

# Тема: Поляризация света

- Что такое поляризация света?

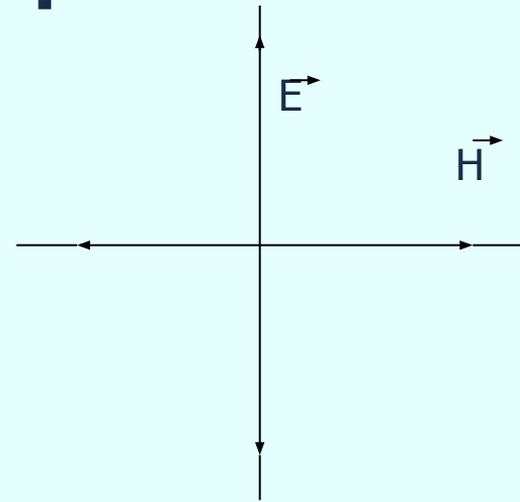
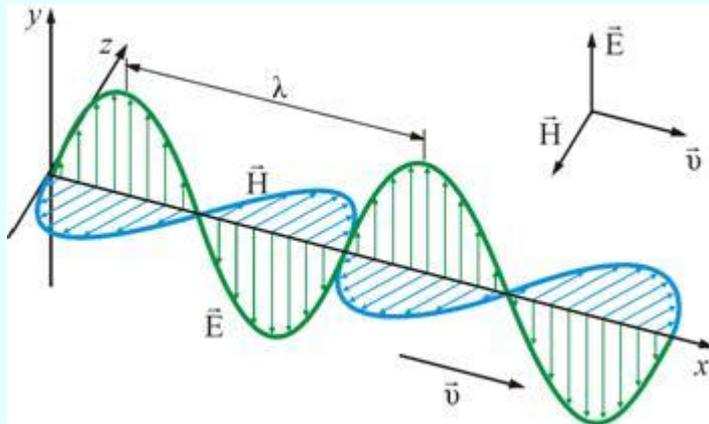
Внешне отличить поляризованный свет от неполяризованного трудно. Силу света можно оценить по интенсивности –  $I$ , цвет – по длине волны –  $\lambda$ .

**Поляризация**- это особое свойство света, которое характеризует его состояние, исходя из его волновой природы.

- В чем суть этого явления, как оно проявляется?

Необходимо представить свет как электромагнитную волну, с точки зрения ориентации векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$ .

# § 1 Естественный и поляризованный свет



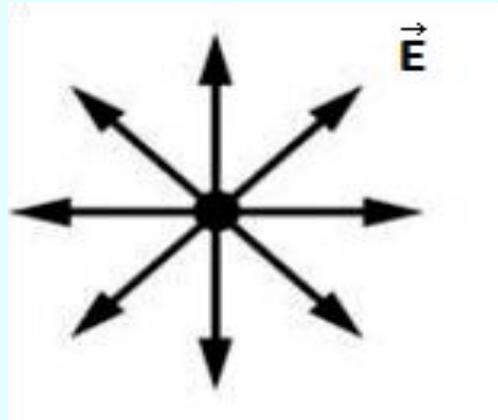
Световая волна поперечная

Волна  $\vec{E}$   $\vec{H}$   $\vec{v}$

Основное действие на зрительное восприятие оказывает вектор  $\vec{E}$  – **световой вектор**

На рисунке представлена световая волна (электромагнитная) и ориентация векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  по отношению друг к другу .

В естественном свете присутствуют колебания всевозможных направлений вектора  $\vec{E}$ , то есть это состояние можно представить в виде «звездочки»:

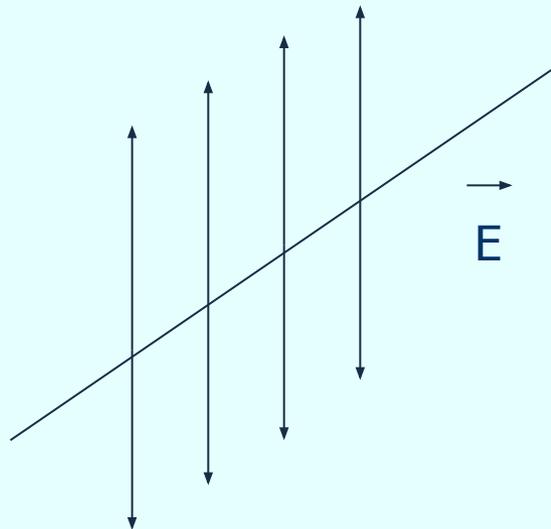


В зависимости от ориентации светового вектора  $\vec{E}$  в пространстве различают поляризованный и неполяризованный свет.

