

## Лекция

# ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

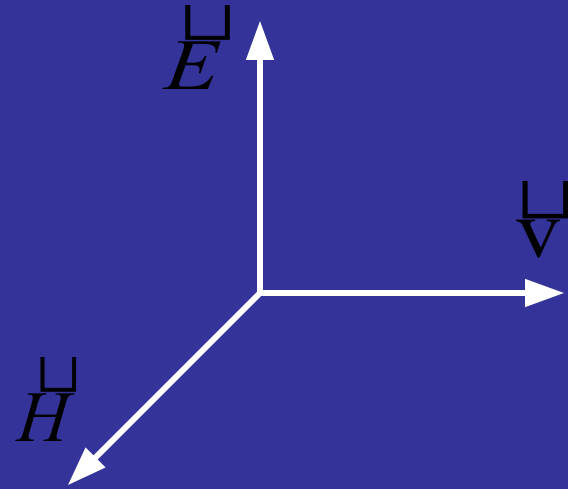
## План лекции

1. Естественный и плоскополяризованный свет.
2. Поляризаторы. Закон Малюса.
3. Способы получения поляризованного света.
4. Поляризационные устройства на двоякопреломляющих кристаллах.
5. Определение концентрации растворов оптически активных веществ методом поляриметрии.
6. Устройство и принцип действия поляриметра.

# 1. Естественный и поляризованный свет

В любой электромагнитной волне векторы напряженностей электрического и магнитного полей перпендикулярны друг другу и направлению распространения волны.

Видимый свет – ЭМ волна длиной от 380 до 760 нм.



$E$  - световой вектор

# *Естественный свет*

**Электрическая и магнитная составляющие ЭМ волны «равноправны».**

**Но ощущение света дает электрическая составляющая волны.**

**(Она же, в основном, оказывает химическое и биологическое действие.)**



**Вектор напряженности ЭП– «световой».**

**Естественный свет – совокупность световых волн,**

**хаотически излучаемых отдельными атомами.**

**Поэтому в естественном свете**

**световой вектор колеблется также хаотически,**

**с равной вероятностью во всех перпендикулярных вектору скорости направлениях.**

## Поляризованный свет

В поляризованном свете определенные направления колебаний имеют преимущество.

**ПЛОСКО-ПОЛЯРИЗОВАННЫМ**

называется свет, в котором колебания вектора происходят в одной плоскости.

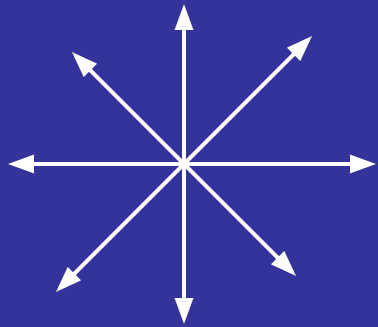
Она называется **плоскостью поляризации.**



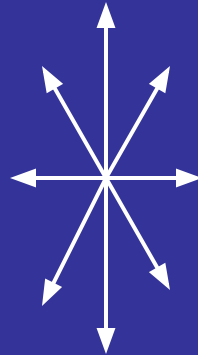
Примеры: свет, испускаемый отдельным атомом; излучение лазера.

Если колебания светового вектора происходят преимущественно, но не только в одной плоскости, то свет называется **частично поляризованным.**

# *Изображение колебаний светового вектора в проекции на плоскость*



**ЕСТЕСТВЕННЫЙ  
СВЕТ**

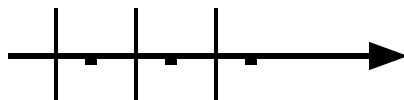


**ЧАСТИЧНО  
ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ  
СВЕТ**

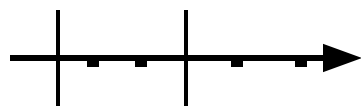


**ПОЛНОСТЬЮ  
ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ  
СВЕТ**

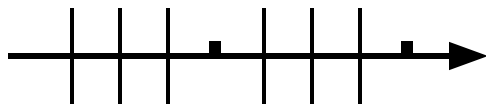
# Условное обозначение луча



**ЕСТЕСТВЕННЫЙ СВЕТ**



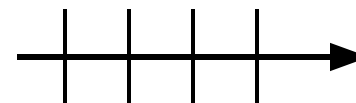
Чем больше разница между  
числом черточек и точек, тем  
больше степень поляризации



