

# ОПТИКА РАЗВИТИЕ ВЗГЛЯДОВ НА ПРИРОДУ СВЕТА



## XVII век

Возникли две теории света:  
**корпускулярная** (И. Ньютон)  
и **волновая** (Х. Гюйгенс).



→ СВЕТ представляет собой поток световых частиц (корпускул), испускаемых светящимися телами.



→ СВЕТ – упругая волна, распространяющаяся в мировом эфире.

# **XIX век**

В 1864 г. была создана электромагнитная теория света

**СВЕТ – электромагнитные волны**

с длиной волны от  $\lambda=400$  нм до  $\lambda=760$  нм.



**О. ФРЕНЕЛЬ**



**МАКСВЕЛЛ**



ПЛАНК

## XX век

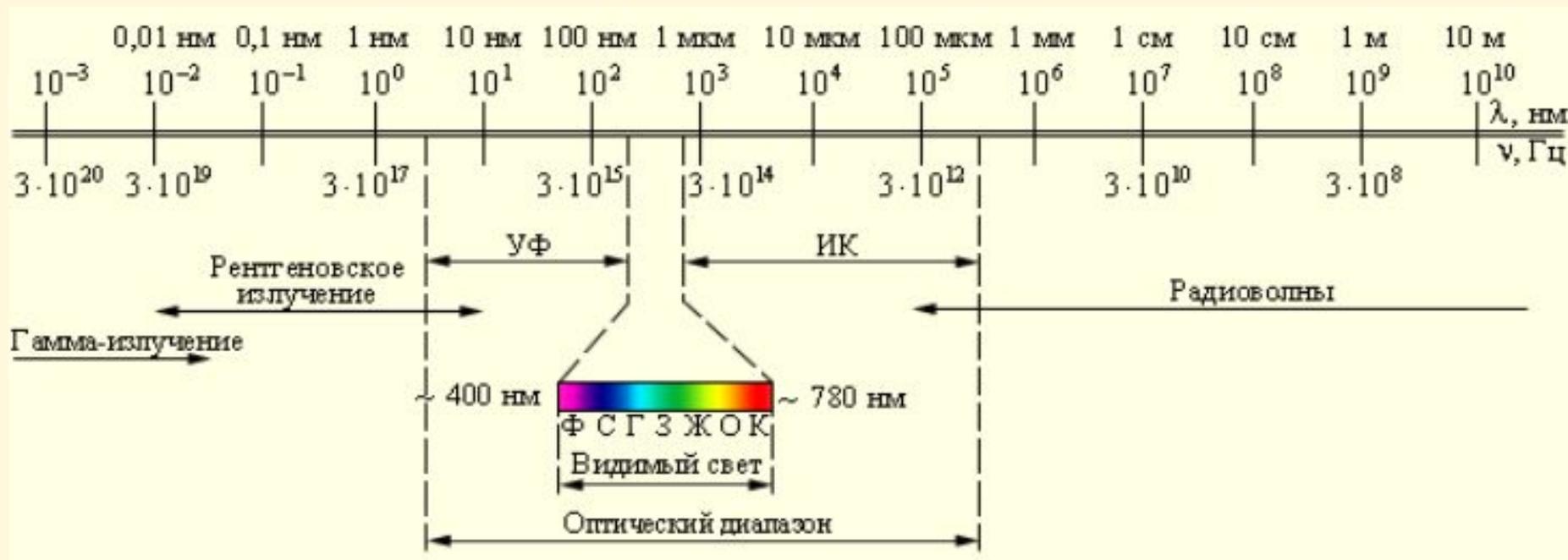
Была сформулирована теория квантов, согласно которой **свет излучается и поглощается квантами.**

$$\varepsilon = h\nu \rightarrow \varepsilon = mc^2$$

$$m = \frac{h\nu}{c^2} \quad h \approx 6.26 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad m = \frac{h}{c\lambda}$$

По современным представлениям  
**СВЕТ есть диалектическое  
единство частицы и волны.**



Шкала электромагнитных волн.

Единицы длины 1 нанометр (нм) и 1  
микрометр (мкм):

$$1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м} = 10^{-7} \text{ см} = 10^{-3} \text{ мкм.}$$

# ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

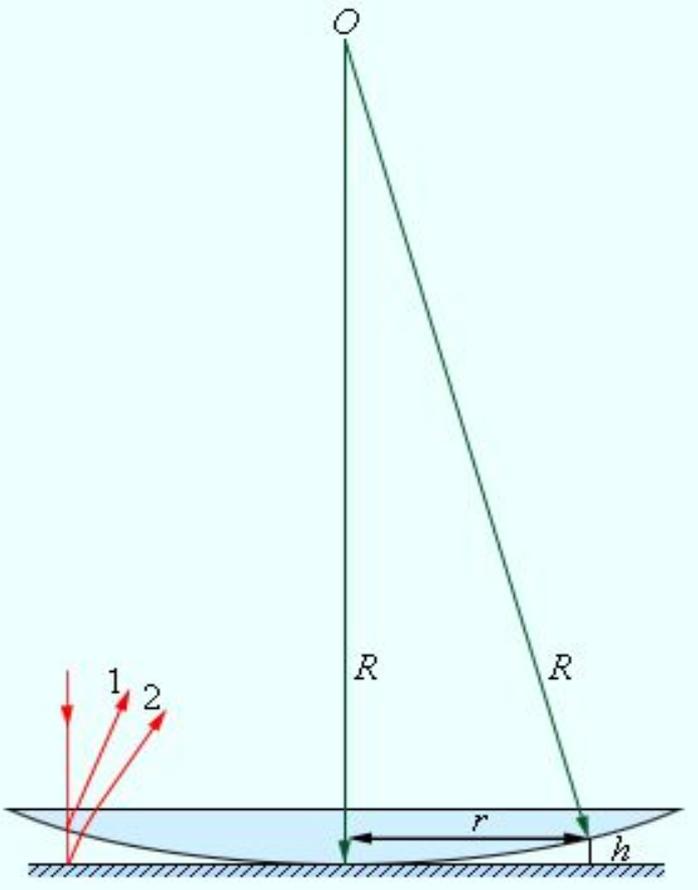
## КОГЕРЕНТНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Интерференция – это явление наложения световых волн, в результате которого в одних точках пространства наблюдается увеличение, а в других уменьшение интенсивности света.

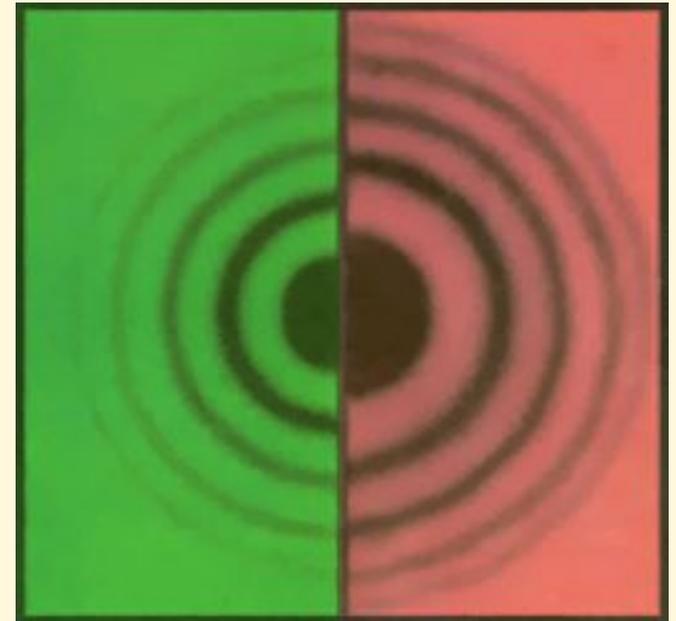


# Кольца Ньютона

Интерференция возникает при сложении волн, отразившихся от двух сторон воздушной прослойки. «Лучи» 1 и 2 – направления распространения волн;  $h$  – толщина воздушного зазора.



Интерференционная картина имела вид концентрических колец, получивших название колец Ньютона



# Когерентные волны –

это волны одинаковой частоты с постоянной разностью фаз.



