



Рязанский государственный  
медицинский университет  
имени академика И.П. Павлова  
*Кафедра математики, физики и медицинской информатики*



***Интерференция волн. Когерентные источники света. Интерференционный микроскоп. Дисперсия света. Поляризация света. Закон Малюса. Поляризация света при отражении. Геометрическая оптика. Характеристики линз. Построение изображений в линзах. Строение зрительного анализатора. Строение сетчатки. Миопия. Гиперметропия.***

профессор Ельцов  
Анатолий Викторович

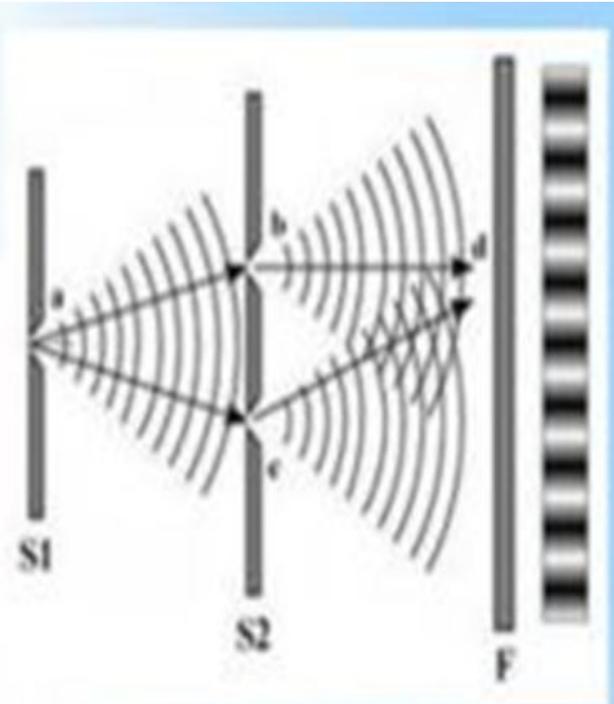
# Интерференция волн

В 1801 г. англичанин Томас Юнг подтвердил волновую природу света и измерил длину световой волны. Свет от источника падал на узкую щель, а затем попадал на второй экран, в котором на близком расстоянии друг от друга были прорезаны еще две узкие щели. Вместо двух ярких линий на экране наблюдались интерференционные полосы, что было недопустимо в случае корпускулярной теории.



1773-1829

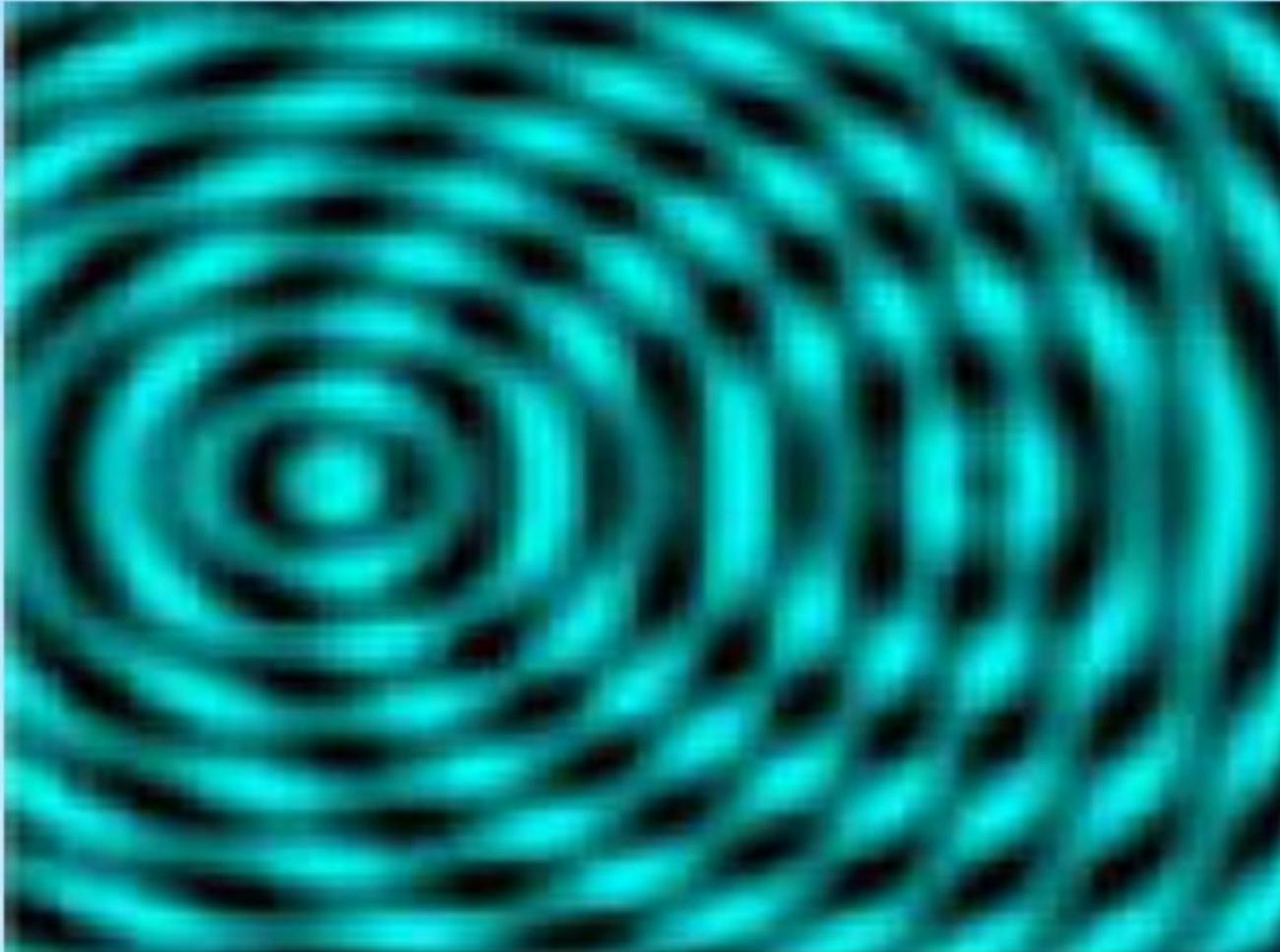
Томас Юнг



Открыл явление  
интерференции

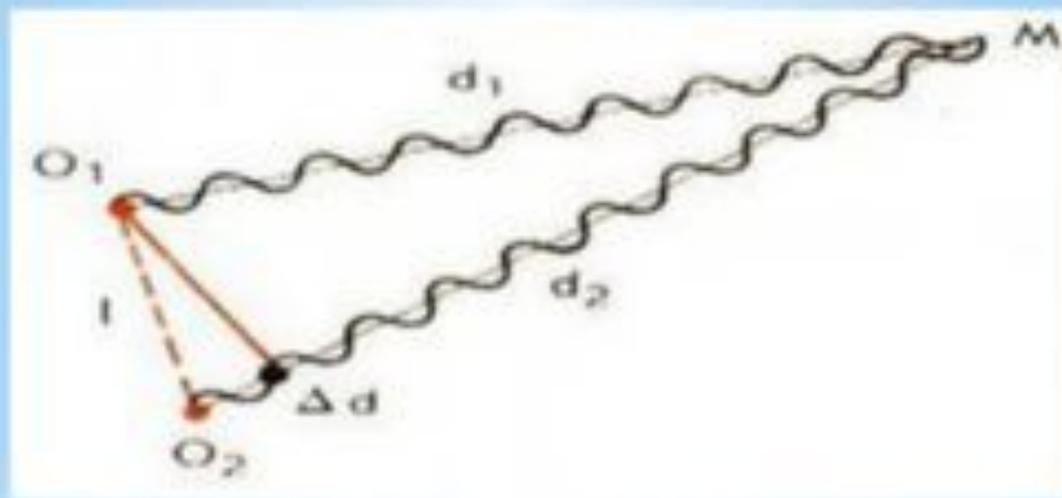
# Интерференция волн

Сложение в пространстве волн, при котором образуется постоянное во времени распределение амплитуд результирующих колебаний называется интерференцией.