**ЧАСТИЧНО  
ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ  
СВЕТ**

Колебания  
в плоскости  
чертежа

Колебания  
перпендику-  
лярно  
плоскости  
чертежа



**ПОЛНОСТЬЮ  
ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ  
СВЕТ**

## 2. Поляризаторы. Закон Малюса

**ПОЛЯРИЗАТОРЫ –**  
устройства,  
предназначенные для  
преобразования  
естественного света в  
поляризованный.

Для этого нужно  
выделить из  
множества  
направлений  
колебания светового  
вектора – одно.

Плоскость, в которой  
совершаются  
колебания светового  
вектора после  
прохождения волны  
через поляризатор, –  
*главная плоскость  
поляризатора.*

# Интенсивность света на выходе поляризатора

В процессе превращения света из естественного в поляризованный его интенсивность уменьшается в два раза:

$$I = I_{0 \text{ ест}} / 2$$

Если же на поляризатор направить уже поляризованный свет, то он останется поляризованным.

Но его интенсивность на выходе также будет уменьшена.

Степень уменьшения будет зависеть от взаимной ориентации двух поляризаторов – первого, поляризующего естественный свет, и второго, на который был направлен уже преобразованный свет.



# ЗАКОН МАЛЮСА

Изменение интенсивности плоскополяризованного света вторым поляризатором определяется законом Малюса:

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

Здесь

- $I_0$  – интенсивность падающего на поляризатор плоскополяризованного света,
- $I$  – интенсивность выходящего из поляризатора света,
- $\varphi$  – угол между главными плоскостями двух поляризаторов.

# ЗАКОН МАЛЮСА



Интенсивность света  
на выходе второго  
поляризатора  
может меняться  
от 0 до  $I_0$ .

Если  $\varphi = \pi/2$ , то  $\cos\varphi = 0$ ,  
и  $I = 0$ .

Если  $\varphi = 0$ , то  $\cos\varphi = 1$ ,  
и  $I = I_0$ .

В первом случае  
главные плоскости  
поляризаторов  
перпендикулярны, –  
говорят, что  
поляризаторы  
«скрещены».

Во втором  
главные плоскости  
параллельны.

# АНАЛИЗАТОР

С помощью поляризатора можно решить вопрос, является ли используемый свет

поляризованным:

если интенсивность выходящего света меняется при повороте поляризатора

в соответствии с законом Малюса,

то свет является плоскополяризованным.

Если же интенсивность света на выходе поляризатора не зависит от его ориентации, то падающий свет является естественным.



Поляризатор можно применять как для получения поляризованного света, так и для анализа света. –

**«АНАЛИЗАТОР»**

# 3. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ поляризованного света

Отражение и преломление  
света  
на границе прозрачных  
изотропных сред –  
например,  
двух диэлектриков

Преломление света  
в анизотропных средах

- **ИЗОТРОПНАЯ** – оптически однородная среда, в которой скорость света и абсолютный показатель преломления (оптические свойства) одинаковы по всем направлениям.
- **АНИЗОТРОПНАЯ** – оптически неоднородная среда, оптические свойства которой различны по разным направлениям. Такими, в частности, являются многие прозрачные кристаллы.

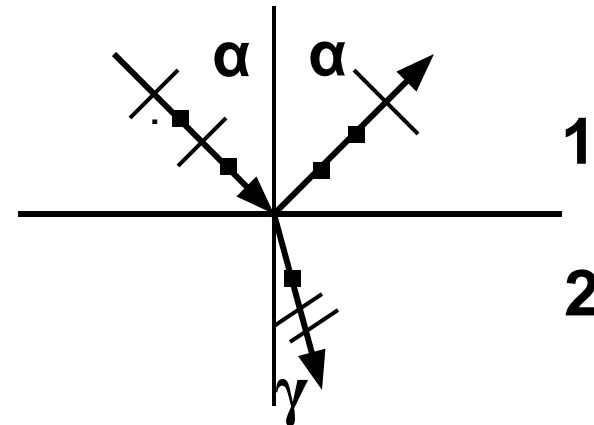
## *А) Отражение и преломление света на границе двух диэлектриков*

На границе двух диэлектриков имеет место частичная поляризация света

(и отраженного, и преломленного),

причем в отраженном свете преобладают колебания, перпендикулярные плоскости падения, а в преломленном – параллельные ей.