Т. Юнг

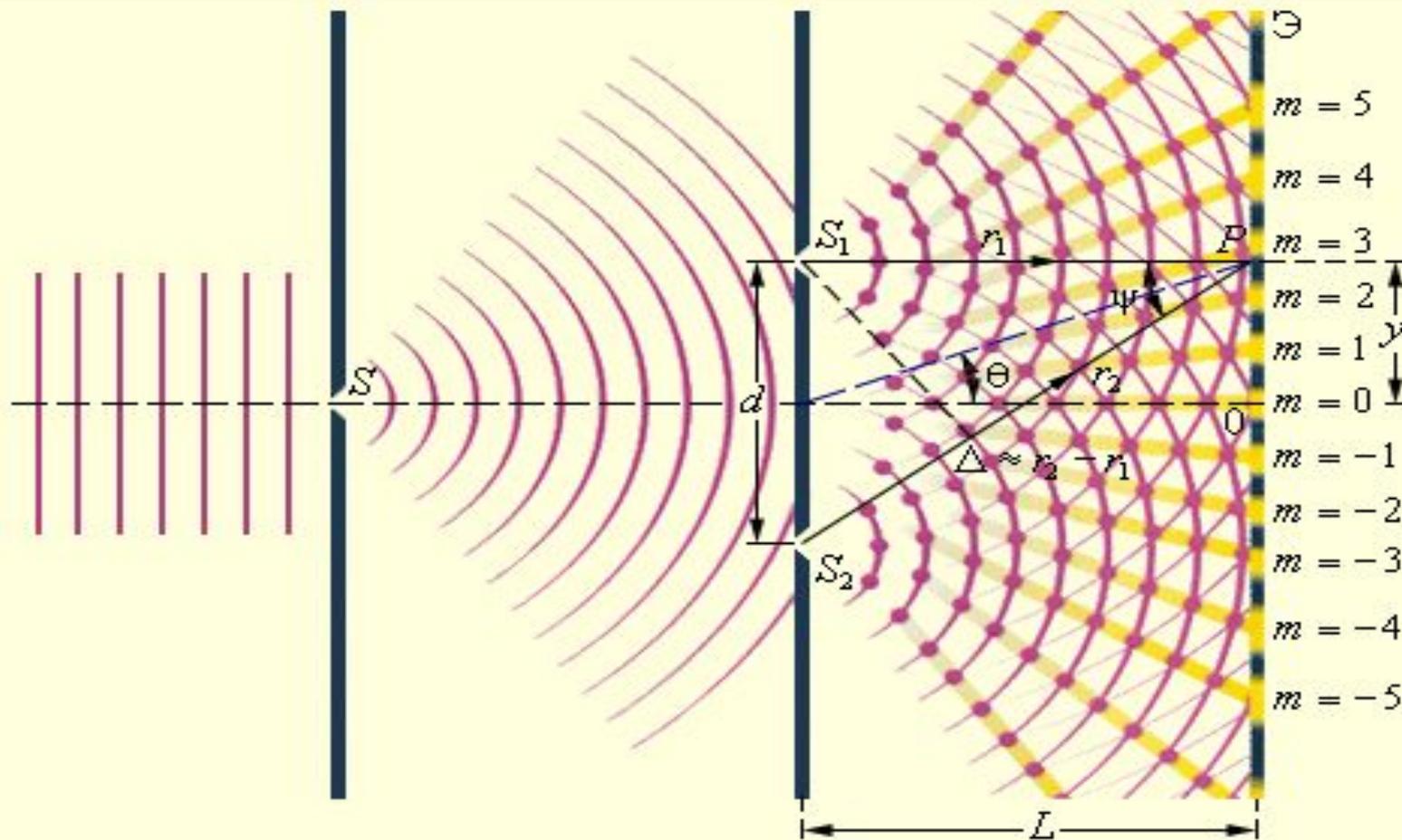


Схема интерференционного опыта Юнга.

$$S_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

$$S_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

$$E_1 = E_{01} \cos(\omega t + \varphi)$$

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

$$E_{0\Sigma}^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

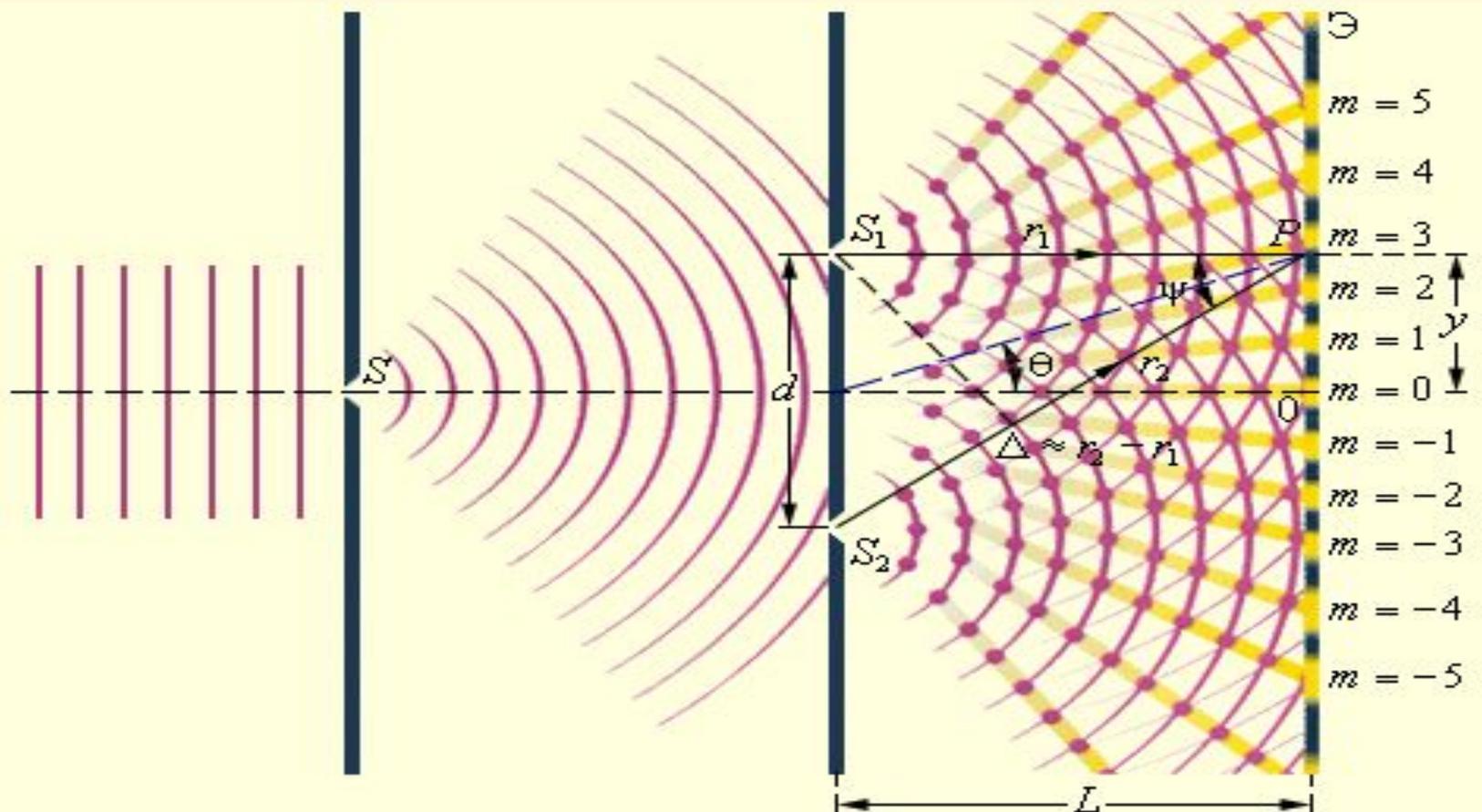


Схема интерференционного опыта Юнга.

В случае **некогерентных волн**:

$$\overline{\cos(\varphi_2 - \varphi_1)} = 0 \quad \rightarrow \quad \overline{A^2} = \overline{A_1^2} + \overline{A_2^2}$$

$$I \sim A^2$$

$$I = I_1 + I_2$$

**Интенсивность**, наблюдаемая при наложении **некогерентных волн** равна **сумме интенсивностей**, создаваемых каждой волной.