# Интерференция волн

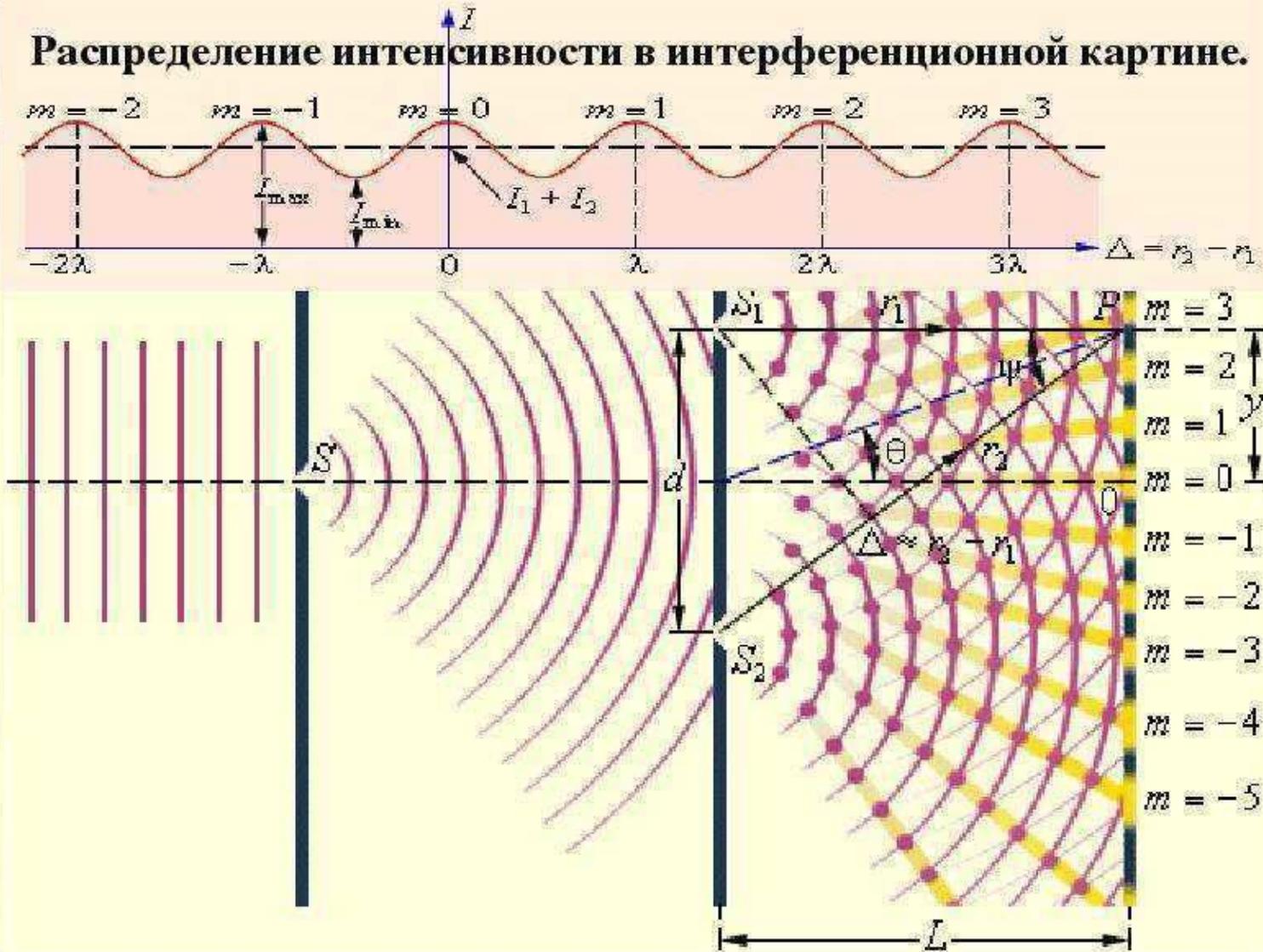
Результат сложения волн, приходящих в точку М, зависит от разности фаз между ними.  $\Delta d = d_1 - d_2$  – разность хода



Результат сложения волн, приходящих в точку М, зависит от разности фаз между ними.

