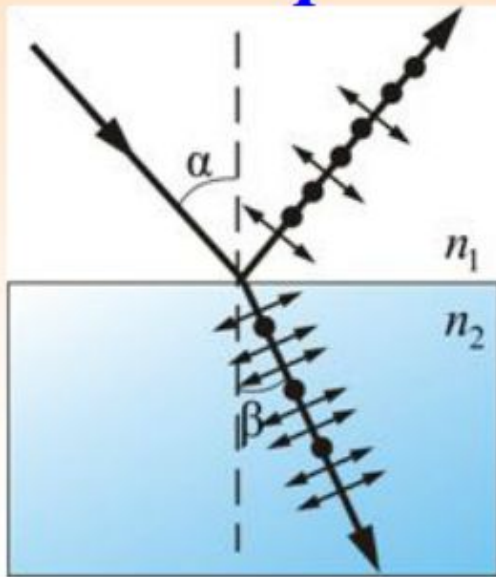
## Линейные поляризаторы:

- **оптически анизотропные кристаллы** (турмалин), вырезанные параллельно его оптической оси;
- **поляроиды** – целлулоидные плёнки, в которые введено большое количество одинаково ориентированных с помощью растяжения или сдвиговой деформации кристалликов.





*Степень поляризации зависит от угла падения:*



*Если луч падает на границу двух сред под углом  $\alpha$ , удовлетворяющему условию  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1}$*

*то отраженный луч оказывается полностью поляризованным.*

*Преломленный луч – поляризован частично.*

Угол  $\alpha$  – называется *углом Брюстера*.

# Формулы Френеля

*При падении естественного света на границу раздела двух диэлектриков:*

*для отраженного луча:*

$$\begin{cases} I_{r\perp} = \frac{1}{2} I_0 \frac{\sin^2(\alpha - \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)} \\ I_{r\parallel} = \frac{1}{2} I_0 \frac{\operatorname{tg}^2(\alpha - \beta)}{\operatorname{tg}^2(\alpha + \beta)} \end{cases}$$

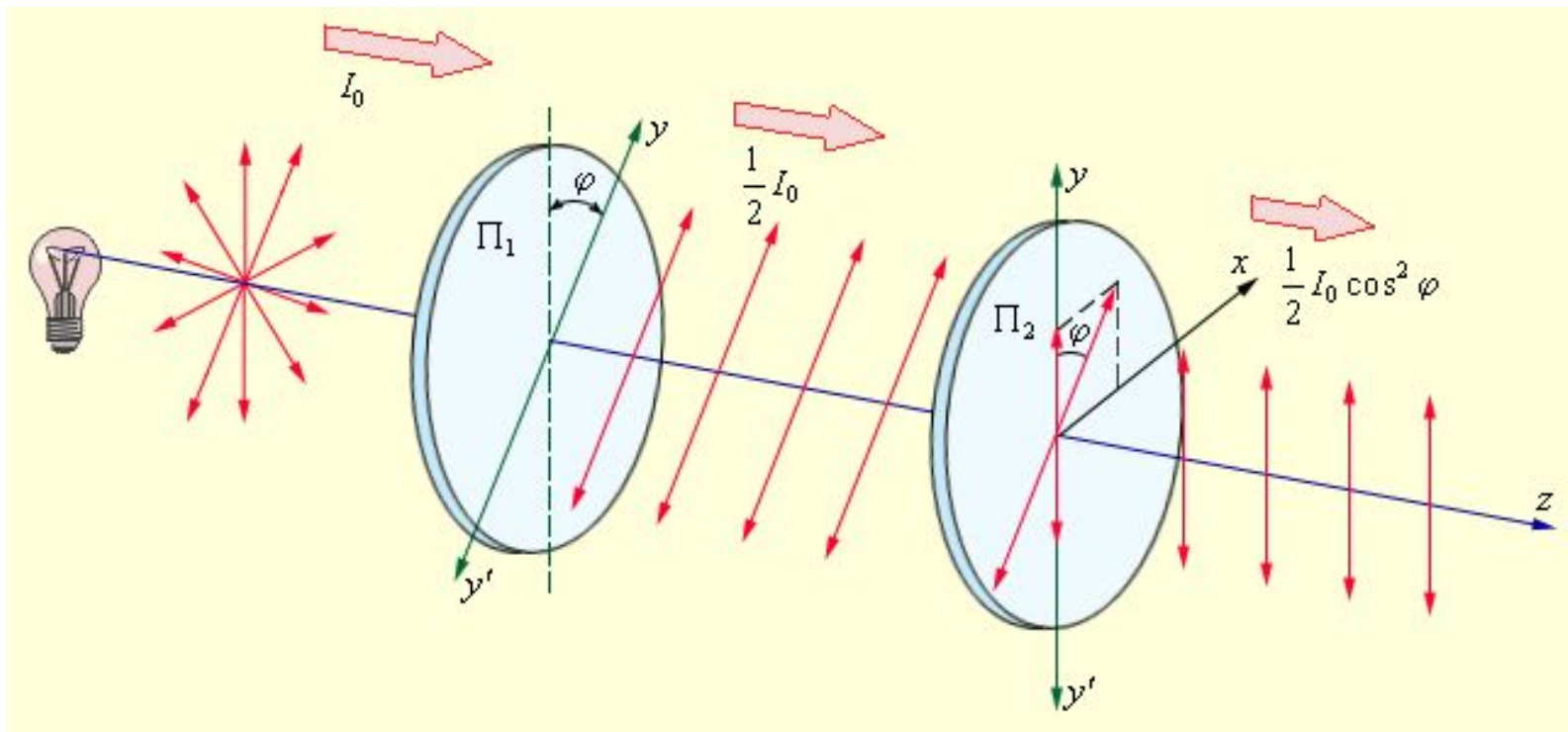
*для преломленного луча:*

$$\begin{cases} I_{p\perp} = \frac{1}{2} I_0 \left[ 1 - \frac{\sin^2(\alpha - \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)} \right] \\ I_{p\parallel} = \frac{1}{2} I_0 \left[ 1 - \frac{\operatorname{tg}^2(\alpha - \beta)}{\operatorname{tg}^2(\alpha + \beta)} \right] \end{cases}$$