Поляризатором в данном случае является граница раздела диэлектриков.



# Частный случай поляризации на границе двух диэлектриков

## ПОЛНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ

отраженного луча и

## МАКСИМАЛЬНО

возможная частичная –

преломленного луча

наблюдается при

взаимной

перпендикулярности

отраженного и

преломленного лучей,

когда

$$\alpha + \gamma = 90^\circ.$$

Тогда

$$\sin \alpha / \sin \gamma =$$

$$= \sin \alpha / \sin(\pi/2 - \alpha) =$$

$$= \sin \alpha / \cos \alpha = \operatorname{tg} \alpha,$$

и второй закон преломления принимает вид:

$$\operatorname{tg} \alpha = n_{21}.$$

# Закон БРЮСТЕРА

Это –  
условие полной  
поляризации  
отраженного луча  
на границе двух  
диэлектриков,  
  
или  
закон Брюстера:

*«Полная поляризация  
отраженного луча  
имеет место,  
если тангенс угла  
падения луча на границу  
двух диэлектриков  
равен показателю  
преломления второй  
среды относительно  
первой.»*

## **Б) Преломление света в анизотропных средах**

**В анизотропных средах  
наблюдается явление  
двойного  
лучепреломления:  
световой луч, падая на  
границу с такой средой,  
расщепляется  
на два луча.**

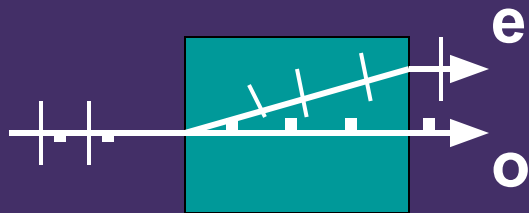
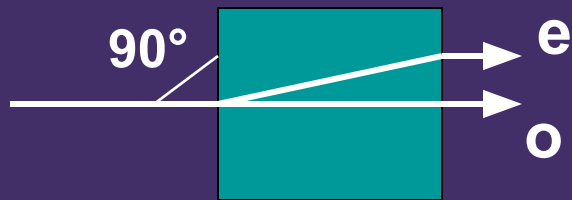
**Оба эти луча полностью  
поляризованы,  
но во взаимно  
перпендикулярных  
плоскостях.**

**Один из лучей  
называется  
обыкновенным  
(о-луч),  
так как он подчиняется  
законам преломления.**

**Второй луч  
называется  
необыкновенным  
(е-луч),  
так как не подчиняется  
этим законам.**



# Обыкновенный и необыкновенный лучи



В частности,  
при падении луча  
естественного света  
на границу со второй  
средой  
под углом  $90^\circ$   
необыкновенный луч  
меняет направление  
в этой среде.

## Оптическая ось кристалла

Направление в кристалле, вдоль которого расщепления луча не происходит, называется **ОПТИЧЕСКОЙ ОСЬЮ** кристалла.

Оптическая ось может быть одна или несколько, соответственно, кристалл является одноосным или многоосным.

Плоскость, проходящая через оптическую ось и падающий луч, – главная плоскость.

Колебания светового вектора в световой волне, представленной необыкновенным лучом, происходят в главной плоскости;  
в обыкновенном луче – перпендикулярно этой плоскости.

# Обыкновенный и необыкновенный лучи

Показатель  
преломления  
обыкновенного луча  $n_o$   
ОДИНАКОВ во всех  
направлениях.

Показатель  
преломления  
необыкновенного луча  
 $n_e$   
ЗАВИСИТ ОТ  
направления.