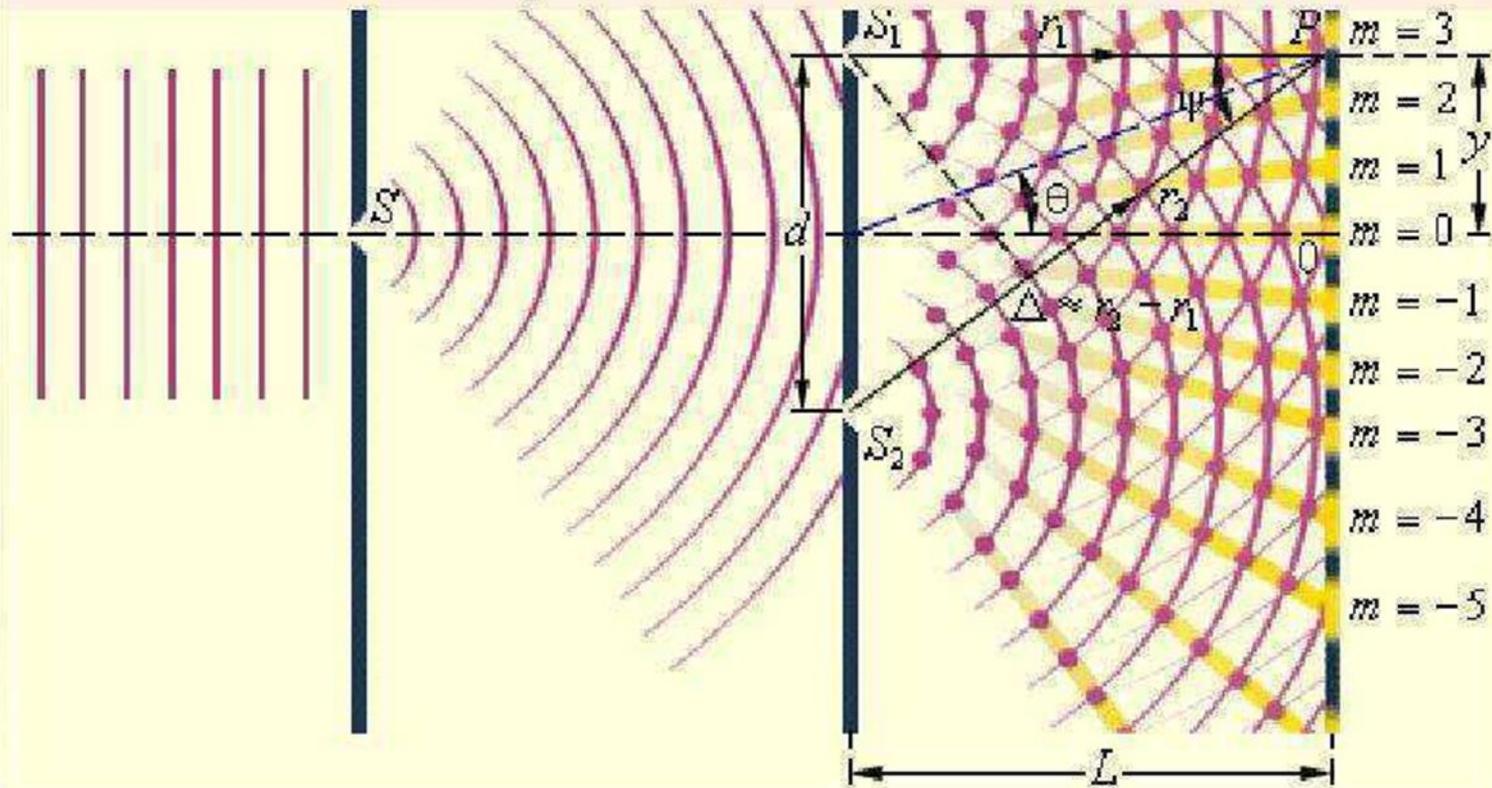
$\Delta d = d_1 - d_2$  – разность хода

## Распределение интенсивности в интерференционной картине.



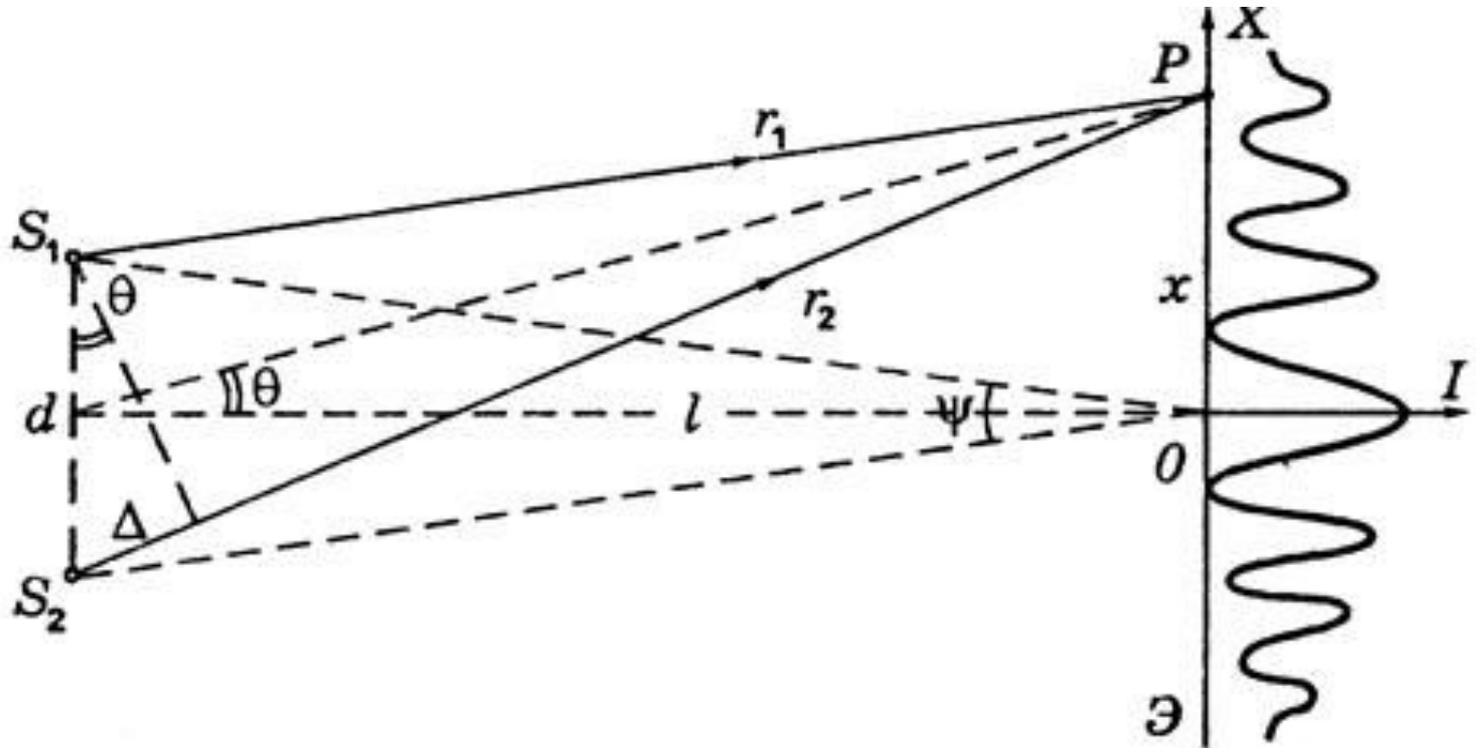
Волны от двух узких щелей распространяются по всем направлениям и достигают центра экрана в одинаковой фазе где образуется светлое пятно. Усиливающая интерференция возникает всякий раз когда разность хода для двух лучей равна целому числу волн.

## Распределение интенсивности в интерференционной картине.



Но если один из лучей проходит еще половину длины волны (разность хода равна  $\lambda/2$ ,  $3\lambda/2$ ,  $5\lambda/2$  .... т.е. равна нечетному числу полуволн) волны придут на экран в противофазе возникнет ослабляющая (гасящая) интерференция и на экране образуется темное пятно.

# Интерференция волн



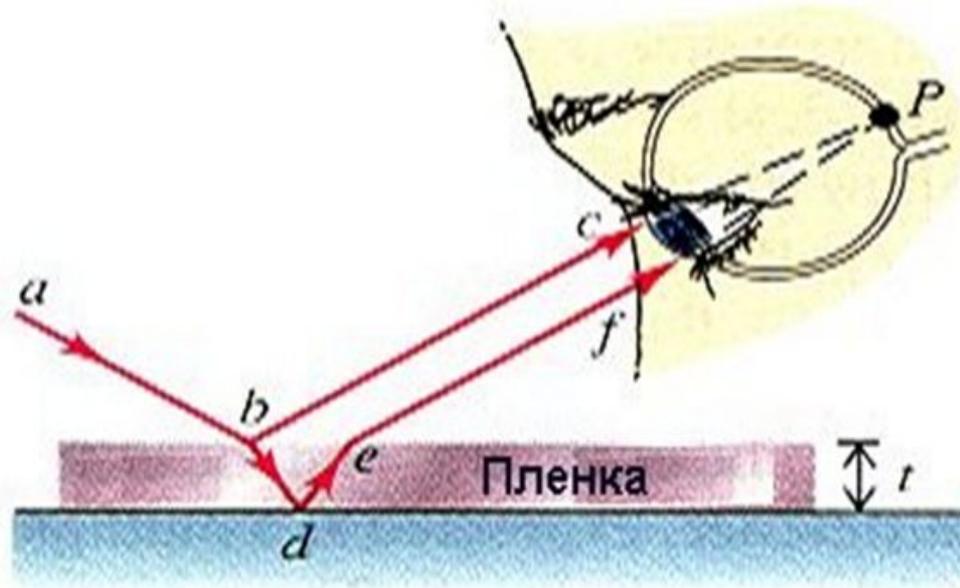
В действительности расстояние  $\Delta$  очень мало по сравнению с расстоянием до экрана  $l$ . Угол  $\theta$  это угол который лучи образуют с горизонталью будет мал, из подобия треугольников, усиливающая интерференция наблюдается тогда когда  $\Delta = d \sin \theta = m \lambda$