*Степень поляризации* МОЖНО ЗАПИСАТЬ КАК

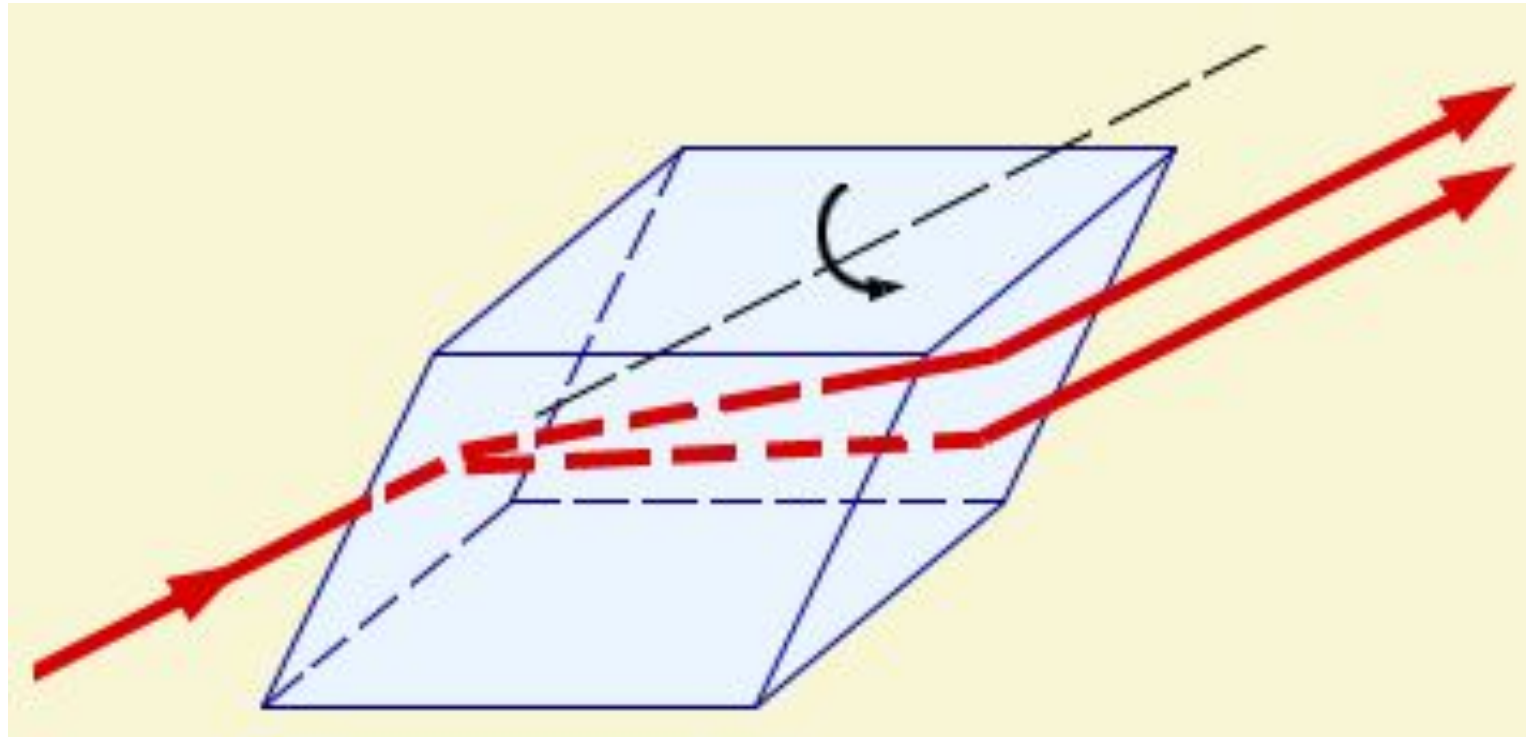
$$P = \frac{|I_{\perp} - I_{\parallel}|}{I_{\perp} + I_{\parallel}}$$

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



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

# Двойное лучепреломление в кристаллах



Расщепление луча света, проходящего через *исландский шпат*, связано с *анизотропией кристалла*.

*У анизотропных кристаллов имеется оптическая ось.*

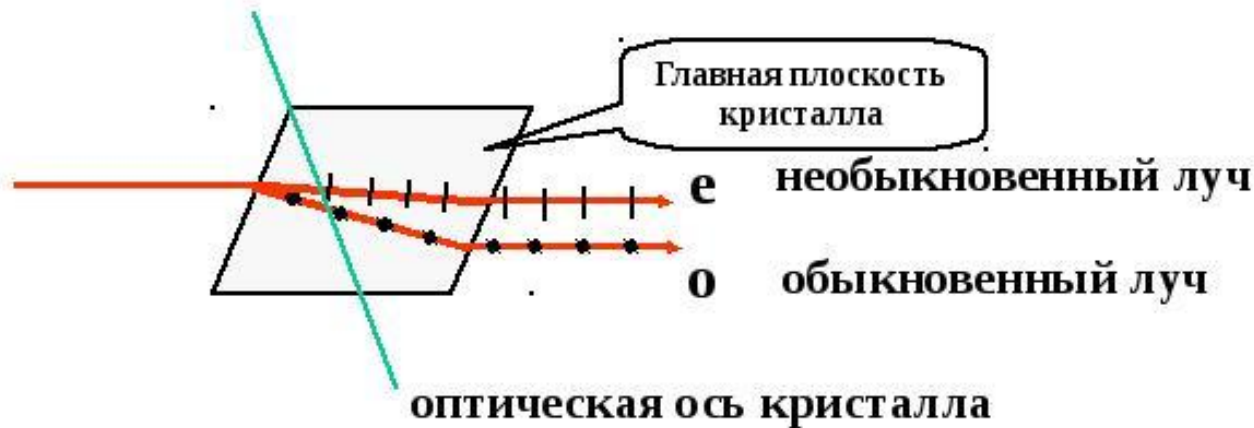
Плоскость, проходящая через *оптическую ось*, называется *главным сечением кристалла*

*Одноосные кристаллы* (исландский шпат, турмалин)

*Кристаллы двухосные* (гипс, слюда).

Явление **двойного лучепреломления** света объясняется тем, что во многих кристаллических веществах показатели преломления волн, линейно поляризованных во взаимно перпендикулярных направлениях, различны. Поэтому кристалл раздваивает проходящие через него лучи. Два луча на выходе кристалла линейно поляризованы во взаимно перпендикулярных направлениях. Кристаллы, в которых происходит двойное лучепреломление, называются **анизотропными**.