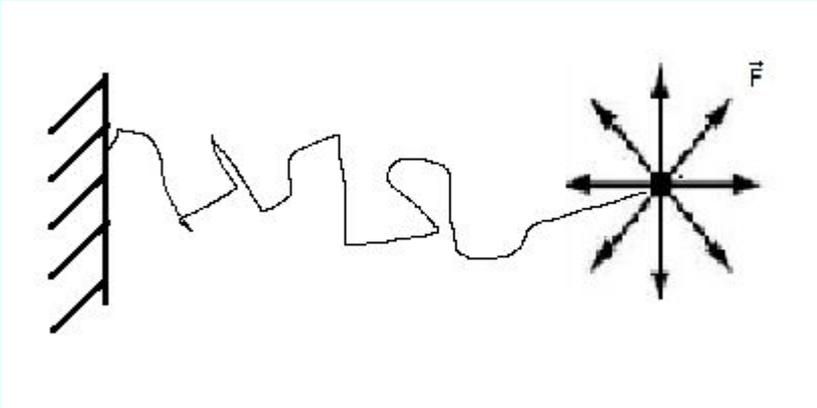
**Поляризация света**- это процесс, при котором из естественного света выделяется только одно направление ( ориентация ) светового вектора, то есть  $\vec{E}$  ориентирован в пространстве определенным образом.

Различают плоскую, круговую, эллиптическую поляризацию.

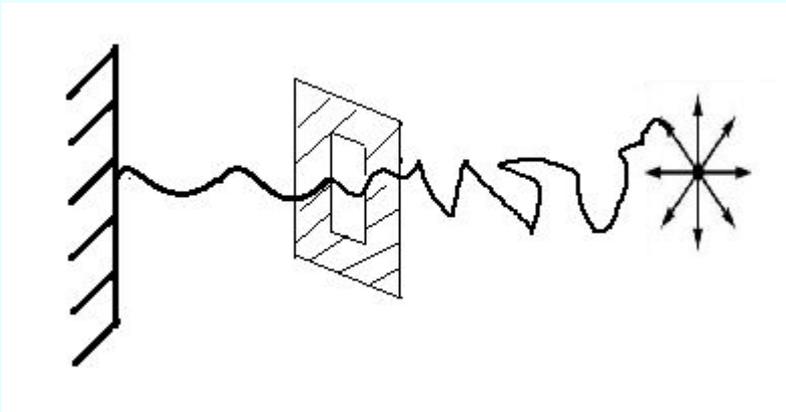
**Плоскополяризованный свет** – это такой свет, у которого колебания светового вектора  $\vec{E}$  происходит только в одной плоскости, например, в вертикальной (Рис.).



# Механическая аналогия поляризации света



а) колебание нити  
произвольное

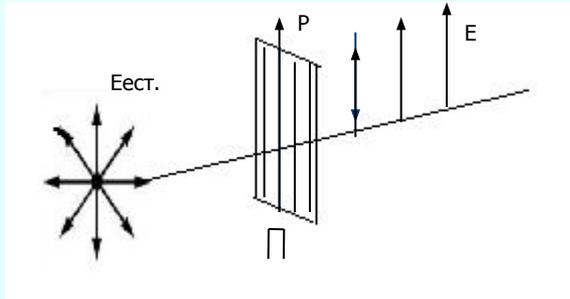


б) поляризованное  
механическое колебание нити  
с помощью щели

Поляризованный свет можно получить из естественного с помощью специальных устройств – **поляризаторов.**

Существуют природные поляризаторы – это кристаллические тела с анизотропными свойствами и невысокой степенью симметрии (например, исландский шпат). Эти вещества свободно пропускают колебания параллельные так называемой плоскости поляризации (P) и полностью или частично задерживают колебания перпендикулярные этой плоскости.

## Схема поляризации света:



Количественная характеристика поляризации (степень поляризации)- вектор поляризованности (P).