где  $m = 0, 1, 2, \dots$  целое число называется порядком интерференционной линии

Ослабляющая (гасящая) интерференция возникает когда  $\Delta = d \sin \theta = (m + 1/2) \lambda$

# Когерентные источники света

Две щели в опыте Юнга ведут себя как вторичные источники волн, такие источники называются когерентными, поскольку сдвиг фаз между испускаемыми ими волнами остается неизменным. Интерференционная картина наблюдается только для когерентных источников. Чтобы сдвиг фаз был постоянным волны должны иметь одинаковую частоту и длину волны. Когерентные волны можно получить разделив исходную волну на части, путем отражения или преломления. Если эти волны пройдут различные оптические пути и затем сложатся друг с другом возникнет интерференционная картина.

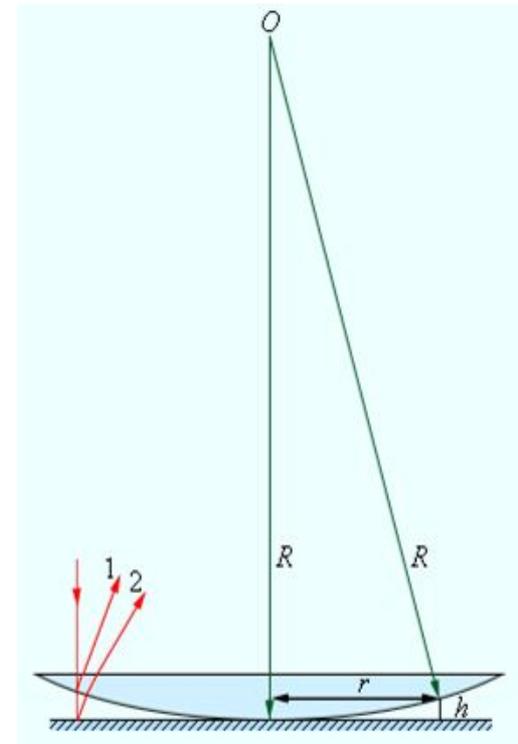
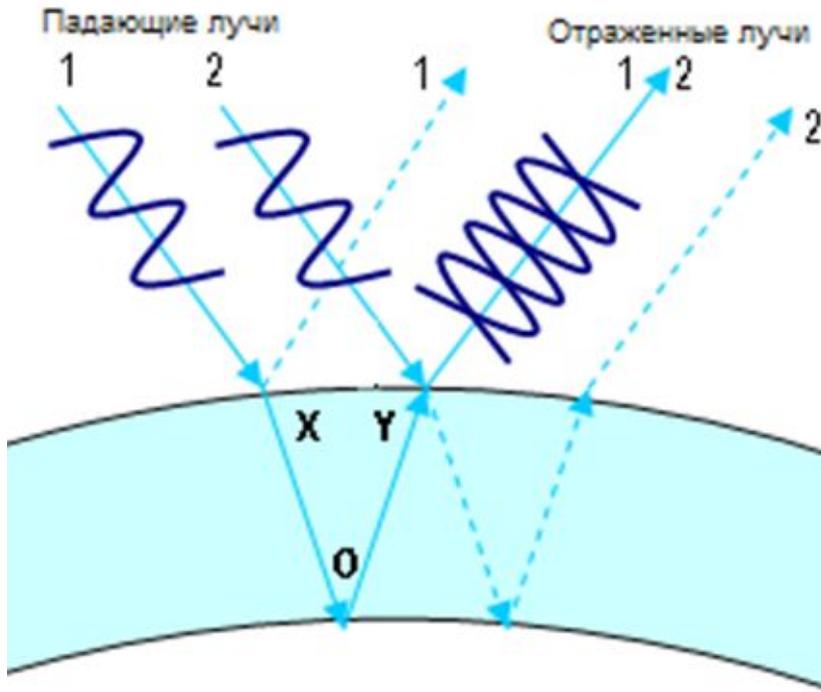


# Пример интерференции в тонких пленках

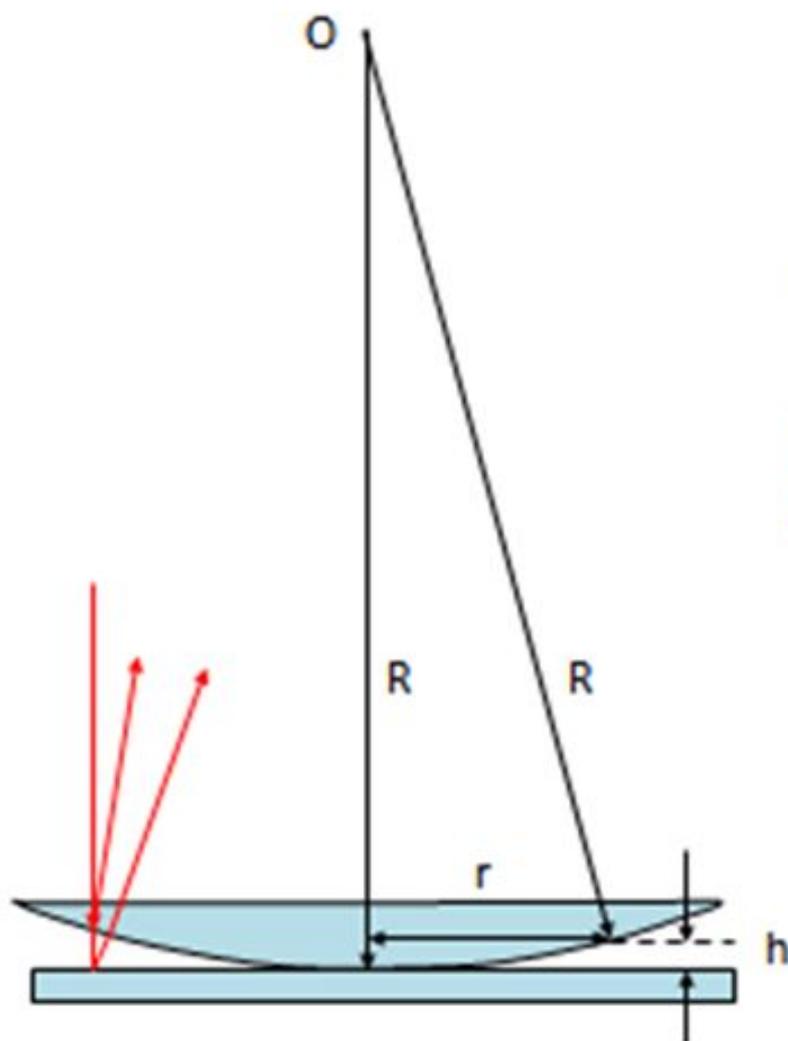


# Интерференция при отражении

При отражении световой волны от среды с большим показателем преломления фаза волны изменяется на  $180$  градусов, при отражении света от среды с меньшим показателем преломления фаза волны не изменяется. В результате возникает ослабляющая гасящая интерференция. Этот факт подтверждается тем что, точка соприкосновения двух стекол в «Кольцах ньютона» в отраженном свете оказывается темной, так как разность хода в этой точке равна нулю, но воздушный зазор при очень малой толщине остается и лучи отражающиеся от верхней и нижней границ воздушного зазора оказываются в противофазе.