## Двойное лучепреломление в анизотропных кристаллах



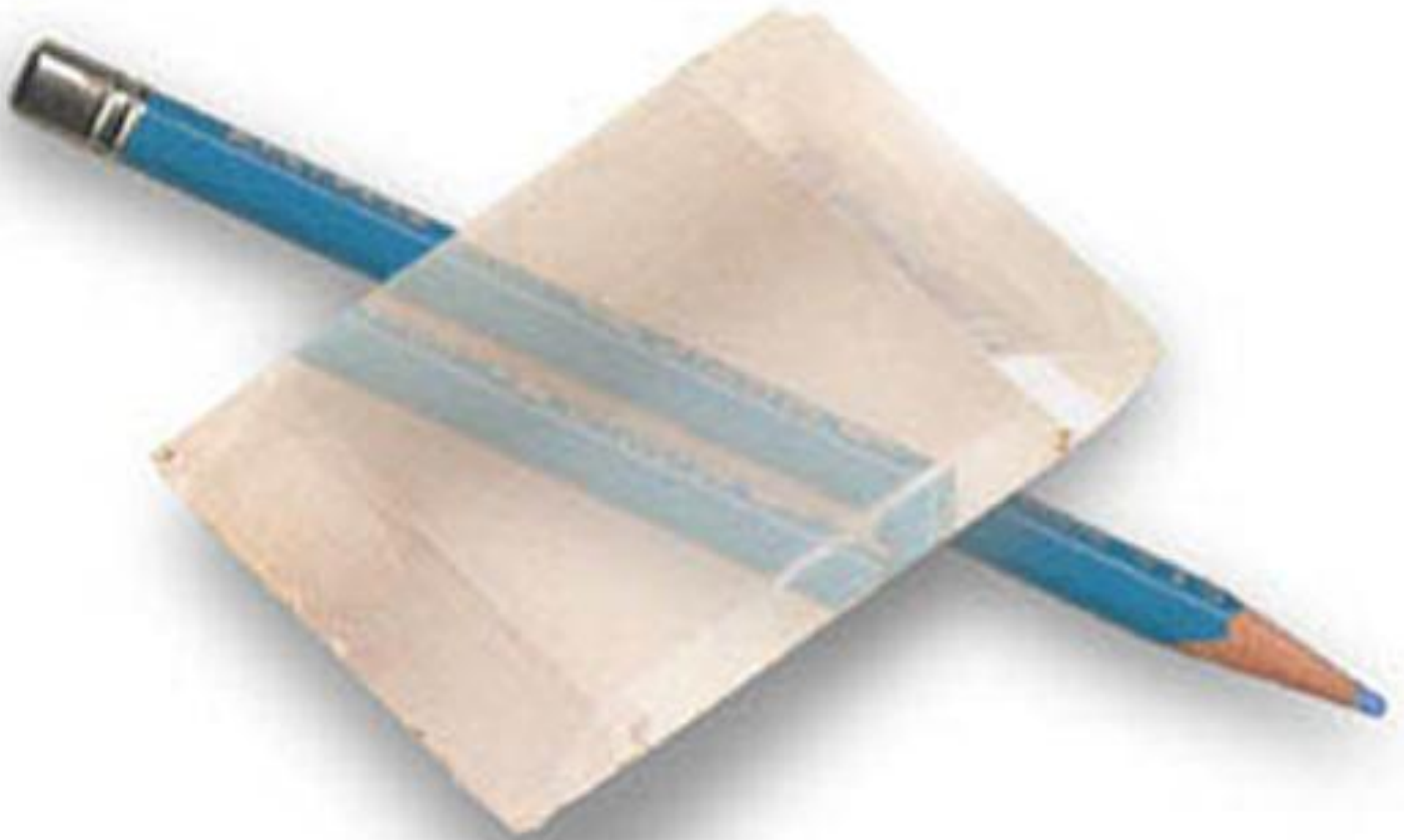
$$n = \frac{c}{V}, \quad n = \sqrt{\epsilon}$$

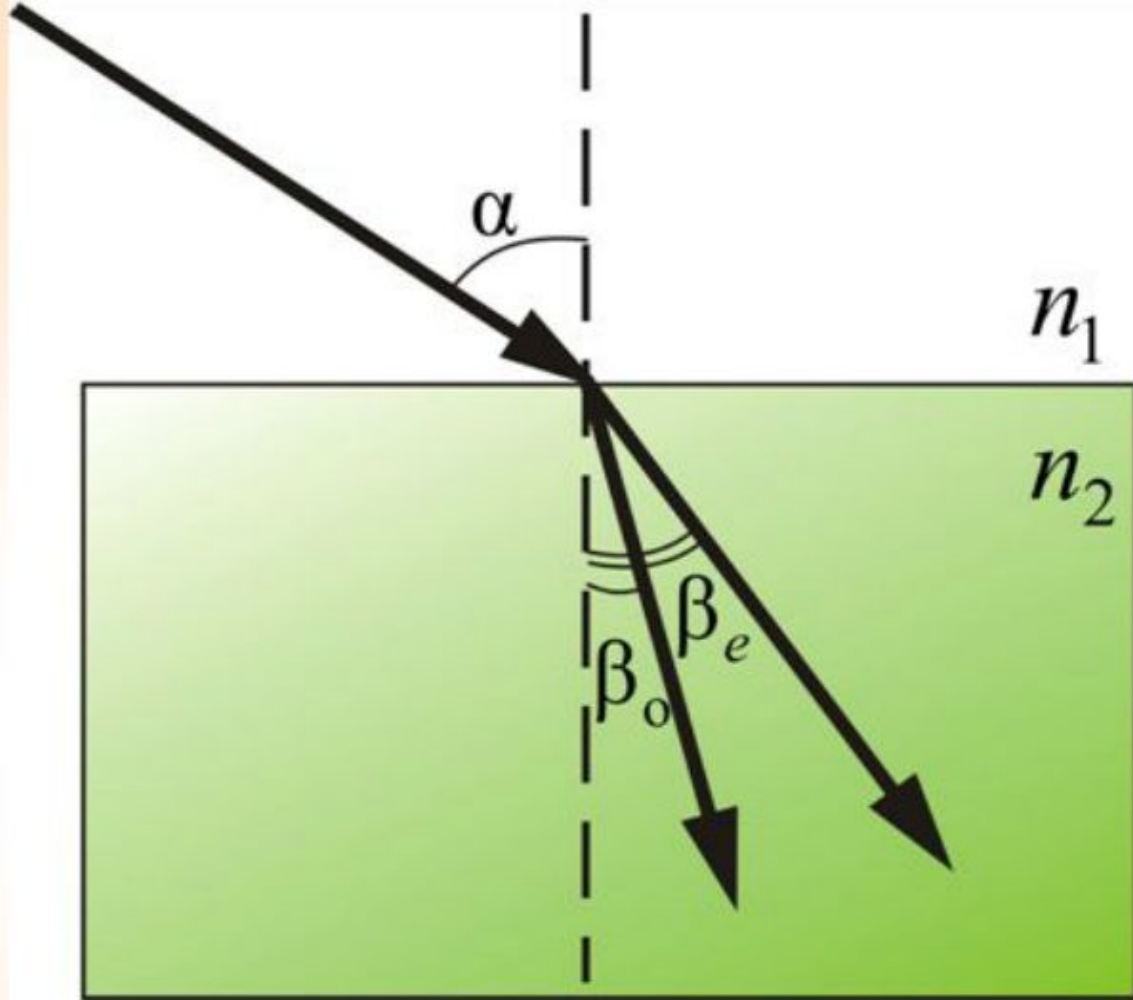
В анизотропных кристаллах диэлектрическая проницаемость зависит от **направления** колебаний вектора **напряженности** электрического поля.