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

где  $I_{\max}$  - максимальная интенсивность прошедшего поляризованного света через поляризатор;

$I_{\min}$  - минимальная интенсивность прошедшего поляризованного света через поляризатор.

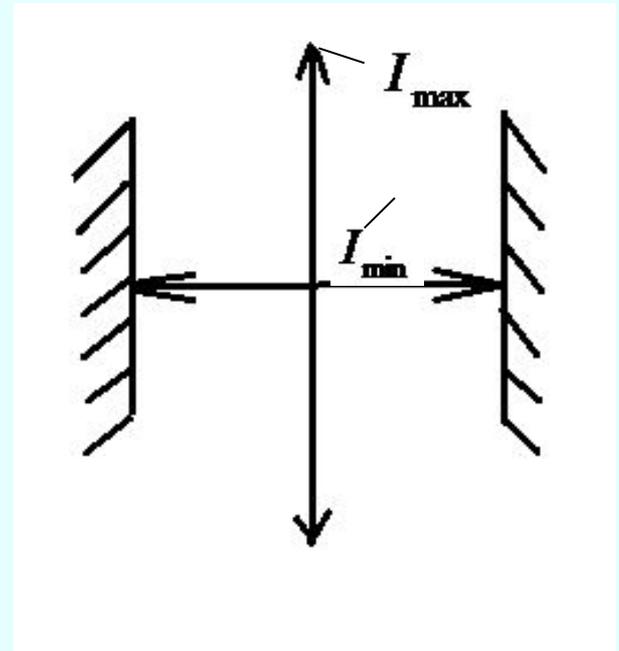
Если  $I_{\max} = I_{\min}$  , то  $P=0$  (неполяризованный)

Если  $I_{\min} = 0$  , то  $P=1$  (полностью поляризованный)

Схематично интенсивности света  $I_{\max}$  и  $I_{\min}$  представлены на Рис.

Интенсивность поляризованного света по отношению естественному свету составляет:

$$I_{\text{поляр}} = \frac{1}{2} I_{\text{ест}} \quad (2)$$



## § 2 Закон Малюса

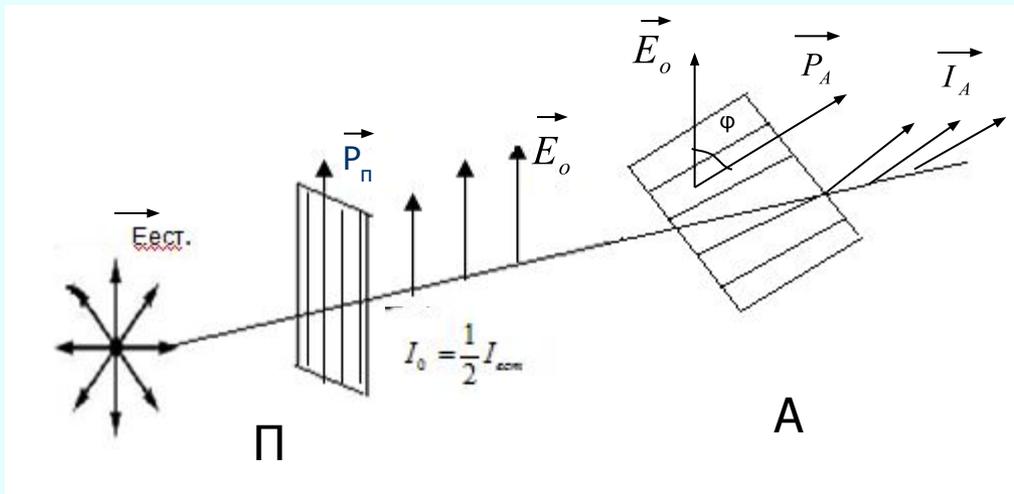
Поляризуя свет, мы теряем часть интенсивности излучения. Рассмотрим на примере плоскополяризованного света. Что происходит с интенсивностью света после прохождения через поляризатор (П) и анализатор (А)? Представим схему на рисунке:

Плоскость поляризации анализатора повернута относительно

колебания

на угол –  $\varphi$ .