# Кольца Ньютона



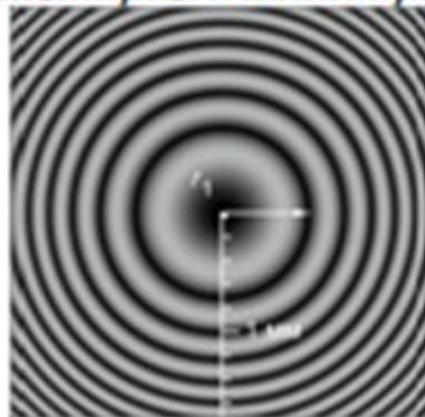
Для светлых колец в отраженном свете

$$r_{\text{са}}^{\text{отр}} = \sqrt{\frac{(2m+1)R\lambda}{2}}$$

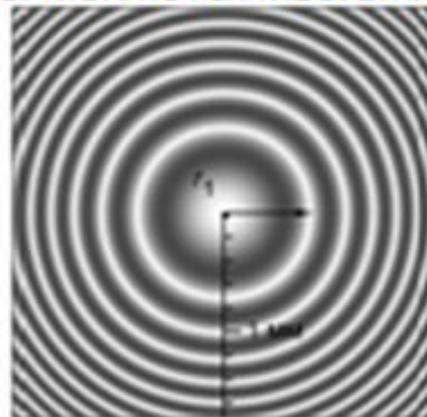
Для темных колец в отраженном свете

$$r_{\text{тем}}^{\text{отр}} = \sqrt{mR\lambda}$$

В проходящем свете интерференционные максимумы и минимумы меняются местами



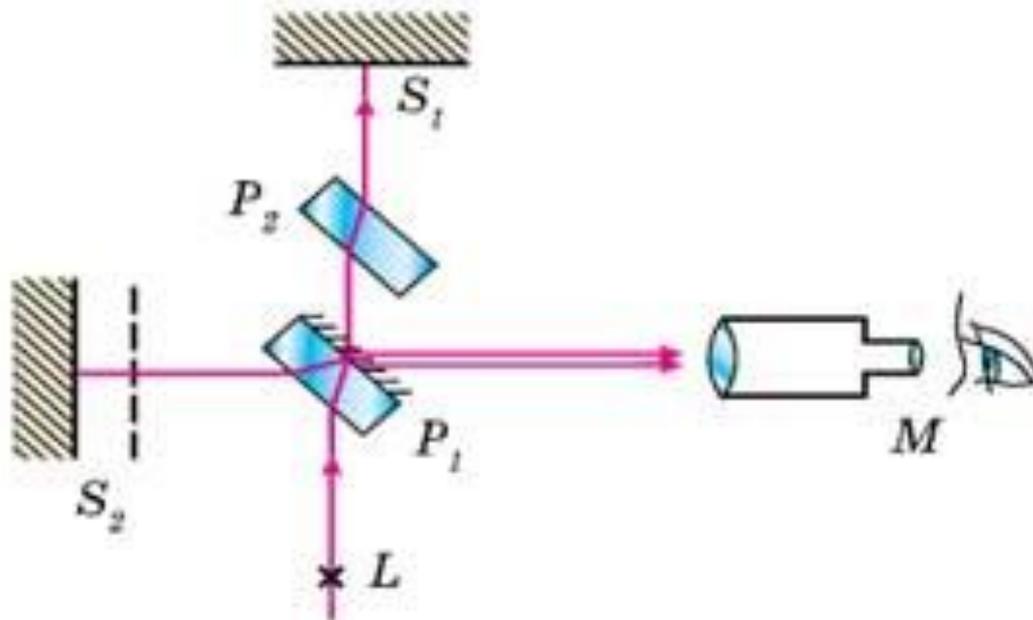
отраженный свет



проходящий свет

# Интерферометр Майкельсона

Принцип действия основан на интерференции в тонкой пленке. Монохроматический свет от источника падает на полупрозрачное посеребренное зеркало  $P_1$ , которое расщепляет пучок. Часть света направляется к неподвижному зеркалу  $S_1$  и отражается обратно попадая в глаз наблюдателю. Другая часть проходит зеркало  $P_1$  и падает на подвижное зеркало  $S_2$ , также отражается от него обратно и тоже попадает в глаз наблюдателя. На пути первого пучка обычно размещают компенсатор  $P_2$  в виде пластины из прозрачного стекла (его изготавливают из того же материала что и зеркало той же толщины с точностью до долей длины волны). Если пути волн были одинаковы наступала усиливающая интерференция и наблюдатель видел свет. Если подвижное зеркало  $S_2$  отодвинуть на расстояние  $\lambda/4$ , то второй пучок будет проходить расстояние на  $\lambda/2$  больше (так расстояние  $\lambda/4$  ему придется пройти туда и обратно) наступит ослабляющая интерференция и наблюдатель увидит темноту. Это позволяет очень точно измерять длины волн падающего света.

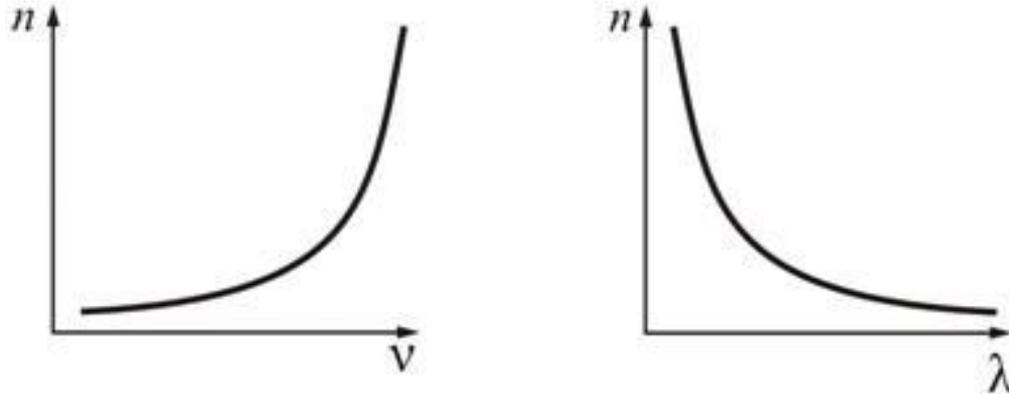


# Дисперсия света

Видимый свет, который воспринимает наш глаз, соответствует диапазону длин волн от 400 до 750 нм (от фиолетового до красного). Свет с длинами волн больше 750 нм называется инфракрасным, короче 400 нм ультрафиолетовым. Призма разлагает белый цвет на все цвета радуги, происходит это из за того что показатель преломления зависит от длины волны. Коши пришел к формуле, выражающей зависимость показателя

преломления от длины волны 
$$n = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4} + \dots$$