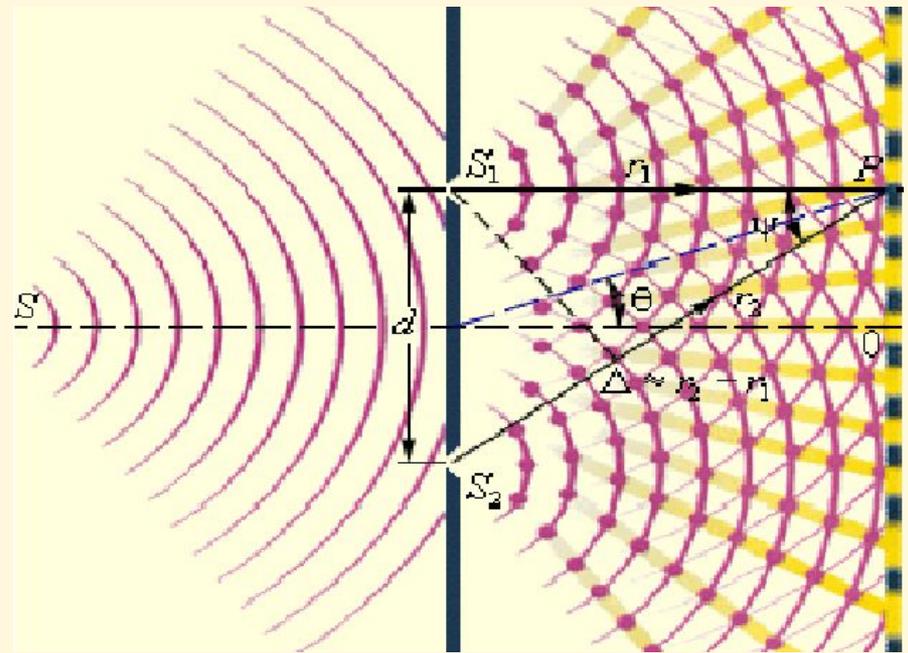
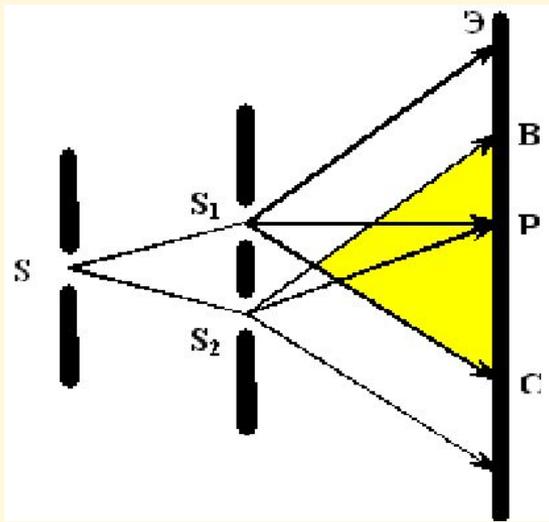
В случае **когерентных волн**:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

$$\cos(\varphi_2 - \varphi_1) > 0 \quad \rightarrow \quad I > I_1 + I_2$$

$$\cos(\varphi_2 - \varphi_1) < 0 \quad \rightarrow \quad I < I_1 + I_2$$

При наложении **когерентных световых волн** в одних местах возникают **максимумы**, а в других **минимумы интенсивности**.



$$S_1 = A_1 \cos 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} \right)$$

$$E_1 = E_0 \cos \omega \left( t - \frac{r_1}{v_1} \right)$$

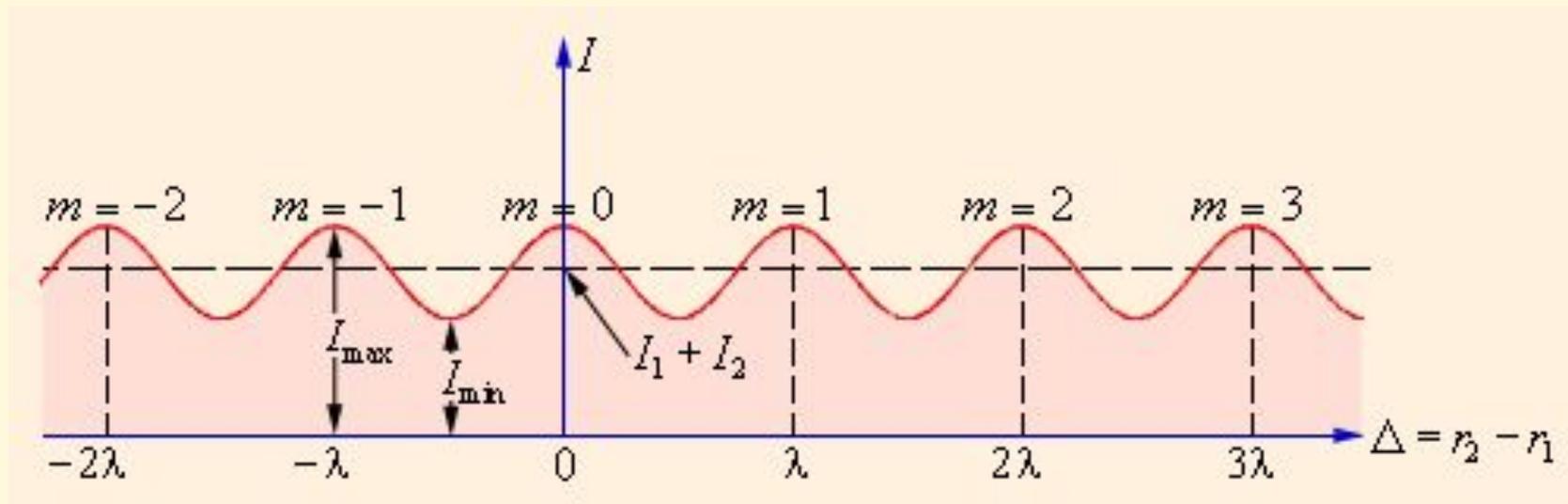
$$\varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi \left( \frac{r_2 - r_1}{\lambda} \right) ;$$

Если  $\varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi n$  - имеет место усиление колебания в точке P.

$$v_1 = \frac{c}{n_1} \quad S_2 = A_2 \cos 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} \right)$$

$$2\pi k = 2\pi n \left( \frac{r_2 - r_1}{\lambda} \right) \quad , \text{ т.е. } \quad n(r_2 - r_1) = k\lambda$$

Если свет распространяется в среде с показателем преломления  $n$ , то следует брать оптическую разность хода.

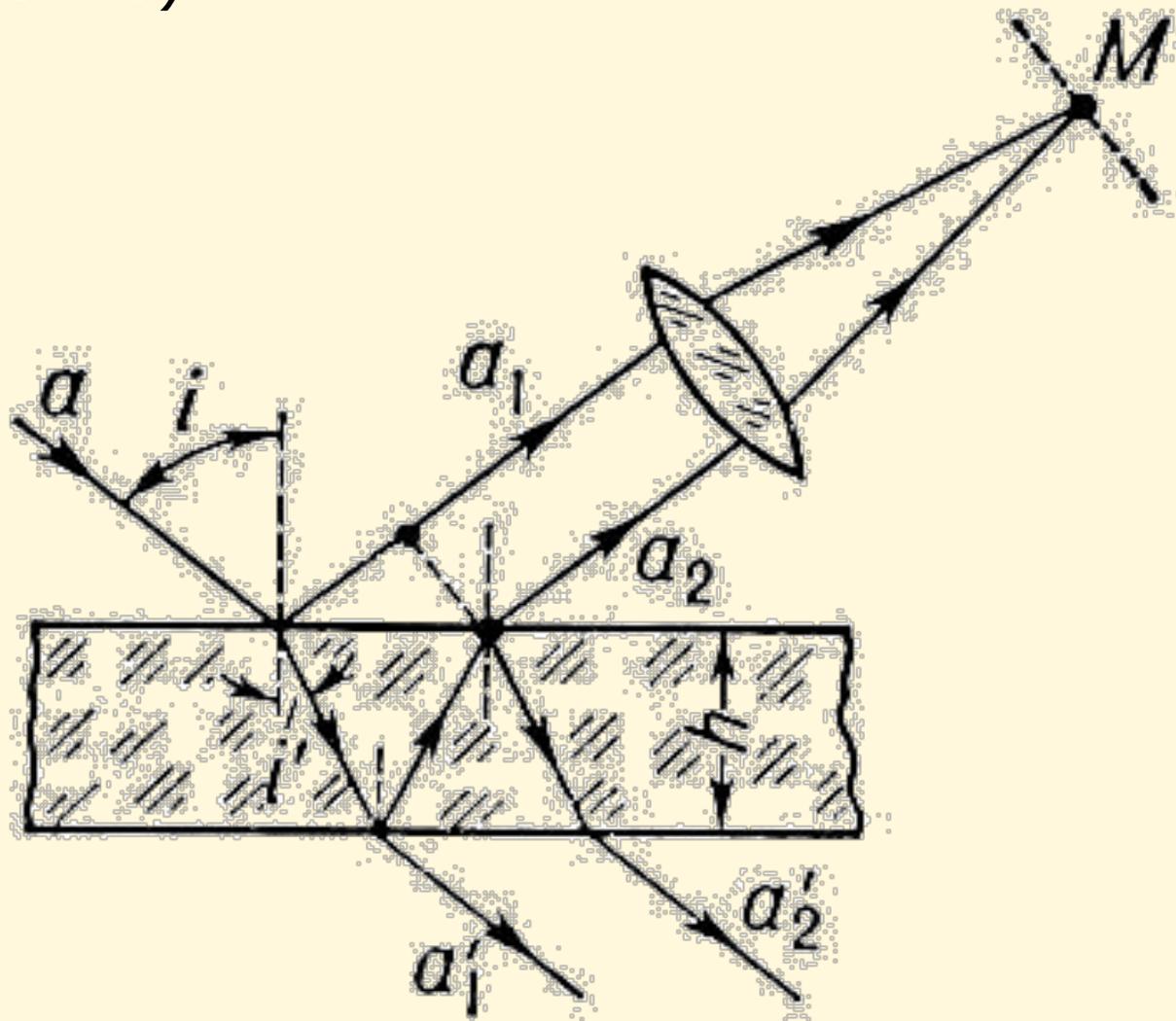


Распределение интенсивности в интерференционной картине.