$$\text{(т.е. } P_a \wedge P_n = \varphi \text{)}$$



Так как  $E_a = E_o * \cos\varphi$  и, учитывая связь между интенсивностью света и световым вектором -  $I = |E|^2$ , получаем выражение (2):

$$I_a = I_0 * \cos^2\varphi \quad \text{- Закон Малюса} \quad (3)$$

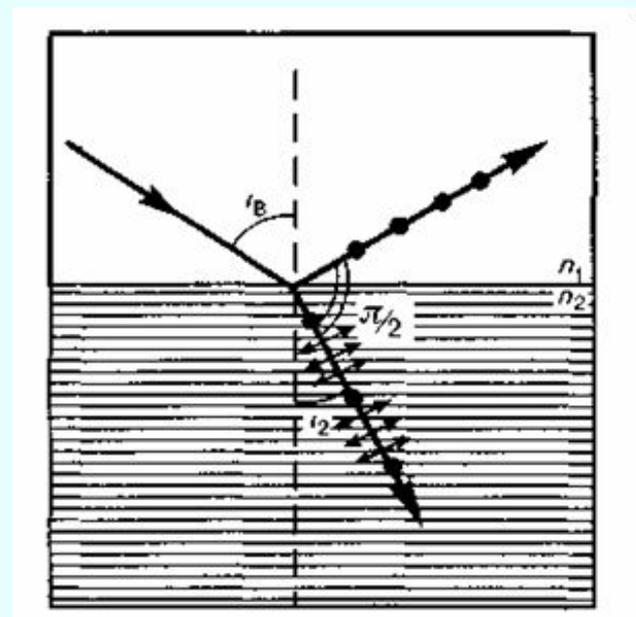
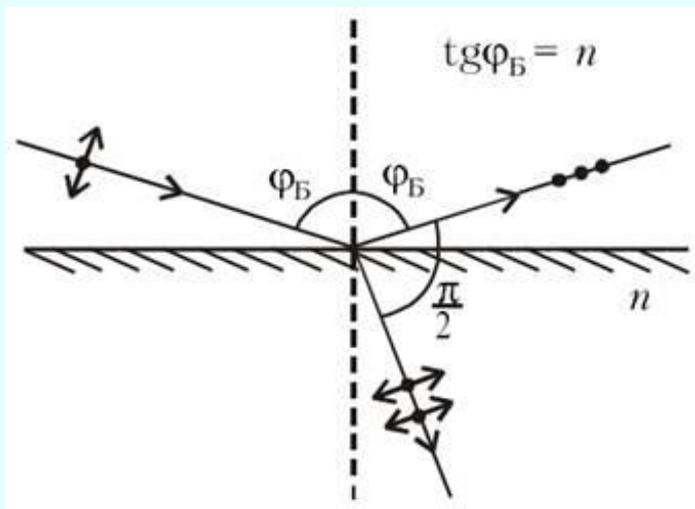
С учетом потери интенсивности света после поляризации  $I_0 = \frac{1}{2} I_{ест}$  выражение (3) можно записать:

$$I_a = \frac{1}{2} I_{ест} * \cos^2\varphi \quad (4)$$

## § 3 Способы получения поляризованного света

### А). Поляризация света при отражении и преломлении на границе двух изотропных сред

Это способ поляризации открыл Малюс. Было замечено, что отраженные и преломленные лучи частично поляризованы, при этом в отраженном луче преобладают колебания перпендикулярные к плоскости падения исходного луча ( $\bullet\bullet\bullet\rightarrow$ ), а в преломленном луче - колебания параллельные плоскости падения ( $\uparrow\uparrow\uparrow\rightarrow$ ). Это изображено на рисунках:



Опыты установили, что при определенном угле падения -  $\alpha_B$  отраженный луч становится полностью поляризованным, а величина  $\alpha_B$  зависит от относительного показателя преломления этих двух изотропных сред ( $n_{2,1}$ ).

Брюстер установил закон ( в 1815 г.):

$$\boxed{\operatorname{tg} \alpha_B = n_{2,1}} \quad , \quad (5)$$

где  $\alpha_B$  - угол Брюстера, при котором отраженный луч полностью поляризован.