*В направлении,  
"нормальном"  
(перпендикулярном)  
к оптической оси,  
различие показателей  
преломления  
наибольшее.*

# Положительные и отрицательные кристаллы

Если по этому направлению

$$n_e > n_o,$$

то кристалл называется **положительным**.

Наоборот, если

$$n_e < n_o,$$

то кристалл **отрицательный**.

(При этом скорости находятся в обратном соотношении,

так как  $n = c / v$  :

у положительного кристалла  $v_e < v_o$ ,

у отрицательного –

$$v_e > v_o.)$$

**Положительный** кристалл – кварц,

**Отрицательные** – турмалин, исландский шпат.

## 4. Поляризационные устройства на двойкопреломляющих кристаллах

Угол расхождения  
О- и Е- лучей на выходе  
кристалла

очень мал.

Если их интенсивность  
одинакова, то на выходе  
кристалла получается  
"смесь" двух лучей,  
воспринимаемая как  
естественный свет –  
выделить свет с колебаниями  
светового вектора в одной  
плоскости  
невозможно.

Для получения  
поляризованного света  
один из лучей  
необходимо  
устранить.

Это можно сделать двумя  
способами:

- на основе явления полного внутреннего отражения
- используя свойство дихроизма.

# Призма Николя

1) Полное внутреннее отражение используется в поляризационном устройстве "призма Николя".

Выполнена из исландского шпата, разрезана по диагонали и склеена канадским бальзамом.

Исландский шпат – отрицательный кристалл, в нем

$$n_e < n_o.$$

Абсолютный показатель преломления  $n$  бальзама

лежит между  $n_e$  и  $n_o$ :

$$n_e < n < n_o.$$

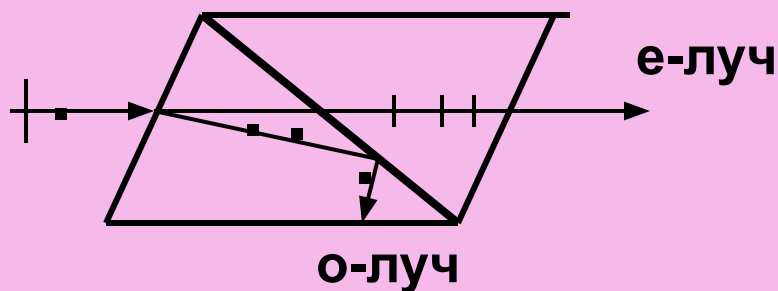


для обыкновенного луча

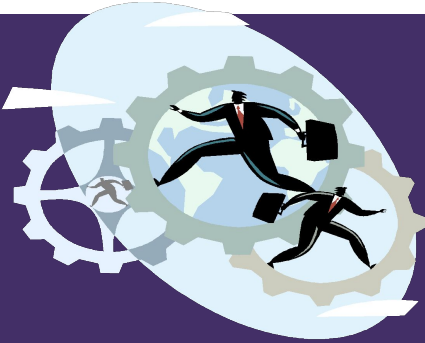
переход из первой половинки призмы в канадский бальзам – переход из оптически более плотной среды (с показателем  $n_o$ ) в менее плотную (с показателем  $n$ ).

## Призма Николя

При угле падения  
больше предельного  
этот луч будет  
претерпевать полное  
внутреннее отражение  
на границе с бальзамом.



Для необыкновенного луча  
такое явление  
невозможно,  
так как для него данный  
переход –  
из оптически менее  
плотной ( $n_e$ )  
в более плотную среду ( $n$ ).



**Отраженный о-луч  
далее либо выводится  
из кристалла,  
либо поглощается его  
зачерненной нижней  
гранью.  
Необыкновенный луч  
проходит через вторую  
половинку призмы  
и выходит из николя.**

## **Дихроизм**

**2) Дихроизм –  
способность  
некоторых  
двоякопреломляющих  
кристаллов  
по-разному поглощать  
о- и е- лучи.**

**(Например, турмалин  
значительно сильнее  
поглощает о-луч.)**



**На выходе – снова один  
луч  
(для турмалина е-луч).**



## 5. Определение концентрации растворов оптически активных веществ методом поляриметрии

- *Поворот плоскости поляризации света на некоторый угол относительно прежнего положения – вращение плоскости поляризации.*
- *Вещества, способные вращать плоскость поляризации света, – оптически активные.*

Оптическая активность свойственна веществам с асимметричными молекулами.