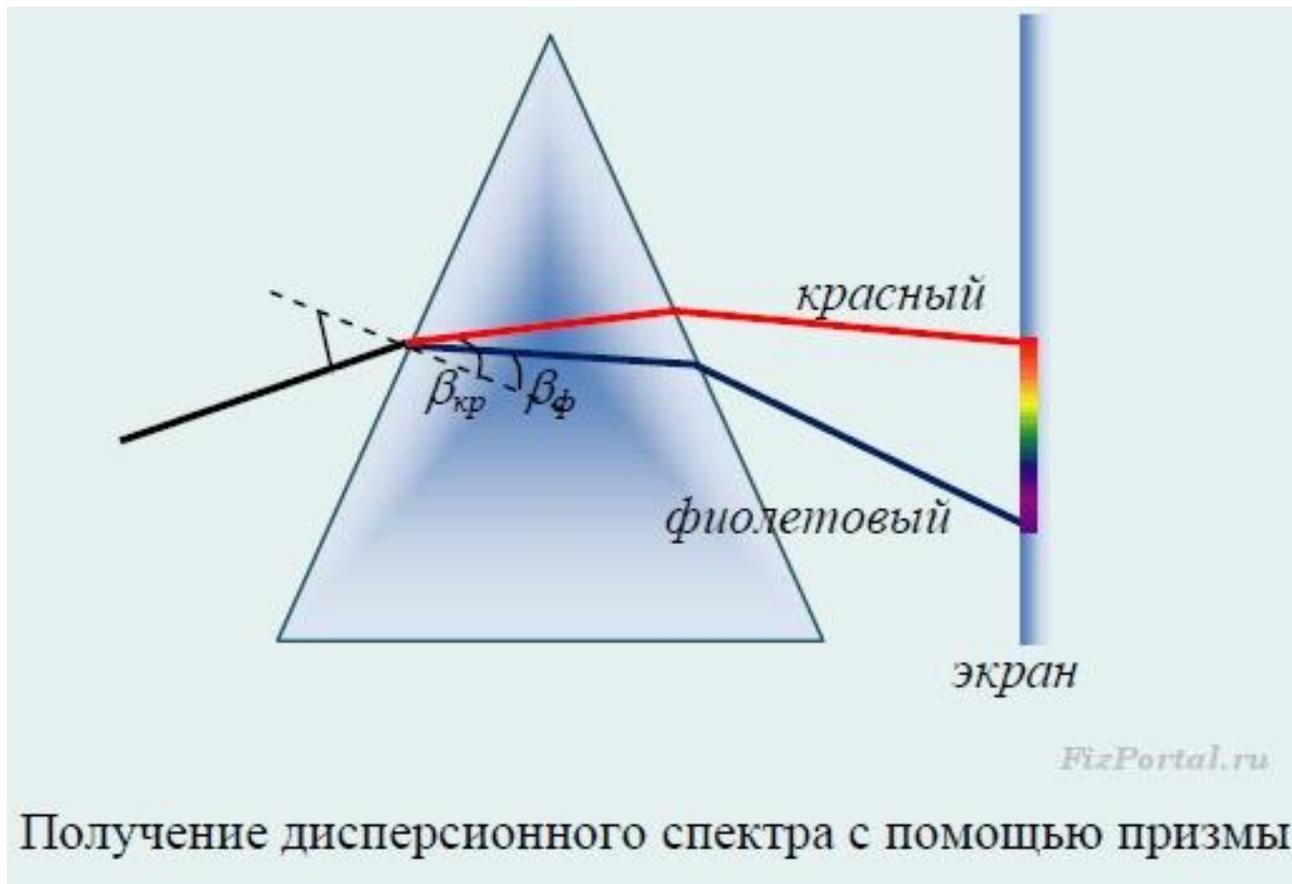
где  $\lambda$  - длина волны в вакууме,  $a, b, c, \dots$  - постоянные



Белый свет представляет собой смесь всех длин волн видимого диапазона. Падая на призму, волны различной длины преломляются на различные углы. Так как показатель преломления больше для коротких волн, фиолетовый свет преломляется сильнее, а красный слабее.