Целое число  $m$  – порядок интерференционного максимума.

# ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

Прохождение лучей через тонкую пленку (отражение).



При освещении плоскопараллельной пластинки монохроматическим светом и наблюдении отраженного света пластинка будет светлой, если

$$\Delta = 2k \frac{\lambda_0}{2}$$

и темной, если

$$\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda_0}{2}$$

Величина оптической разности хода  $\Delta$  лучей зависит от угла падения  $i$ , толщины пластинки  $d$  и показателя преломления пластинки  $n_{пл}$

ПРОСВЕТЛЕННАЯ ОПТИКА

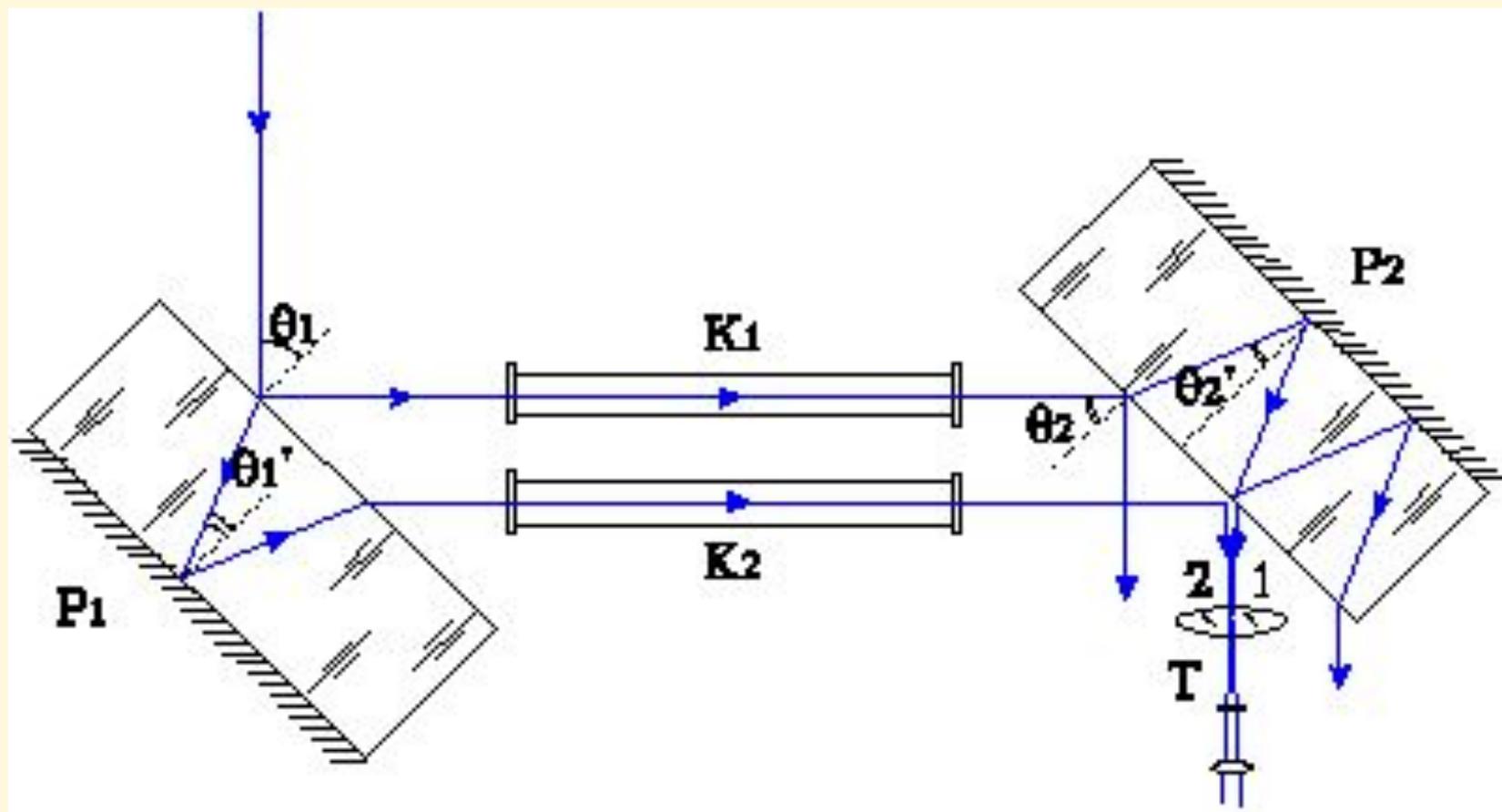
ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ И ИХ  
ПРИМЕНЕНИЕ

При прохождении светом оптической системы происходят частичные отражения света от поверхности линз ( $\sim 4\%$ )

Для уменьшения отражения света переднюю поверхность линзы покрывают специальными тонкими прозрачными пленками

При наличии пленки падающий свет отражается дважды: от границы воздух – пленка и от границы пленка – линза. Показатель преломления и толщина пленки подбираются таким образом, чтобы оба отраженных луча были в противоположных фазах и гасили друг друга. Поскольку при интерференции энергия света не исчезает, а лишь перераспределяется в пространстве, то гашение отраженного луча сопровождается соответственно увеличением интенсивности преломленного луча, проходящего внутрь оптической системы.

Полное гашение достигается для определенной длины волны ( $\lambda = 550$  нм), что соответствует максимальной чувствительности глаза.



# ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ МИКРОСКОП

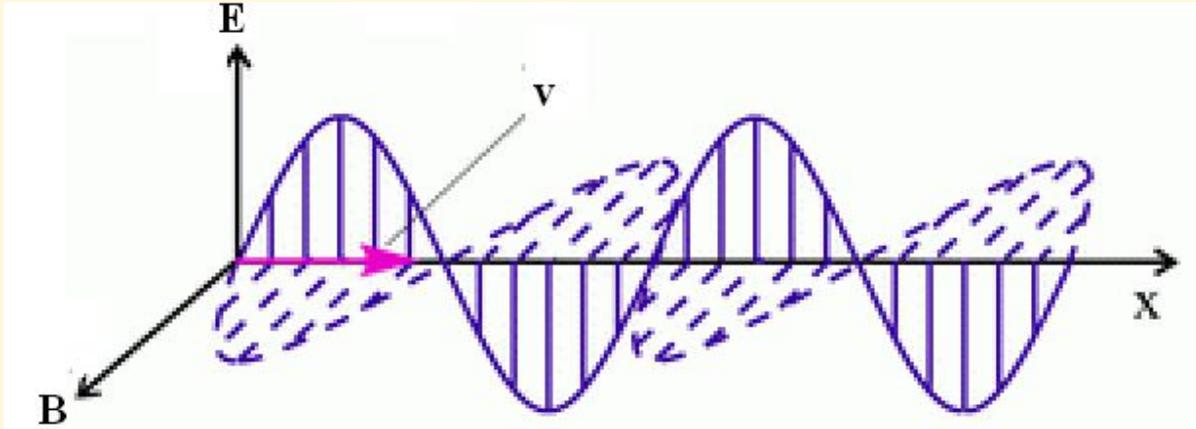
В биологии для наблюдения живых неокрашенных объектов, неконтрастных в проходящем свете применяется интерференционный микроскоп, в котором свет разделяется на две части: одна часть проходит через объект, а другая через окружающую среду.

В связи с разницей показателей преломления  $n$  среды и объекта лучи приобретают разность хода  $\Delta$ .

Перед окуляром образуется световой контраст, объект окрашен белым светом.