В **обыкновенном** луче вектор напряженности колеблется **перпендикулярно** главной **плоскости** кристалла.

В **необыкновенном** луче вектор напряженности колеблется **в** главной **плоскости** кристалла.





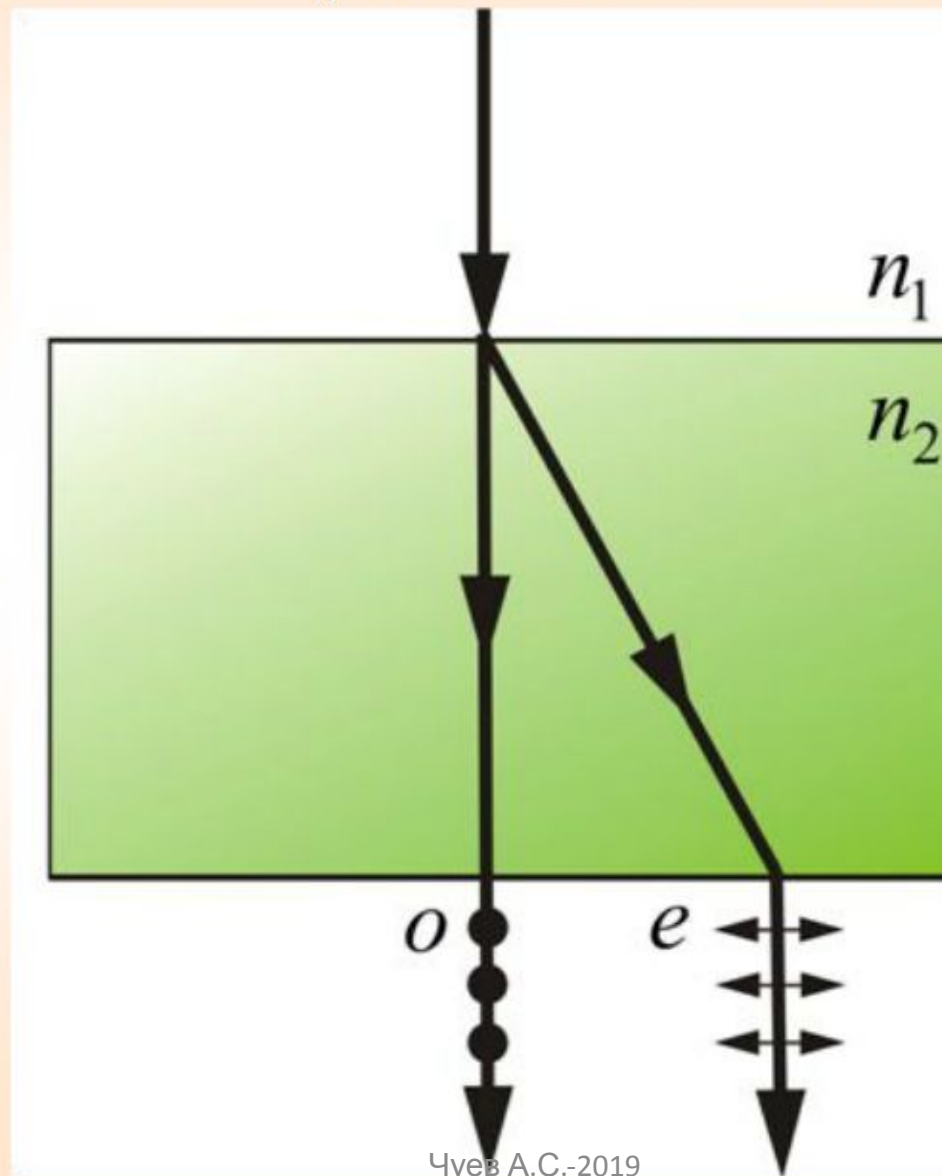


**Закон преломления Снеллиуса:** 
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

Подчиняется луч **обыкновенный o**

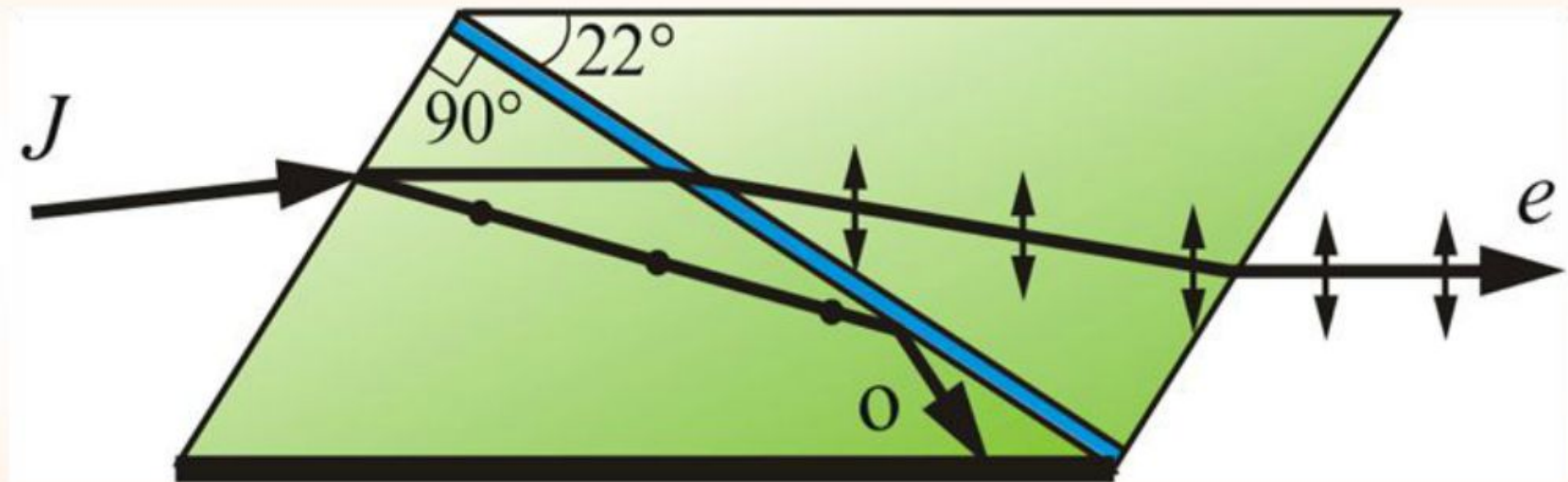
Не подчиняется – **необыкновенный луч e.**