Оптически активны почти все биологически функциональные молекулы.

# Закон Био

Различают лево- и правовращающие вещества.

Одно и то же вещество, в зависимости от его пространственной структуры, может быть право- или левовращающим.

Угол поворота плоскости поляризации раствором оптически активного вещества определяется

**законом Био:**

$$\alpha = [\alpha] l C.$$

# Закон Био

*"Угол поворота  $\alpha$  плоскости поляризации света прямо пропорционален толщине  $l$  слоя раствора и концентрации  $C$  раствора".*

Коэффициент пропорциональности  $[\alpha]$  называется удельным вращением.

Он численно равен углу поворота плоскости поляризации слоем раствора единичной толщины и единичной концентрации.

Величина удельного вращения зависит от

- вида растворенного вещества (и иногда – растворителя),
- температуры и
- длины волны света.

# *Важный диагностический метод - поляриметрия*

**Закон Био лежит в основе  
ПОЛЯРИМЕТРИИ –  
метода определения  
концентрации раствора  
оптически активного  
вещества  
путем сравнения  
углов поворота плоскости  
поляризации  
этим раствором  
и раствором того же  
вещества известной  
концентрации.**

**В клинической практике  
чаще всего применяется  
«сахариметрия» –  
определение методом  
поляриметрии  
содержания сахара в  
моче.**

# ПОЛЯРИМЕТРИЯ

Два раствора одного и того же вещества – с известной концентрацией  $C_0$  и неизвестной  $C_x$  – наливаются в одинаковые кюветы; измерения ведутся в одном и том же свете при неизменной температуре.

Поэтому в законе Био удельное вращение и толщина слоя вещества одинаковы для обоих растворов.

Тогда имеем:

$$\alpha_0 = [\alpha] l C_0$$

$$\alpha_x = [\alpha] l C_x$$

# Расчетная формула метода

Разделим первое

уравнение на второе:

$$\frac{\alpha_0}{\alpha_x} = \frac{C_0}{C_x}$$

Отсюда

$$C_x = C_0 \cdot \frac{\alpha_x}{\alpha_0}$$

Таким образом,  
сравнение двух растворов  
в методе поляриметрии  
позволяет обойтись  
без определения  
[ $\alpha$ ] и  $l$ .