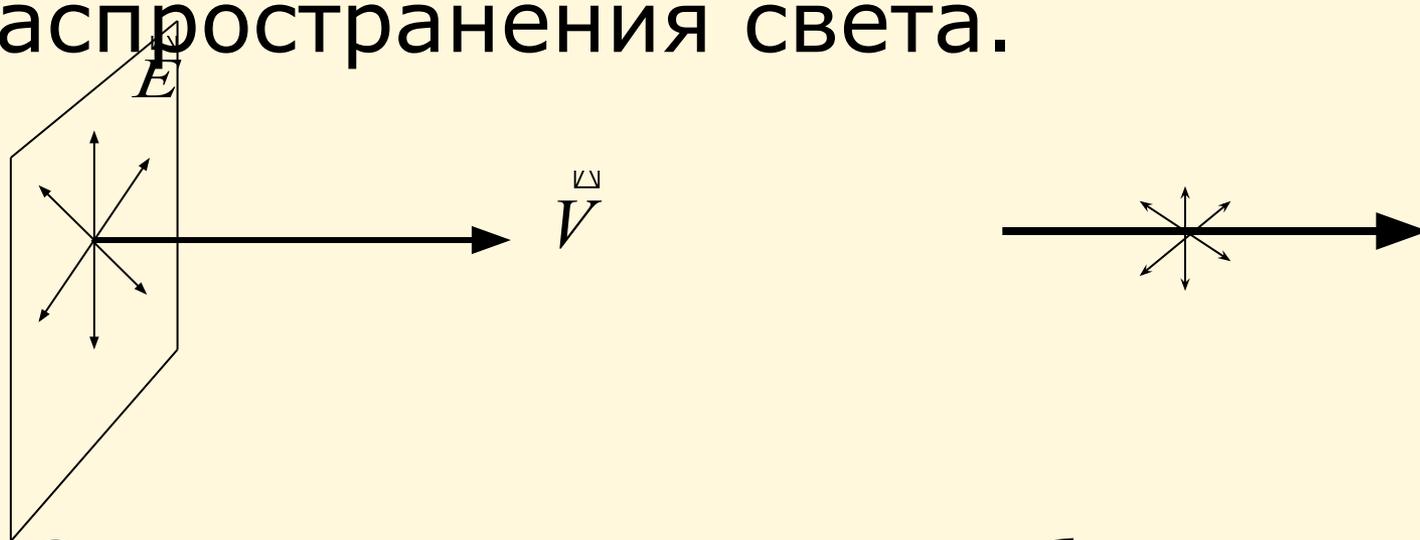
# ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

световые волны поперечны, т.е. вектора напряженности электрического поля  $\vec{E}$  и индукции магнитного поля  $\vec{B}$  взаимно перпендикулярны и перпендикулярны направлению распространения света.



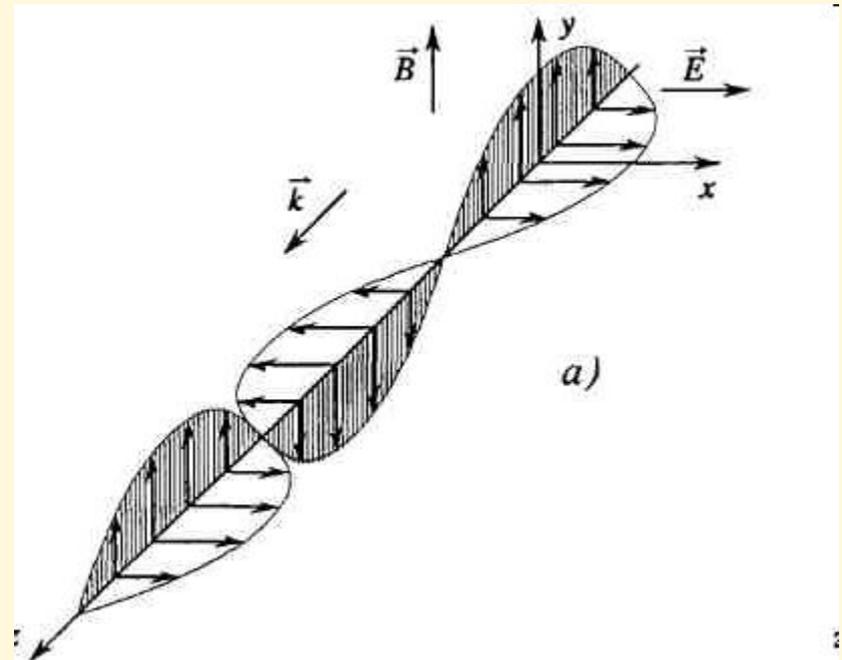
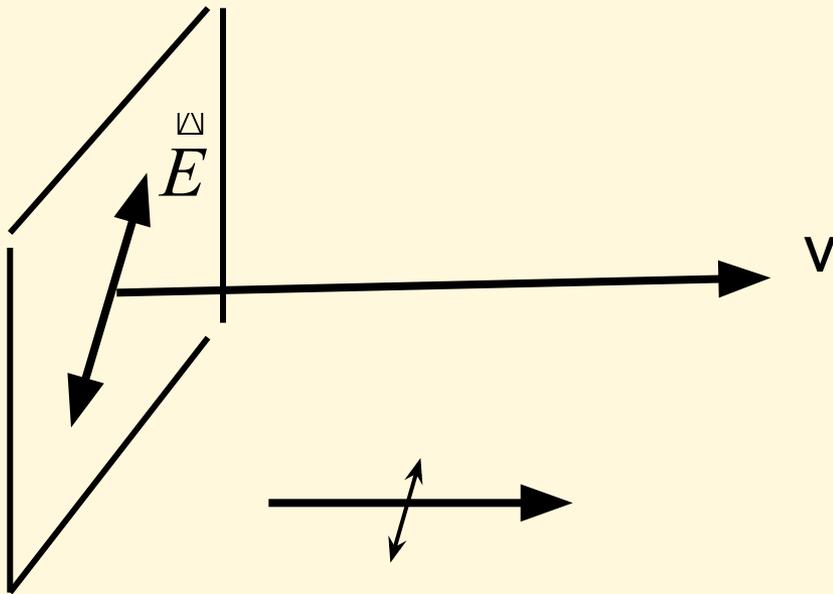
Вектор  $\vec{E}$  называют световым вектором.

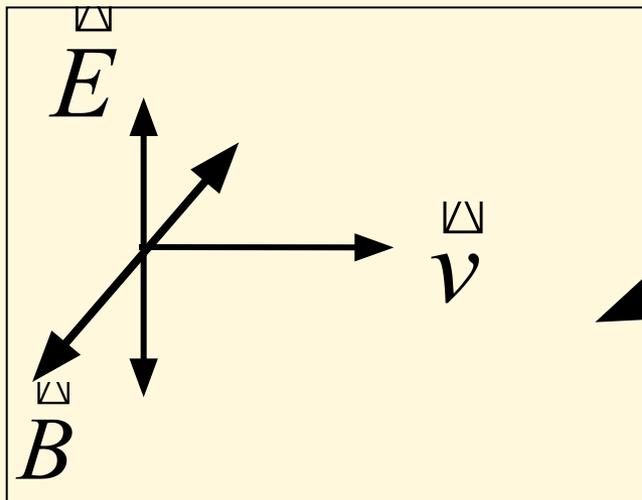
Естественный свет – это совокупность электромагнитных волн, в которых световой вектор ( $\vec{E}$ ) колеблется по всем направлениям в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения света.



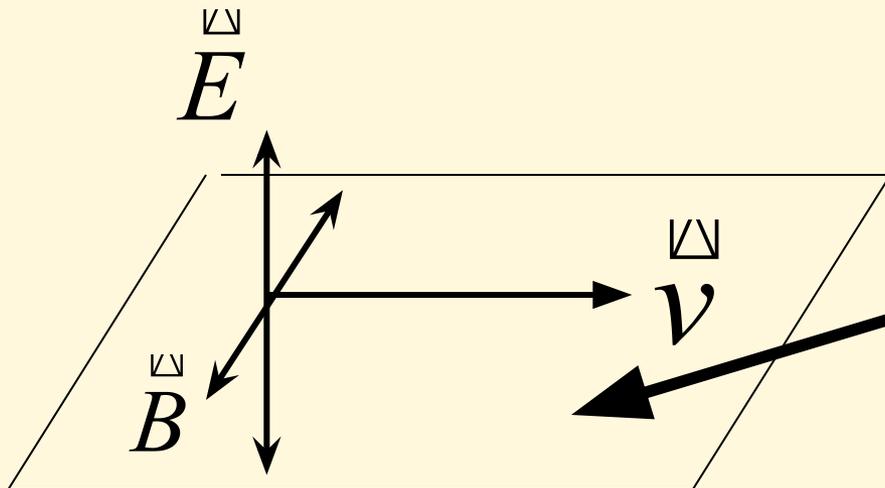
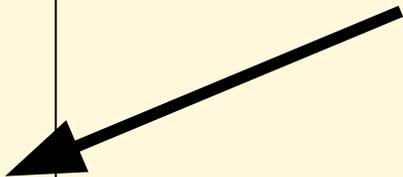
Свет, в котором колебания светового вектора упорядочены каким-либо образом, называется *поляризованным*.