Явление двойного лучепреломления используется для получения поляризованного света:



*Двойное лучепреломление* объясняется *анизотропией кристалла*. Диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon$  — зависит от направления. В одноосных кристаллах диэлектрическая проницаемость в направлении оптической оси  $\varepsilon_x$  и в направлениях перпендикулярных к ней  $\varepsilon_y$ , имеет разные значения.

В качестве поляроида используется **призма Николя (николь)**. Это призма из **исландского шпата**, разрезанная по диагонали и склеенная **канадским бальзамом**



Показатель преломления канадского бальзама

$$n_o > n > n_e$$

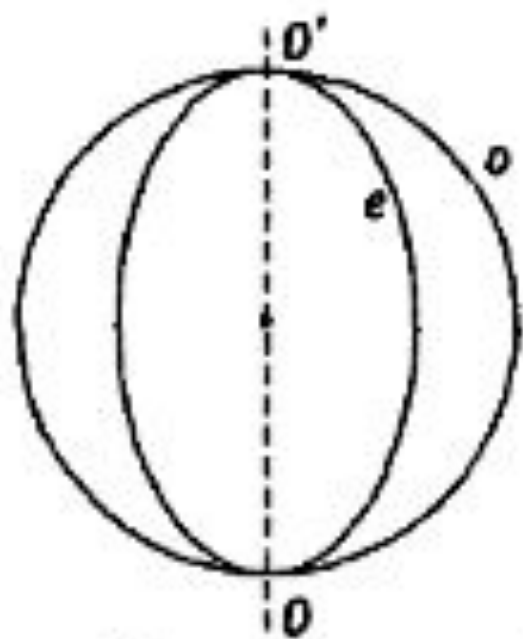
*Дихроизм* — один из лучей поглощается сильнее другого

Это явление используется для создания поляроидов. На выходе поляроида получается один поляризованный луч.

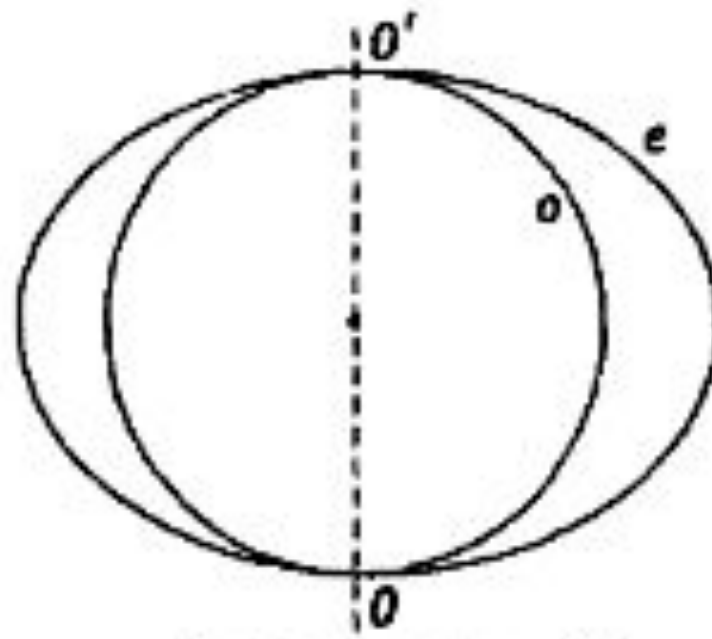
# Двойное лучепреломление в одноосных кристаллах (продолжение)

Одноосные кристаллы характеризуются показателем преломления **обыкновенного луча**, равным  $n_o = c/v_o$  и показателем преломления **необыкновенного луча**, перпендикулярного к оптической оси, равным  $n_e = c/v_e$ . В зависимости от того какая из скоростей  $v_o$  или  $v_e$ , больше различают **положительные** и **отрицательные** кристаллы. У положительных кристаллов  $v_e < v_o$  ( $n_e > n_o$ ) И наоборот. См. рис.





**Положительный**



**Отрицательный**

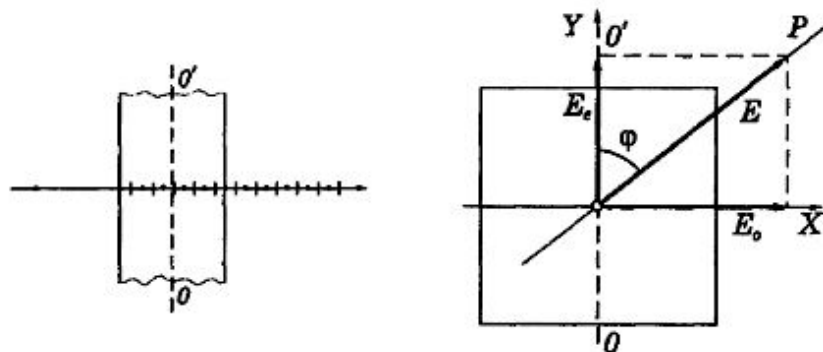


**1. Пластинка в четверть волны** (короче  $\lambda/4$ ) — это пластинка, толщина  $h$  которой удовлетворяет условию

$$h|n_o - n_e| = m \frac{\lambda}{4}, \quad \text{где } m = 1, 3, 5, \dots,$$

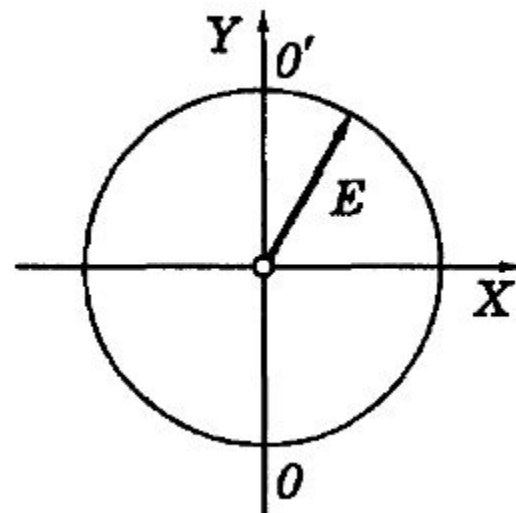
т. е. при *нечетных* значениях  $m$ . Эта пластинка создает

дополнительную разность фаз  $\delta = \pi/2$  (точнее,  $m\pi/2$ ,  $m$  — нечетное) между проходящими через нее обыкновенной и необыкновенной волнами, поляризованными во взаимно перпендикулярных плоскостях. Эти плоскости определяют в пластинке два направления, называемые *главными направлениями пластинки*: одна параллельна оптической оси, другая — перпендикулярна ей.