Из соотношений  $n_{2,1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$ ;  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$  и с учетом закона Брюстера следует:

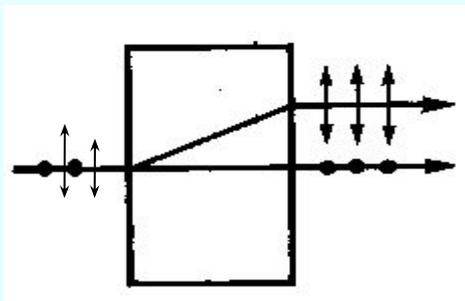
что  $\sin \gamma = \cos \alpha$ . Это возможно при

$$\sin \gamma = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right), \text{ т.е. } \gamma + \alpha_B = \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

## Б). Двойное лучепреломление. Призма Николя

Бартолин (в 1670 г) открыл явление двойного лучепреломления, исследуя прохождение света через исландский шпат (минерал). Суть лучепреломления – упавший на кристалл луч разделяется внутри кристалла на два луча, причем эти лучи имеют разные скорости.

Эти лучи поляризованы во взаимно перпендикулярных направлениях.



е- необыкновенные лучи  
о- обыкновенные лучи

О - обыкновенный луч подчиняется законам геометрической оптики (в том числе закону преломления  $\sin \alpha / \sin \gamma = n_{2,1}$ )

е - необыкновенный луч не подчиняется законам геометрической оптики, имеет свой показатель преломления -  $n_e$ .

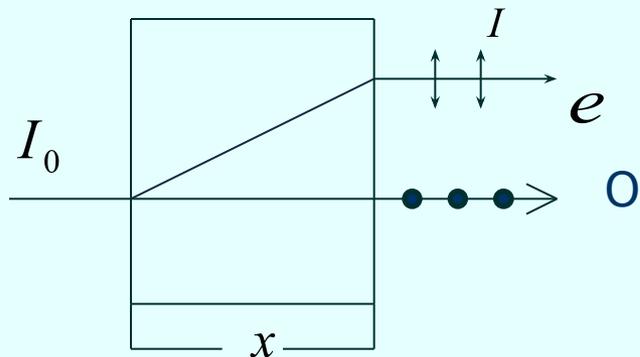
$$n_e \neq n_o ; \quad V_e \neq V_o$$

То есть обыкновенный и необыкновенный лучи имеют свои показатели преломления и распространяются с разными скоростями.

Такое разделение света обусловлено анизотропией кристалла (в разных направлениях – разные свойства).

В кристалле есть одно направление, по которому не разделяются. Это направление (линия вдоль его) называется **главной оптической осью**.

Различают кристаллы по степени поглощения О- обыкновенного и е – необыкновенного лучей. Один луч поглощается сильнее другого- это дихроизм. На их основе построены устройства- поляриды.



Степень поглощения определяется выражением (7):

$$I = I_0 * e^{-kx} \quad , \quad (7)$$

где К- коэффициент поглощения;  
Х- толщина.

# Призма Николя – это устройство для поляризации света



Условия:  $n_0 > n_{к.б.} > n_e$

$$\begin{aligned} n_0 &= 1.66 \\ n_{к.б.} &= 1.55 \\ n_e &= 1.52 \end{aligned}$$

- Важно: 1. Геометрия конструкции призмы (углы, наклоны).  
 2. Соотношения между показателями преломления обыкновенного, канадского бальзама и необыкновенного луча:

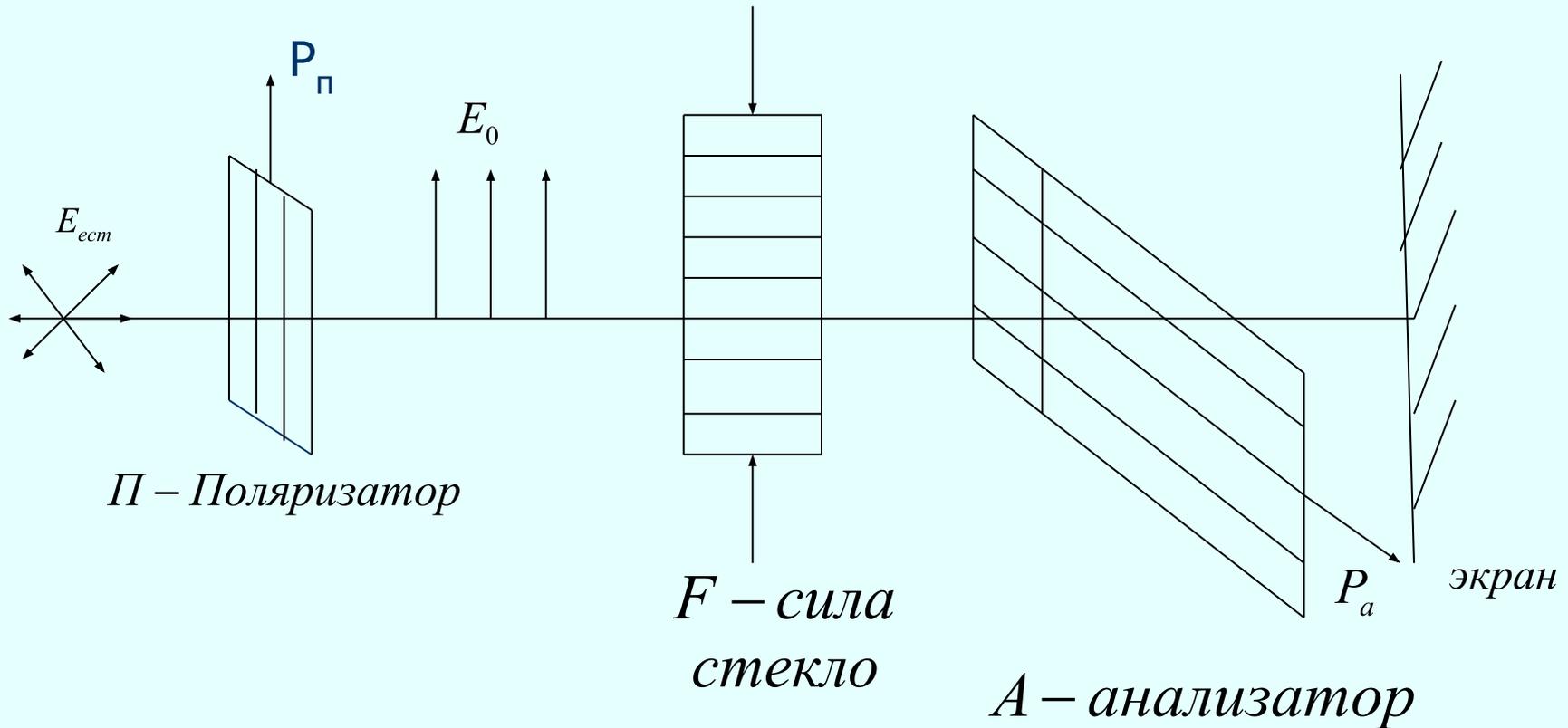
$n_0$ ,  $n_{к.б.}$  и  $n_e$ .  
 Призма состоит из двух призм исландского шпата, склеенных канадским бальзамом.

Суть метода заключается в том, что за счет геометрии призм и соотношения показателей преломления достигается полное внутреннее отражение обыкновенного луча, а необыкновенный луч проходит через призму и становится поляризованным.

## § 4 Применение поляризованных лучей

А). Искусственная оптическая анизотропия. Метод фотоупругости

Рассмотрим следующую схему:

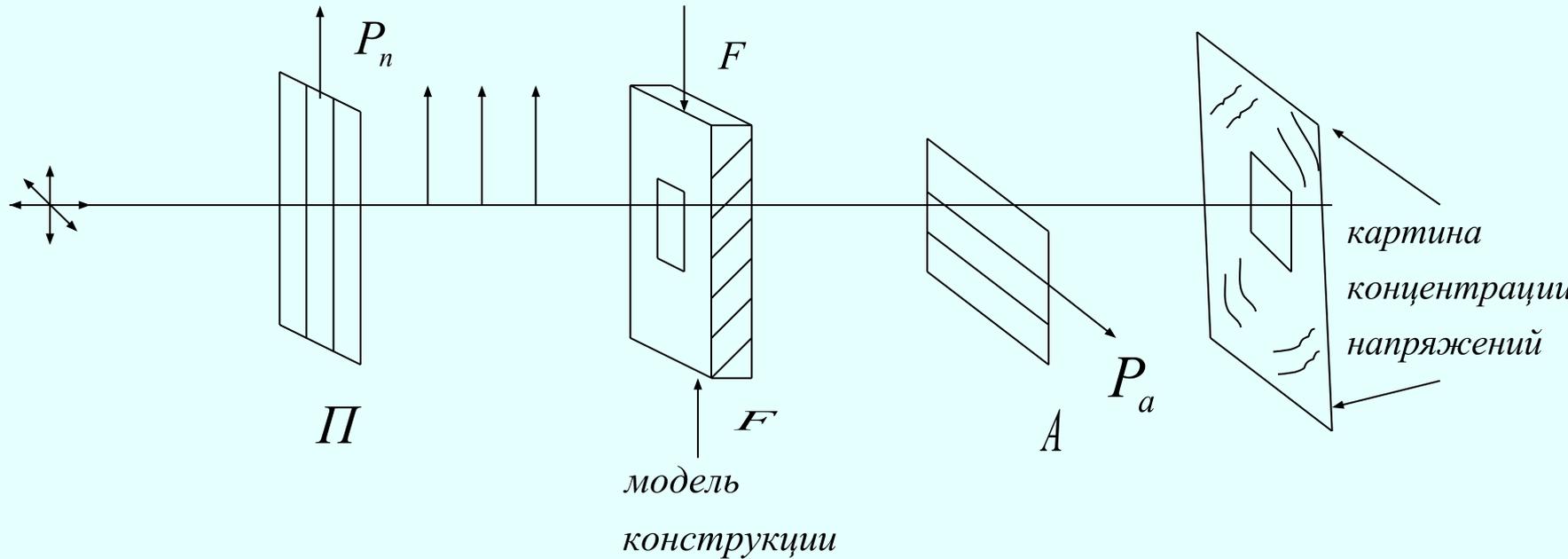


Между П. и А. поместим обыкновенную стеклянную пластинку.

Стекло изотропное вещество, поэтому поляризованный луч после поляризатора (П.) проходит через пластинку, не изменяя своего состояния. На экране будет темно, так как анализатор (А.) расположен перпендикулярно к поляризатору.

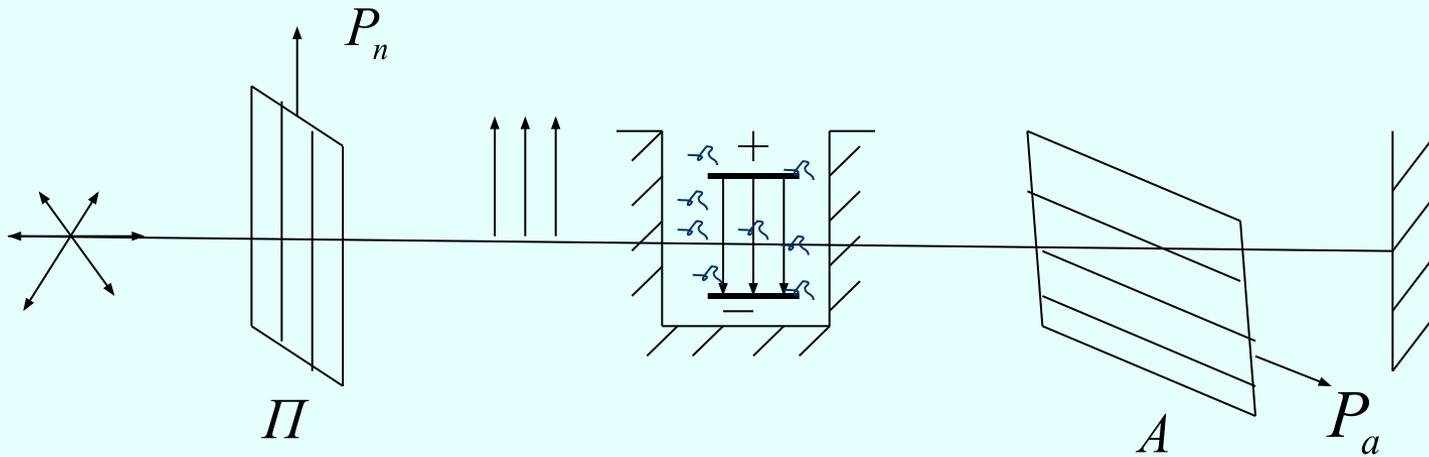
Если стеклянную пластинку будем сжимать или растягивать, то благодаря возникающим внутренним напряжениям стекло приобретает свойства анизотропии, т.е. свойство кристалла. В этом состоянии стеклянная пластинка будет выполнять роль дополнительного поляризатора (кристалла) с двойным лучепреломлением. Вышедшие из пластинки лучи (обыкновенный и необыкновенный), проходя через анализатор, будут интерферировать и давать на экран интерференционную картинку. Вид этой картины на экране будет определяться распределением напряжений, возникающих в пластине под действием внешних сил -  $F$ . Эта связь вида интерференционной картины с напряжениями в стекле используется для оценки различных строительных конструкций с точки зрения оценки их надежности.