1. Линейно поляризованный свет – это совокупность электромагнитных волн, в которых колебания светового вектора совершаются по одной линии в плоскости, перпендикулярной направлению распространения света.





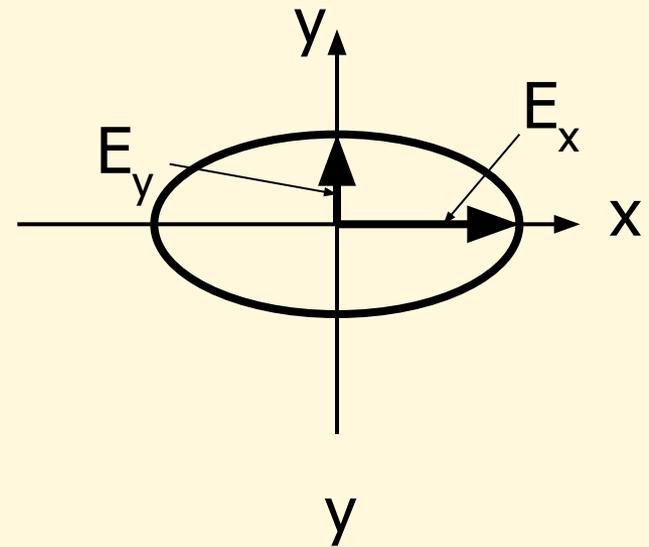
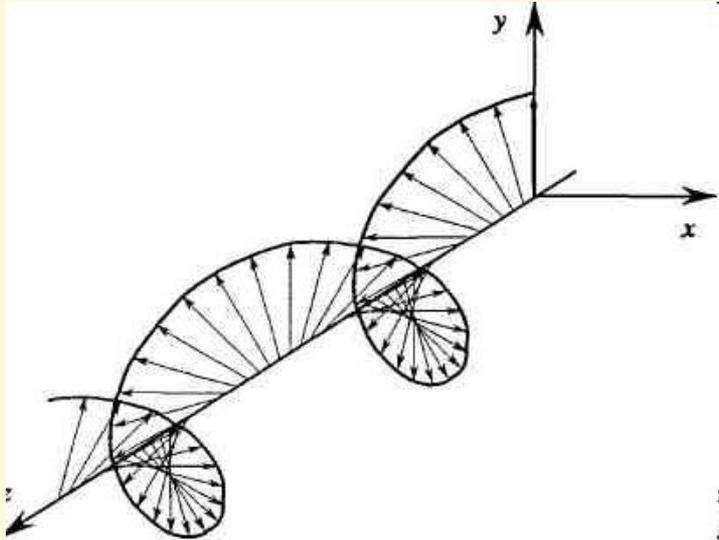
Плоскость поляризации



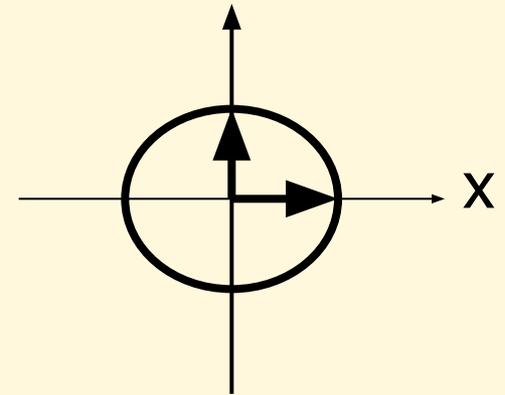
Плоскость колебаний



## 2. Эллиптически поляризованный свет

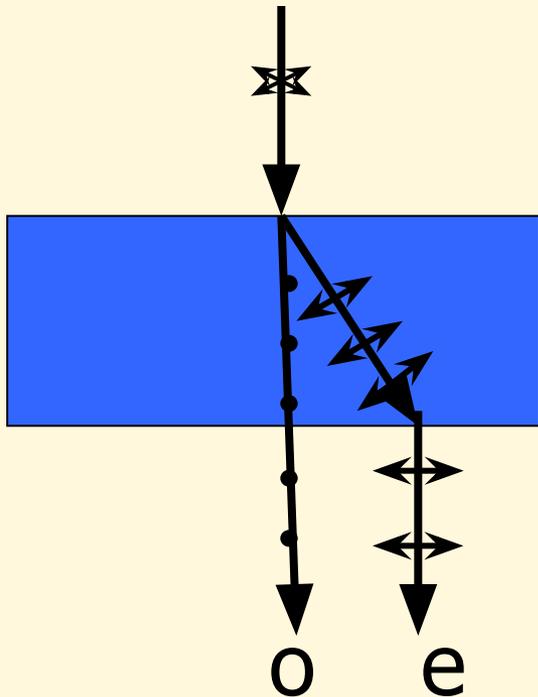


## 3. Свет, поляризованный по кругу



# СПОСОБЫ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА

## 1. Двойное лучепреломление



Если кристалл анизотропен, то диэлектрическая проницаемость его, а, следовательно, и показатель преломления  $n$ , будет различным для лучей, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях. Поэтому при падении на такой кристалл луч света разделяется на два поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Один из этих лучей называется обыкновенным (o), а второй (e) – необыкновенным.

ГАЛИТ

КАЛЬЦИТ  
КАЛЬЦИТ

ГАЛИТ NaCl

39611

*блеск стеклянный,  $n = 1,54$   
оптически изотропный минерал*

Артемовский руд., Украина

КАЛЬЦИТ CaCO<sub>3</sub>

8476

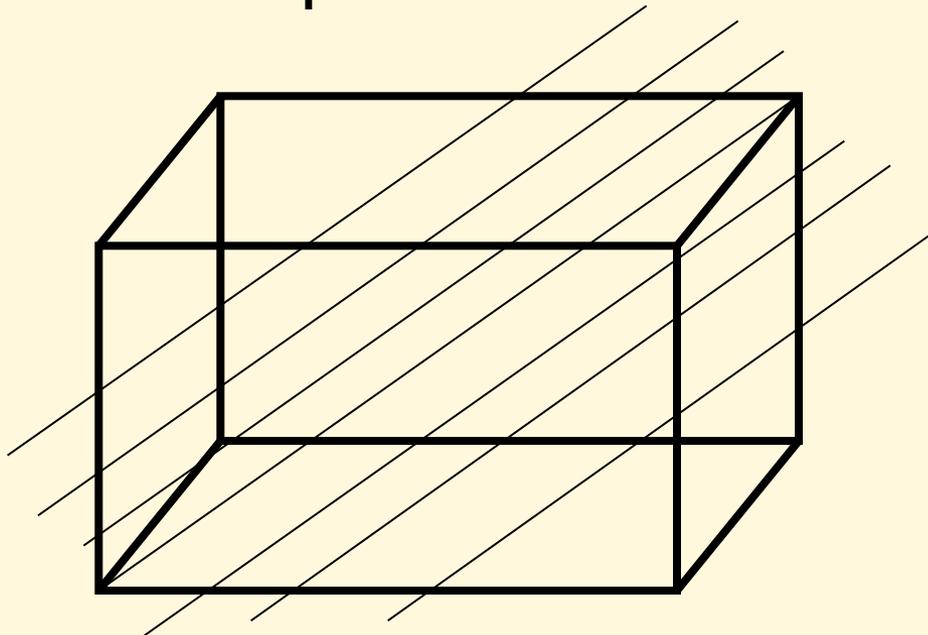
*блеск стеклянный,  $n = 1,49-1,66$   
оптически анизотропный минерал*

Исландия

В кристалле существует направление, вдоль которого нет двойного лучепреломления.

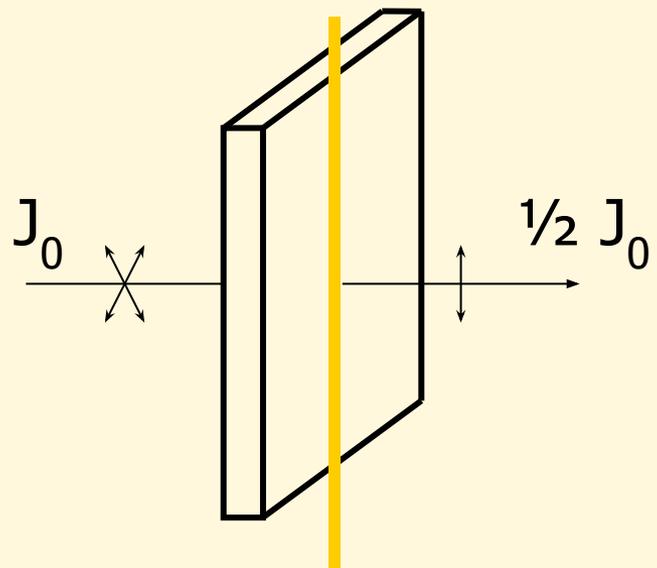
Это направление называют оптической осью кристалла.