Если линейно поляризованный свет падает на пластинку так, что угол между его плоскостью поляризации  $P$  и оптической осью пластинки  $\varphi = 45^\circ$  (см. рис), то амплитуды обыкновенной и необыкновенной волн будут одинаковы, и на выходе из пластинки мы получим *круго-поляризованный* свет — эллипс вырождается в окружность

Направления вращения вектора  $E$  чередуются: если, например, при  $m = 1$  по часовой стрелке, то при  $m = 3$  против и т. д.



**2. Пластинка в полволны (короче  $\lambda/2$ ).** Ее толщина  $h$  удовлетворяет условию

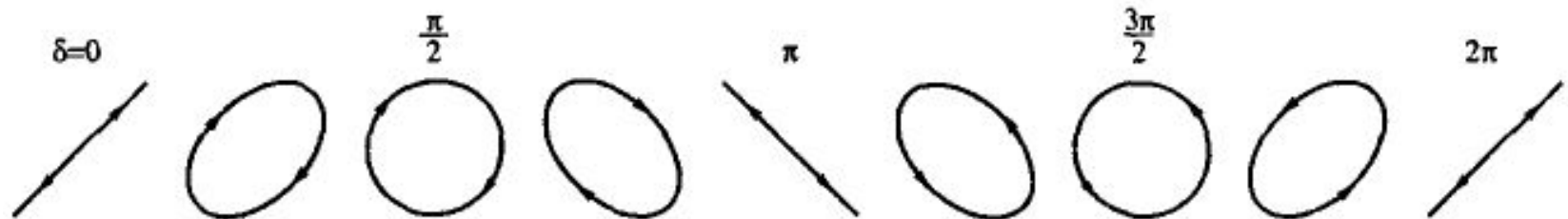
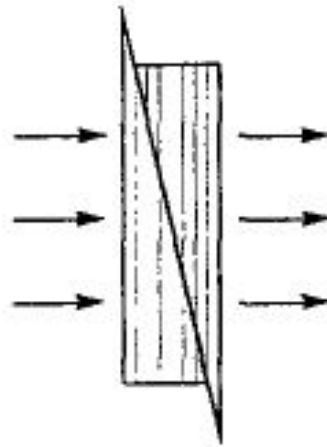
$$h|n_o - n_e| = m \frac{\lambda}{2}, \quad \text{где } m = 1, 3, 5, \dots,$$

т. е. тоже при *нечетных* значениях  $m$ . На выходе из такой пластинки между обыкновенной и необыкновенной волнами возникает дополнительная разность фаз  $\delta = \pi$  (точнее  $m\pi$ ,  $m$  — нечетное). Это значит, что свет, вышедший из пластинки, остается линейно-поляризованным, однако направление колебаний вектора  $E$  (плоскость поляризации) повернется на угол  $2\varphi$  симметрично главному сечению пластинки

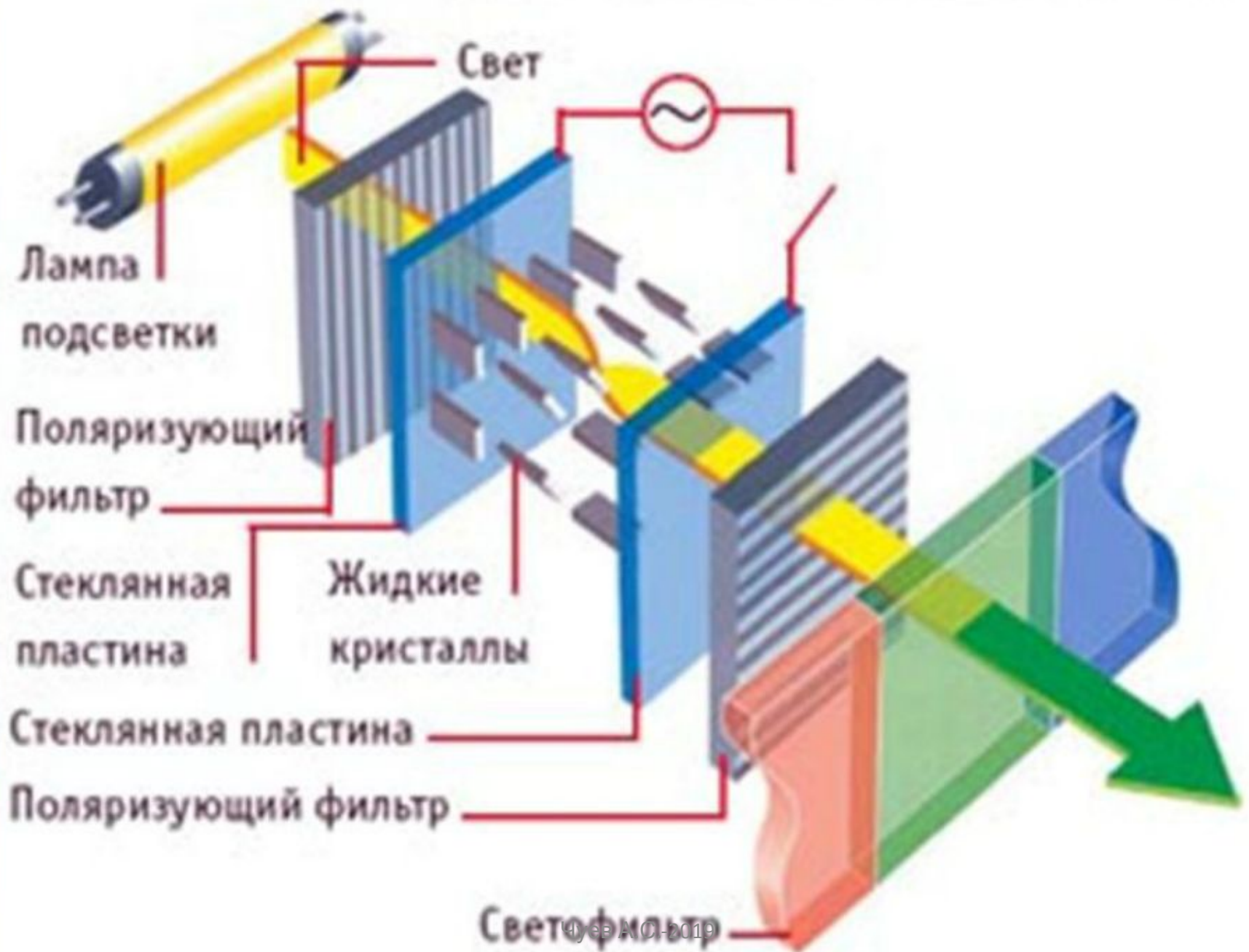
При  $\varphi = 45^\circ$  такая пластинка «поворачивает» плоскость поляризации на  $90^\circ$ , т. е. плоскость поляризации прошедшего через пластинку света будет ортогональна плоскости поляризации падающего света. Необходимость такого «поворота» нередко встречается в экспериментальных установках.