## 6. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПОЛЯРИМЕТРА

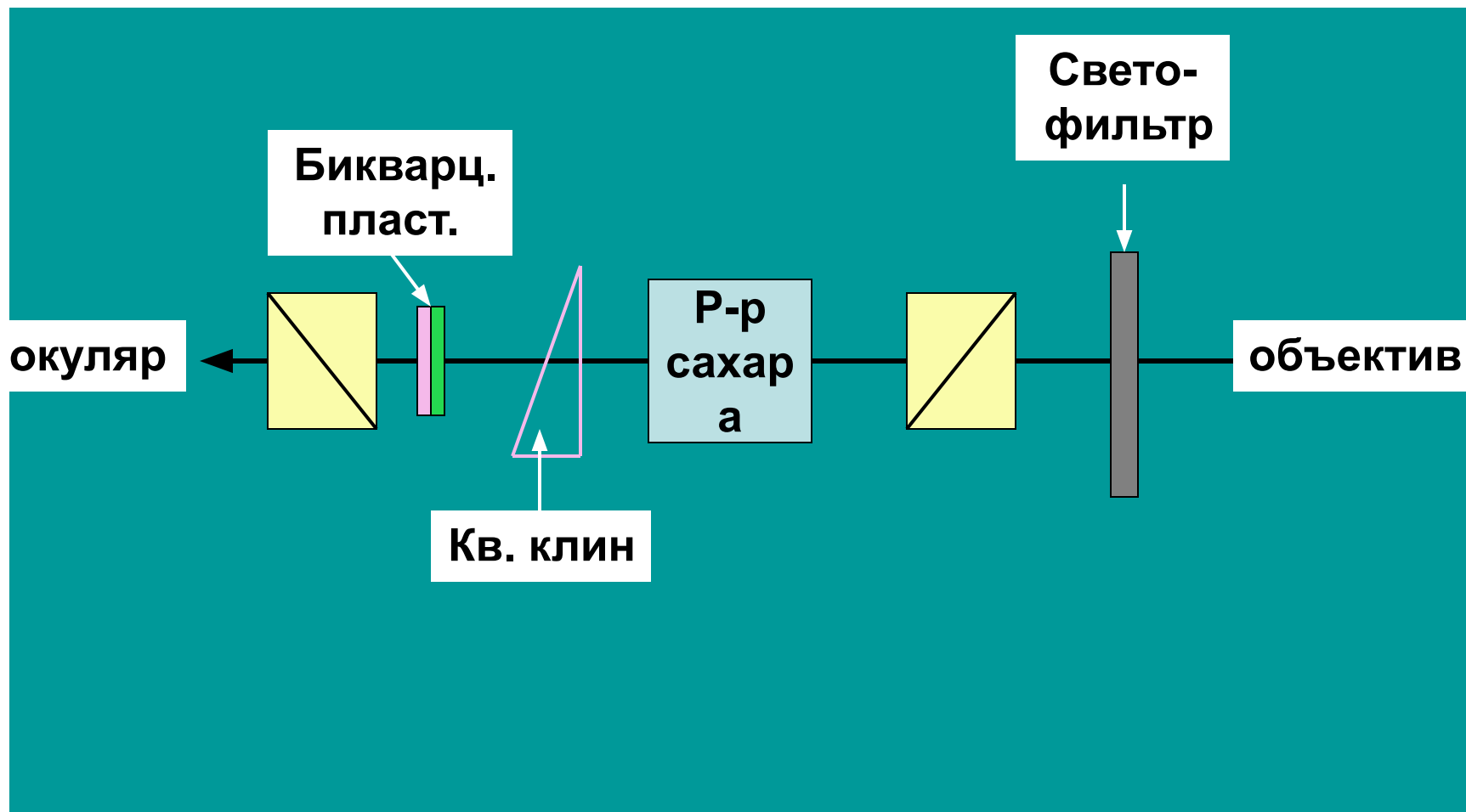
**ПОЛЯРИМЕТР** – прибор, позволяющий определять углы поворота плоскости поляризации растворами оптически активных веществ.

Первая призма Николя – поляризатор.

Скрещенные николи не пропускают свет (поле зрения было бы темным).

Бикварцевая пластинка из двух разновидностей кварца – половинка право-, половинка левовращающая (плоскость поляризации поворачивается половинками на один и тот же угол, но в разные стороны).

# Оптическая схема поляриметра





## Назначение частей прибора

Поэтому поле зрения равномерно освещено; вертикальная линия – линия соединения половинок.

Раствор сахара в кювете между николями поворачивает плоскость поляризации на определенный угол в одну сторону, из-за чего равномерность освещенности нарушается.

Кварцевый клин вращает плоскость поляризации в сторону, противоположную раствору; величина угла поворота зависит от положения клина.

Смещение клина достигается поворотом диска прибора.

При компенсации клином поворота в растворе восстанавливается равномерная освещенность поля зрения.

## *Конец лекции по поляризации света*

После этого производится измерение угла поворота по шкале прибора.

Кроме того, прибор содержит светофильтр, который пропускает монохроматический свет и тем самым устраняет дисперсию вращения (зависимость угла поворота от длины волны).

Причина дисперсии вращения – зависимость от длины волны  $[\alpha]$ .

**НА СЛЕДУЮЩЕЙ  
ЛЕКЦИИ**

**СВЕТ ПРЕДСТАНЕТ  
ПЕРЕД НАМИ**

**КАК ПОТОК ЧАСТИЦ –  
ФОТОНОВ**