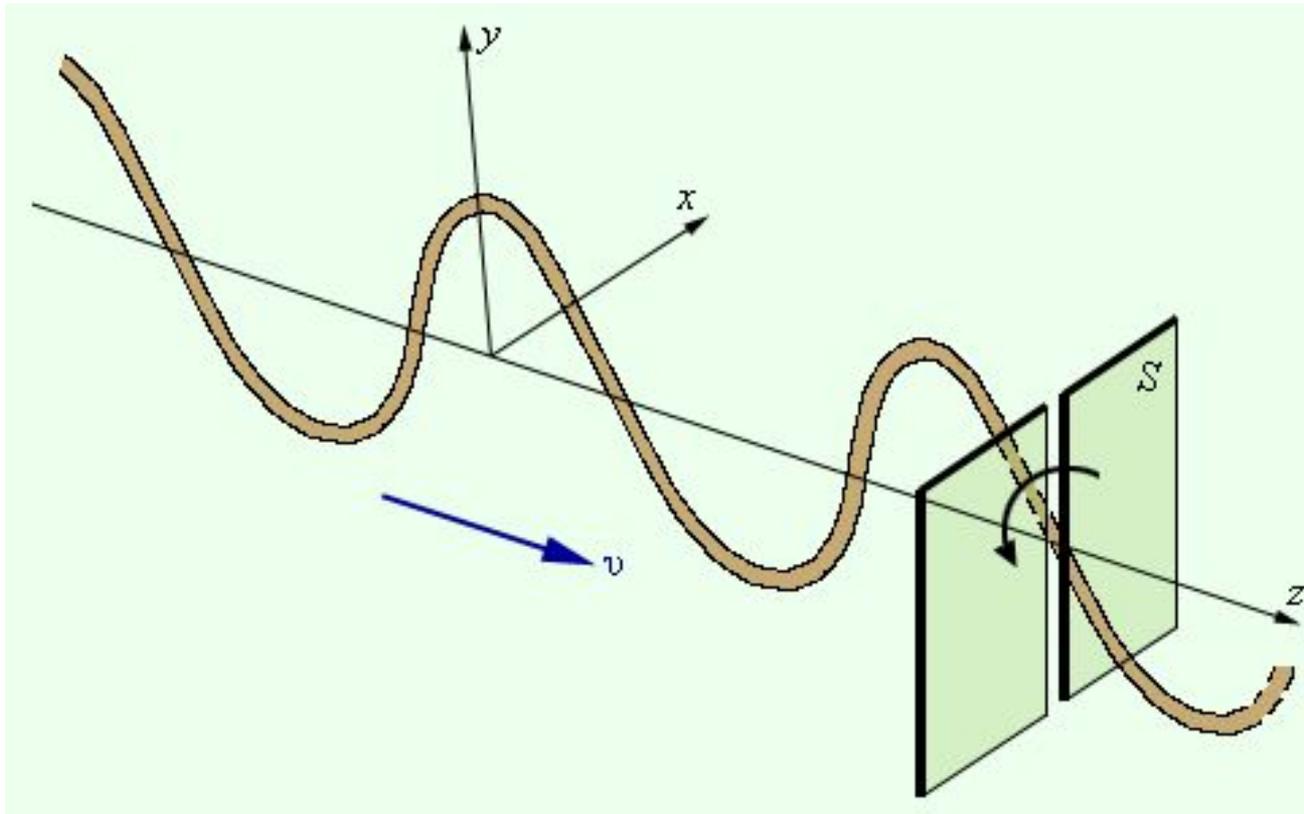
# Дисперсия света

Разложение белого цвета в полный спектр называют дисперсией



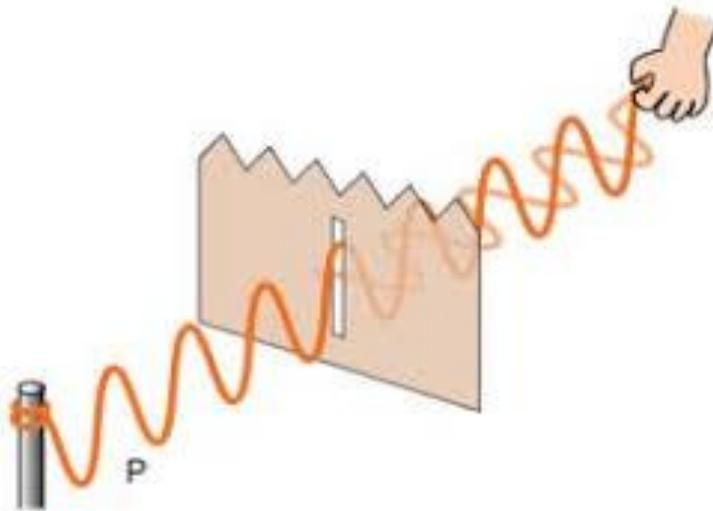
# Поляризация света

Понять поляризацию света помогает аналогия с механической волной бегущей по веревке. Волну можно возбудить в вертикальной или горизонтальной плоскости. Такая волна называется плоско поляризованной, колебания осуществляются в одной плоскости.



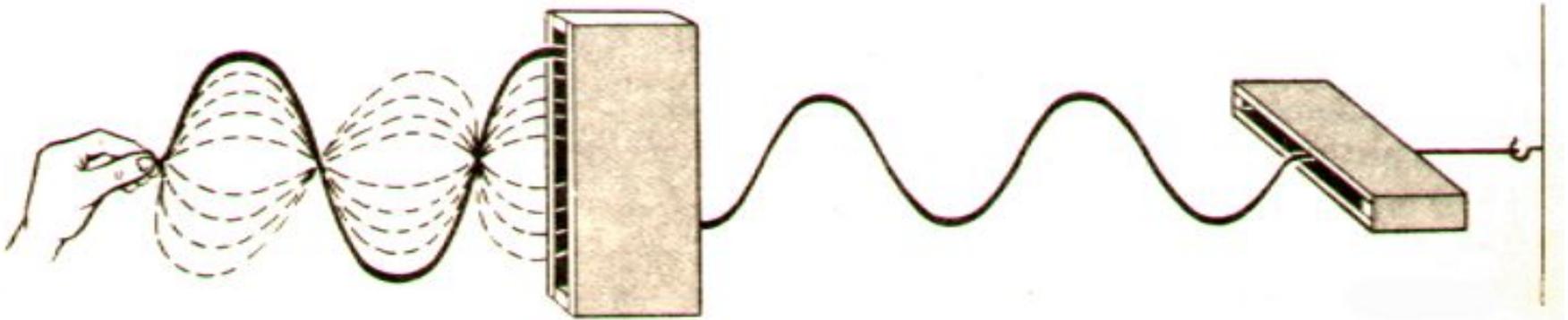
# Поляризация света

Если на пути волны поставить препятствие с вертикальной щелью то вертикально поляризованная волна пройдет через него, а горизонтально поляризованная нет. Все наоборот будет для горизонтальной щели. Если на пути таких волн поставить обе щели, то через них не сможет пройти ни одна из поляризованных волн.



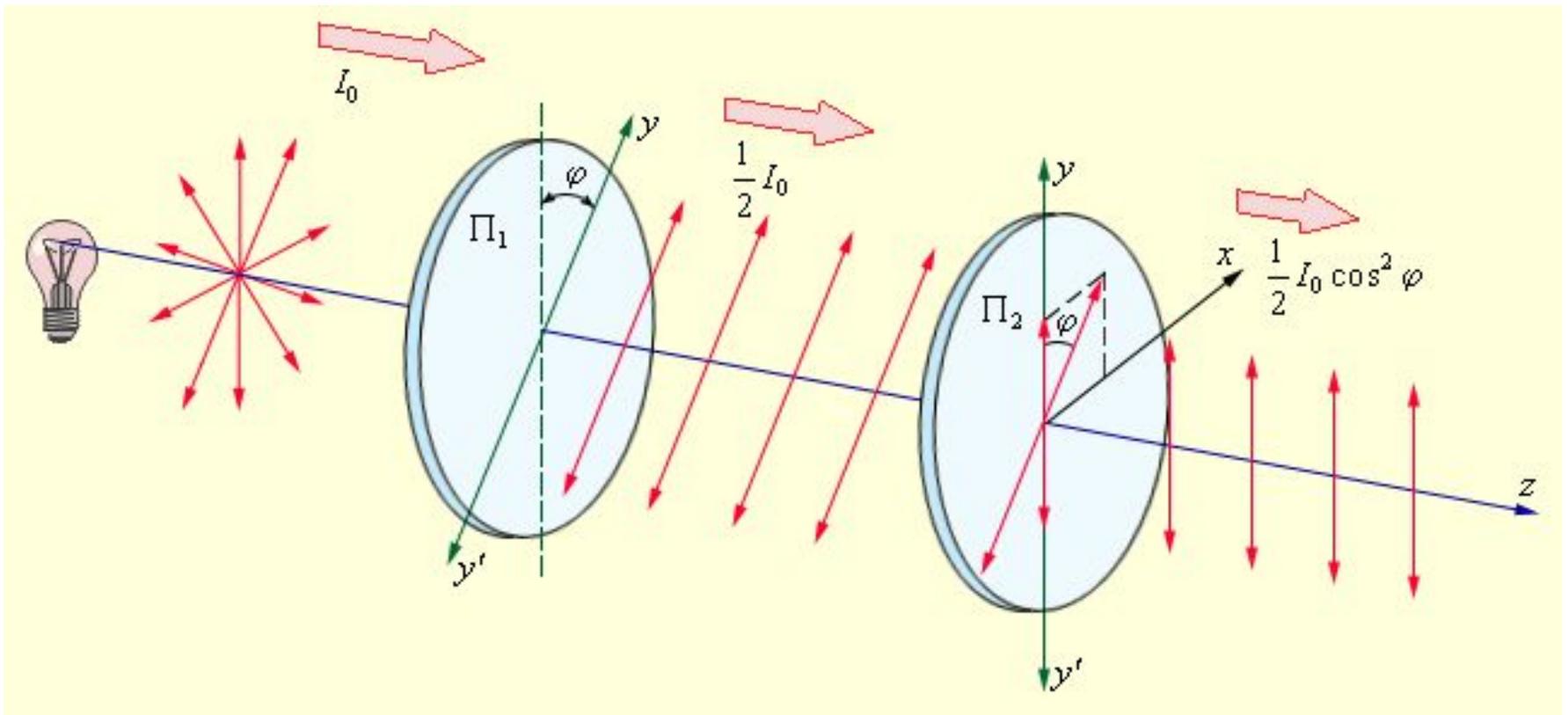
# Поляризация света

Если на пути таких волн поставить обе щели, то через них не сможет пройти ни одна из поляризованных волн. Поляризация возможно только для поперечных волн.