Этот метод оценки напряжений в изделиях с помощью моделей из изотропного вещества (стекло, плексиглас и др.) и применение поляризованного света называется **методом фотоупругости**.



Метод широко применяется для оценки пролетов мостов, части зданий, конструкции аппаратов, различных устройств и др. На кафедре «Строительная механика» СГУПСа этот метод существует.

Б). Искусственная анизотропия под действием электрического поля  
( Явление Керра- в 1875 г).



В прозрачную кювету заливают жидкий диэлектрик с крупными полярными молекулами (нитробензол-  $C_6H_5NO_2$ ).

Без электрического поля молекулы диэлектрика хаотически распределены по объему и диэлектрик изотропен, влияния на поляризованный свет не оказывает. При подаче напряжения на пластины конденсатора жидкость поляризуется, молекулы ориентируются по полю. Жидкость приобретает свойства одноосного двухпреломляющегося кристалла.

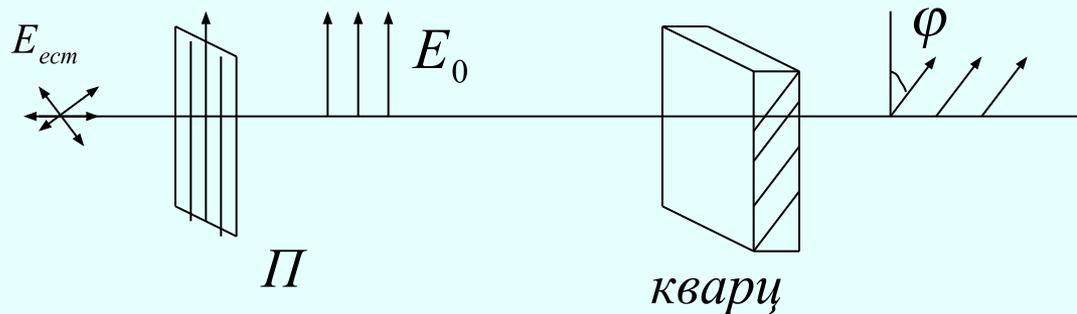
За счет чего на экране появляется интерференционная картина.  
Время, в течение которого устанавливается (при включении электрического поля) или исчезает (при отключении) поляризация диэлектрика, составляет  $= 10^{-10}$  сек. Очень быстро!  
Мгновенно!

Этот эффект используется в качестве безинерционного затвора для световых лучей при сверхскоростных фотосъемках (при изучении электрических зарядов, взрывов и т.д.).

## В). Вращение плоскости поляризации. Сахариметры (поляриметры)

Имеются вещества, называемые оптически активными, которые вызывают вращения плоскости поляризации проходящего через них плоскополяризованного света.

Например: кварц, скипидар, водные растворы сахара и др.  
Обнаружил это явление Д.Арго в 1811 г.



Угол поворота  $\varphi$  пропорционально зависит от толщины активного вещества.

$$\varphi = \alpha * l \quad , \quad (8)$$

где  $\alpha$  - постоянная вращения, зависящая от  $\lambda$  -длины волны.  
 $l$  - толщина слоя активного вещества.

В активных растворах  $\varphi$  прямо зависит от концентрации активного вещества(C).

То есть:

$$\varphi = L_0 * l * c \quad , \quad (9)$$

где  $L_0$  - удельная постоянная вращения;  
C – концентрация.

Такая зависимости  $\varphi = f(c)$  использована для определения концентрации активных растворов, например сахара. Зная путь луча в растворе и определив экспериментально угол  $\varphi$  , можно оценить C.

$$C = \frac{\varphi}{L_0 * l} \quad (10)$$

## **Области применения поляризации.**

1. Структурный анализ вещества.
2. Оптическая микроскопия оценки доменов в магнетиках.
3. Метод фотоупругости для оценки надежности конструкций.
4. Определение концентрации растворов.
5. Быстродействующие оптические затворы.