Плоскость, проведенная через оптическую ось и падающий луч, называется главной плоскостью кристалла.

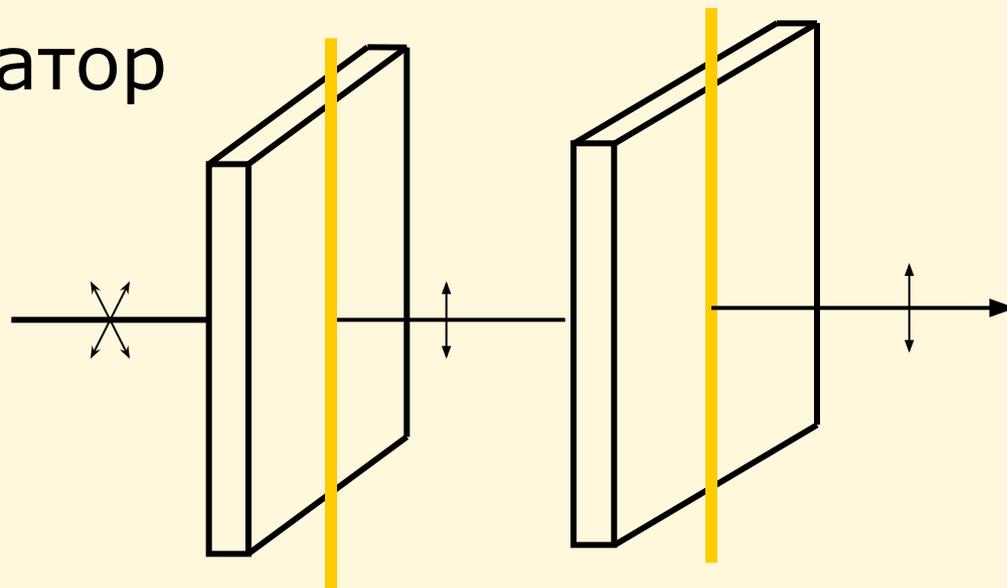


В анизотропном кристалле поглощение света будет зависеть от ориентации светового вектора, т.е. обыкновенный и необыкновенный лучи будут поглощаться в разной степени.

Это явление носит название дихроизма.