Пластинка в целую длину волны ( $d=2m\lambda$ ) не вносит

**3. Компенсатор.** Для анализа поляризованного света наряду с пластинкой  $\lambda/4$  используют устройства, позволяющие скомпенсировать до нуля (или дополнить до  $\pi$ ) любую разность фаз между двумя взаимно ортогональными колебаниями. Это так называемые *компенсаторы*.



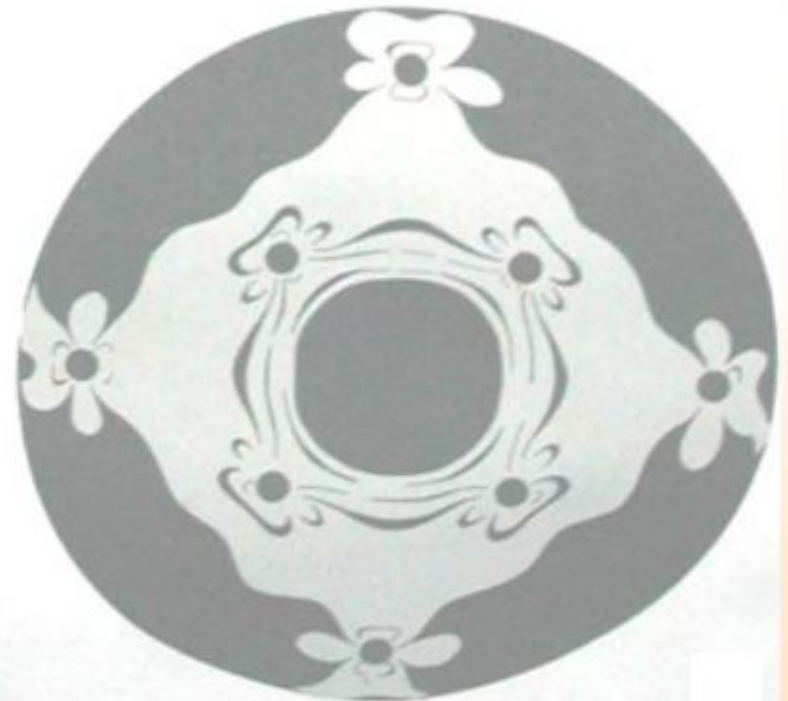
# Жидкокристаллический дисплей



Двойное лучепреломление можно наблюдать в изотропных средах (аморфных телах), если *подвергнуть их механическим нагрузкам.*

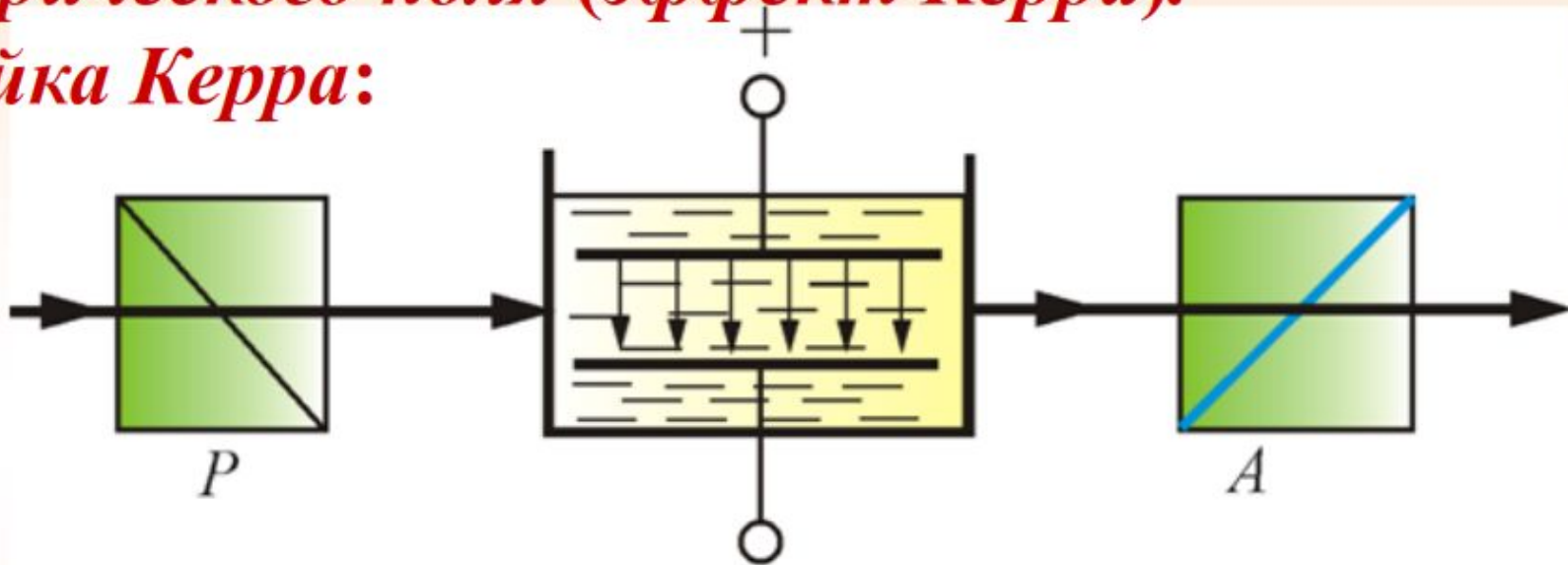
Явление, открытое в 1818 г. Брюстером, получило название *фотоупругости* или **пьезооптического эффекта.**

Помещая прозрачные фотоупругие модели между поляризатором и анализатором и подвергая их различным нагрузкам, *можно изучать распределения возникающих внутренних напряжений.*



**Явление искусственной анизотропии** МОЖЕТ  
возникать в изотропных средах **под воздействием**  
**электрического поля (эффект Керра).**

**Ячейка Керра:**



**Свет, прошедший через кювету, поворачивает плоскость поляризации, и система становится прозрачной.**

Ячейка Керра может служить затвором света, который управляется потенциалом одного из электродов конденсатора, помещенного в ячейку.