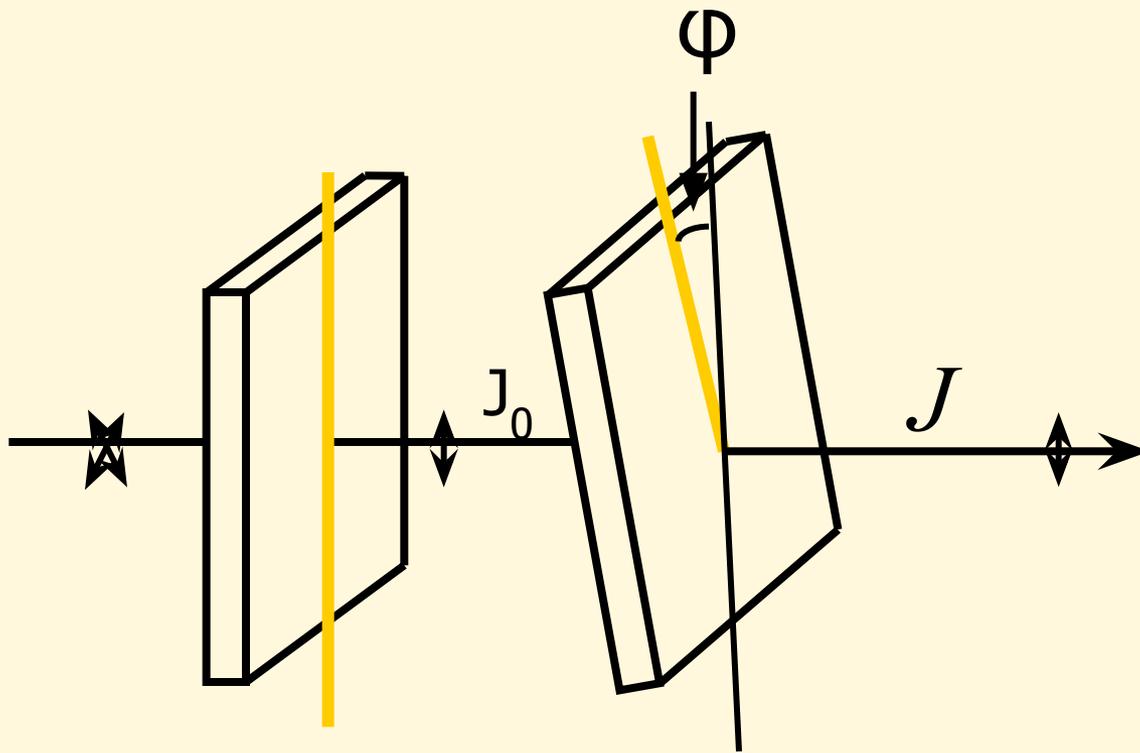


P – поляризатор



P

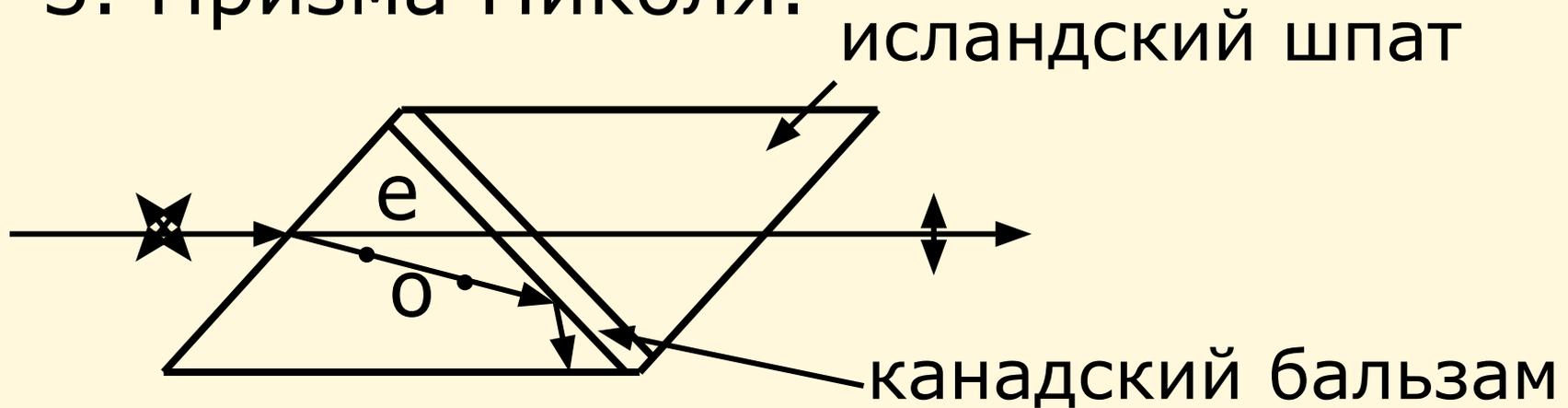
A – анализатор



По закону Малюса:  $J = J_0 \cos^2 \varphi$

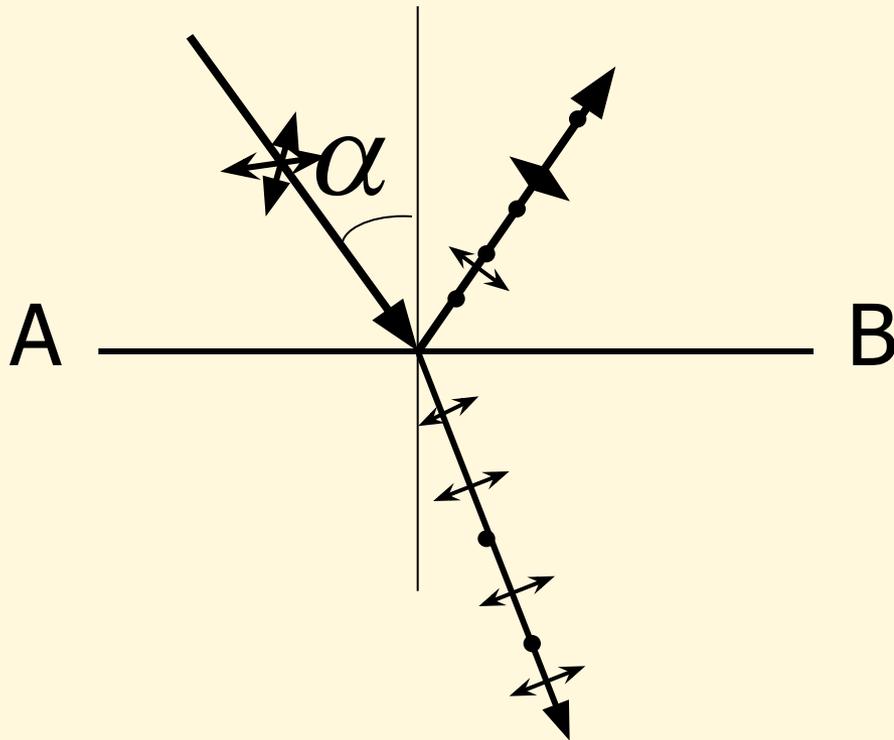
## 2. Поляроиды

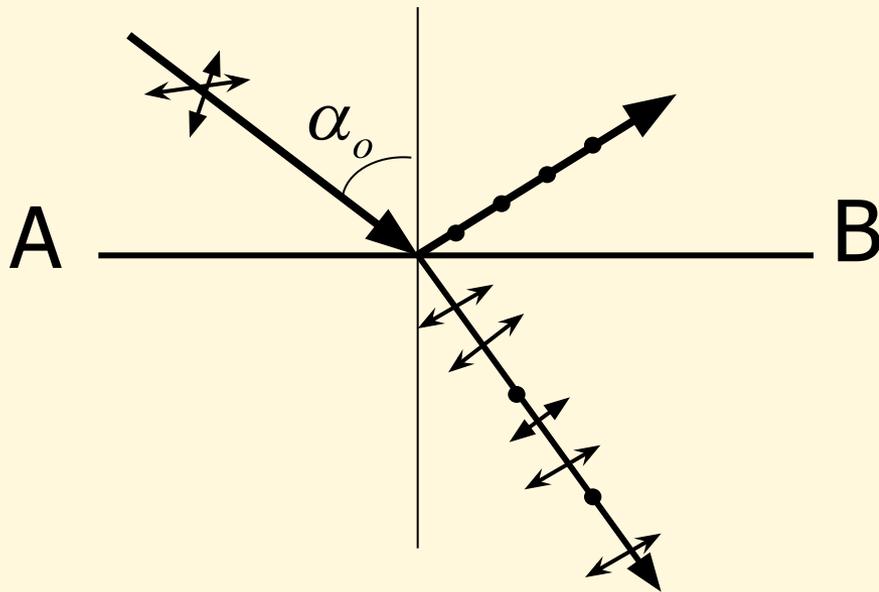
## 3. Призма Николя.



Обыкновенный луч испытывает полное внутреннее отражение от канадского бальзама, т.к. падает под углом, большим предельного на оптически менее плотную среду ( $n$  исл. шпата равен 1,66, а бальзама – 1,55).

# 4. Поляризация света при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков. Закон Брюстера.





Угол  $\alpha_0$  называется углом полной поляризации и определяется законом Брюстера:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = n_{21}$$

# ОПТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

При прохождении плоско поляризованного света через некоторые вещества наблюдается вращение плоскости поляризации света.

Вещества, обладающие такой способностью, называются оптически активными

Они подразделяются на  
1. правовращающие и  
2. левовращающие.

Свойством оптической активности обладают: некоторые кристаллы, например, кварц, органические кислоты, алкалоиды, сахара, белки, гормоны и некоторые антибиотики.

В кристаллах угол поворота плоскости поляризации пропорционален толщине кристалла:

$$\varphi = \alpha_0 l$$

$l$  – толщина кристалла;

$\alpha_0$  - постоянная вращения, которая зависит от природы оптически активного вещества и длины волны света

Постоянная вращения численно равна углу поворота плоскости поляризации при  $l = 1$  мм.

В растворах оптически активных веществ:

$$\varphi = [\alpha] Cl$$

$C$  – концентрация раствора;

$[\alpha]$  – удельная постоянная вращения – величина, численно равная углу поворота плоскости поляризации в растворе толщиной 1 дм. при концентрации 1 моль/мл

Зависимость угла поворота плоскости поляризации от длины волны света

$$\varphi \approx \frac{1}{\lambda^2}$$

называется вращательной дисперсией.

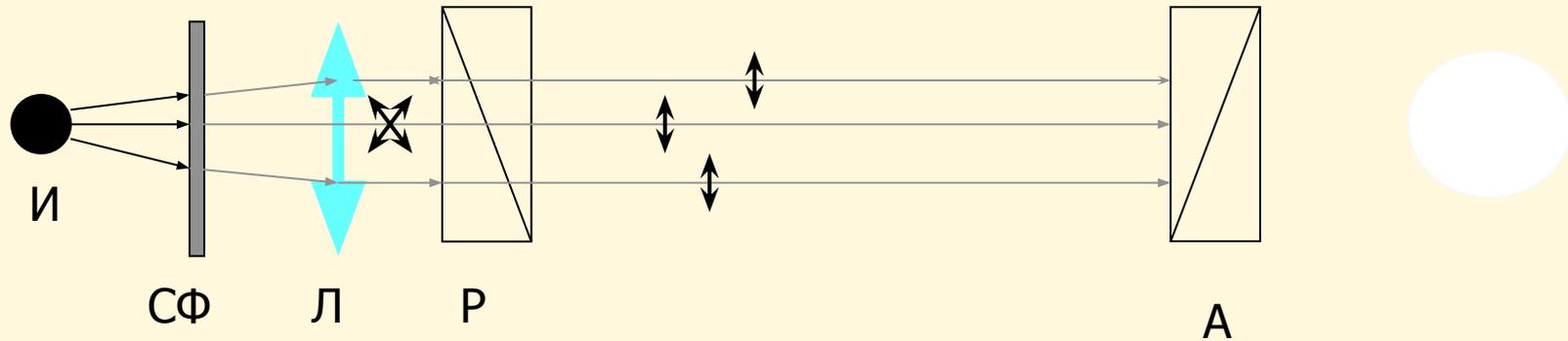
# ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА.

Определение направления и величины угла  $\varphi$  вращения плоскости поляризации применяется при качественном и количественном анализе различных веществ.

Этот метод называется поляриметрией и проводится в монохроматическом свете.

В клинической практике он используется для определения концентрации сахара в моче. Применяемый прибор называется сахариметром.

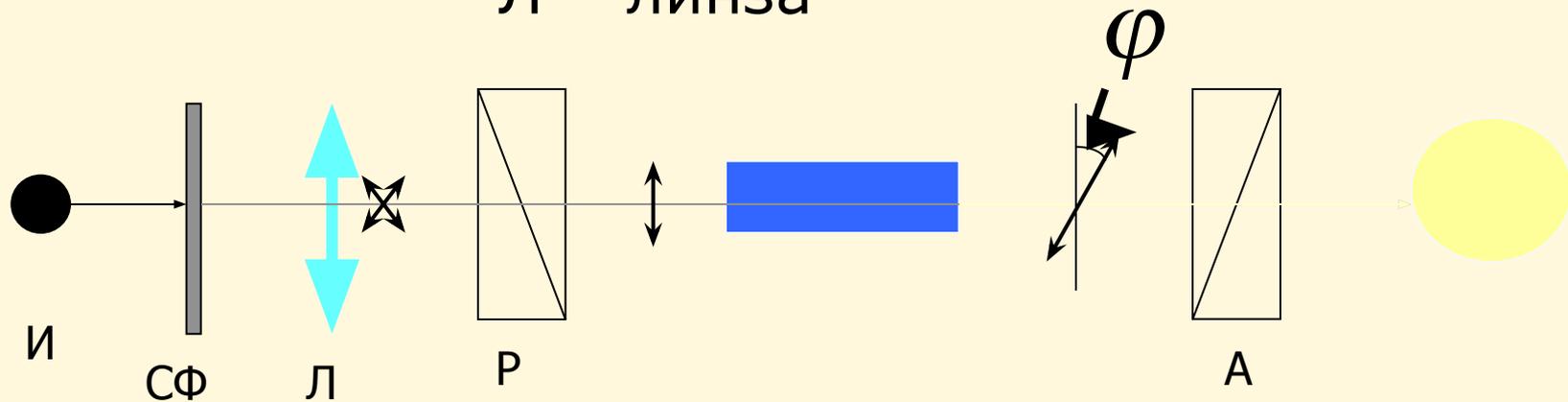
# Принципиальная схема сахариметра



И - источник света

СФ - светофильтр

Л - линза



$$\varphi = [\alpha] C l \quad \longrightarrow \quad C = \frac{\varphi}{[\alpha] l}$$

# ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ МИКРОСКОП