# Вращение плоскости поляризации

*Оптически активные вещества –*

*среды, которые при прохождении через них плоскополяризованного света способны вращать его плоскость поляризации.*

**Оптически активные вещества существуют в 2 формах:**

(в зависимости от направления вращения плоскости поляризации) - **правой и левой**; при этом молекула или кристалл правой формы зеркально-симметричны молекуле или кристаллу левой формы.

**Направление вращения:**

«+» - **вправо** относительно наблюдателя, к которому свет приближается

«-» - **влево** относительно данного наблюдателя.

## В кристаллах:

(сильнее всего вращают плоскость поляризации, если луч распространяется вдоль оптической оси).

$$\varphi = \alpha l$$

$\varphi$  – угол поворота;

$l$  – расстояние, пройденное лучом в кристалле;

$\alpha$  – **постоянная вращения** (зависит от длины волны).

## В растворах:

$$\varphi = [\alpha] cl$$

$c$  – концентрация активного вещества;

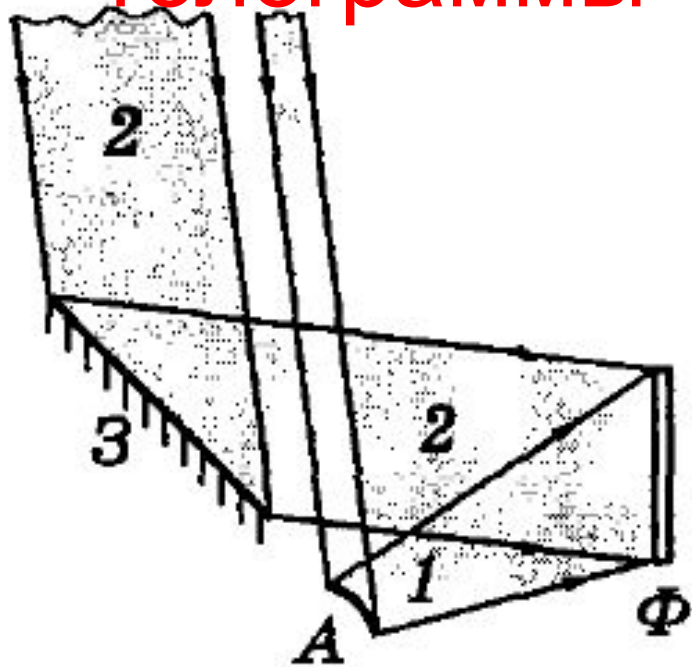
$[\alpha]$  – **удельная постоянная вращения.**

# ГОЛОГРАФИЯ

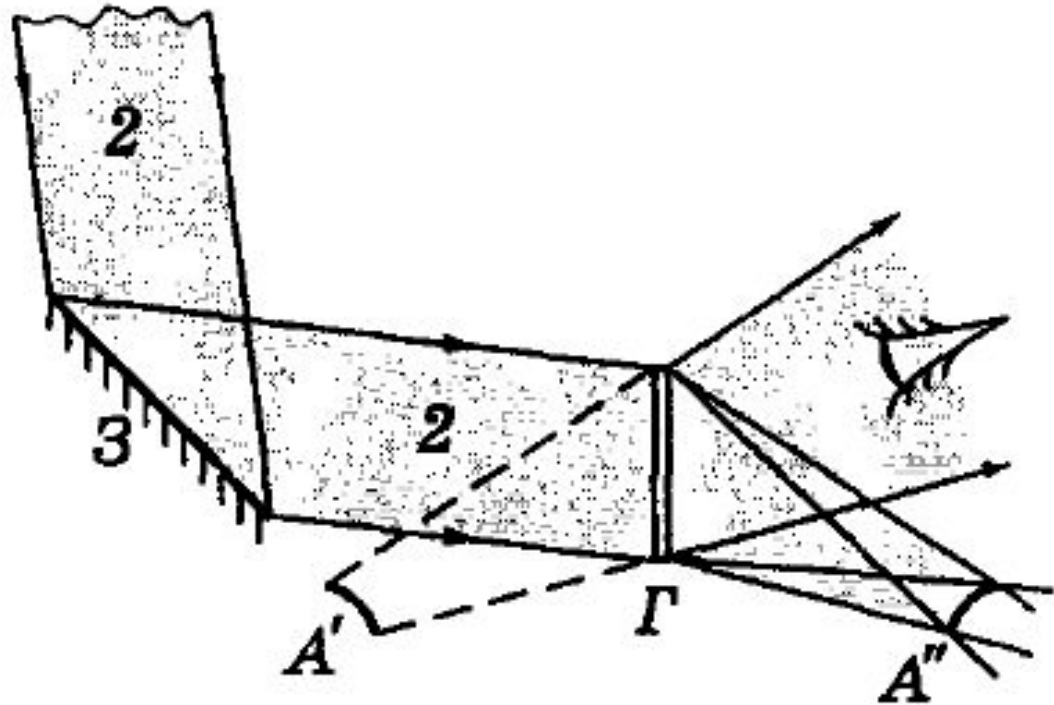
*Голографией* называют способ записи и последующего восстановления структуры световых волн, основанный на явлениях дифракции и интерференции когерентных световых пучков. В отличие от обычной фотографии, голография — это принципиально новый метод получения объемных изображений предметов.

В этом методе регистрируется не оптическое изображение предмета, а *интерференционная картина*, возникающая при наложении световой волны, рассеянной предметом, и когерентной с ней *опорной* волны. Эта интерференционная картина фиксирует информацию о распределении не только амплитуд, но и фаз в *предметной* волне. Таким способом можно получить и зарегистрировать на фотопластинке значительно более полную информацию об объекте, нежели путем обычного фотографирования.

# Запись и восстановление голограммы



а)



б)

1 – предметная волна.

2 – опорная волна.

# ОКОНЧАНИЕ ЛЕКЦИЙ ВТОРОГО СЕМЕСТРА ПО ФИЗИКЕ

ВСЕМ УСПЕШНОЙ СДАЧИ  
ЗАЧЕТОВ и ЭКЗАМЕНА!