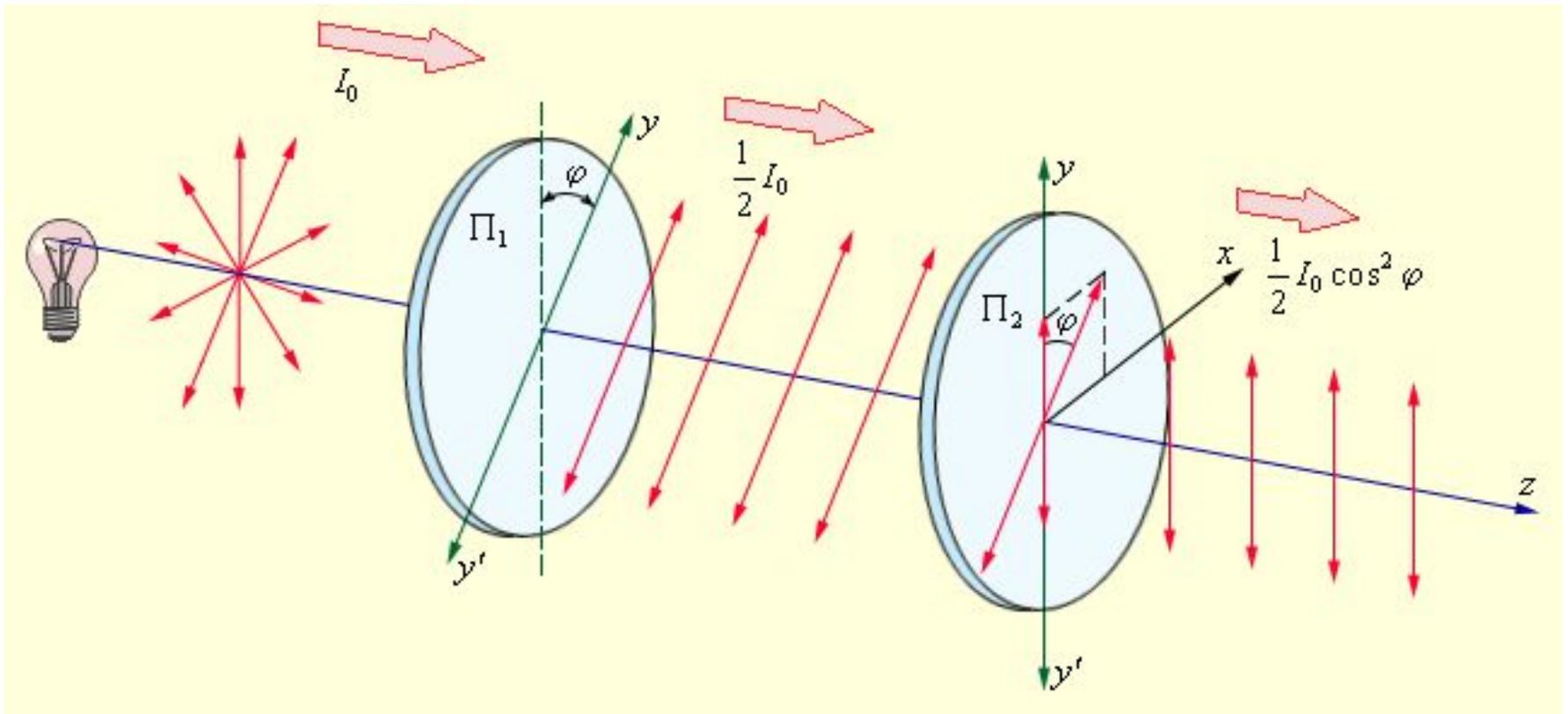
# Поляризация света

Световая волна является поперечной. Обычная лампа излучает неполяризованный свет, колебания вектора напряженности происходят в различных плоскостях. Поместив на пути такого света специальный кристалл который действует подобно набору параллельных щелей, он пропустит беспрепятственно свет в соответствующей плоскости и почти полностью поглотит свет в перпендикулярной плоскости. Соответствующее направление называется осью поляроида.



# Поляризация света

Если световая волна плоскополяризованного света попадает на поляроид, ось которого образует угол  $\varphi$  с направлением поляризации, то после прохождения этого поляроида он будет поляризован в плоскости параллельной оси этого поляроида и иметь амплитуду ослабленную в  $\cos\varphi$  раз. Таким образом через поляроид проходит только компонента поляризации вектора напряженности электрического поля параллельная его оси.

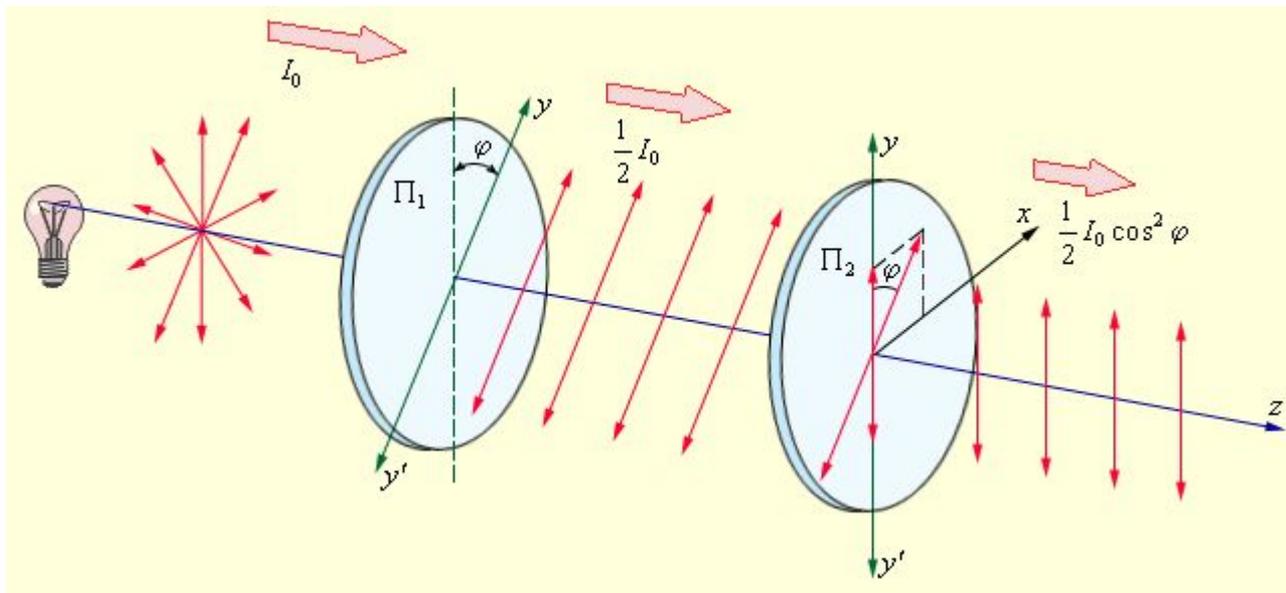


# Закон Малюса

Так как интенсивность света пропорциональна квадрату его амплитуды, интенсивность поляризованного пучка, прошедшего через поляризатор определяется выражением:

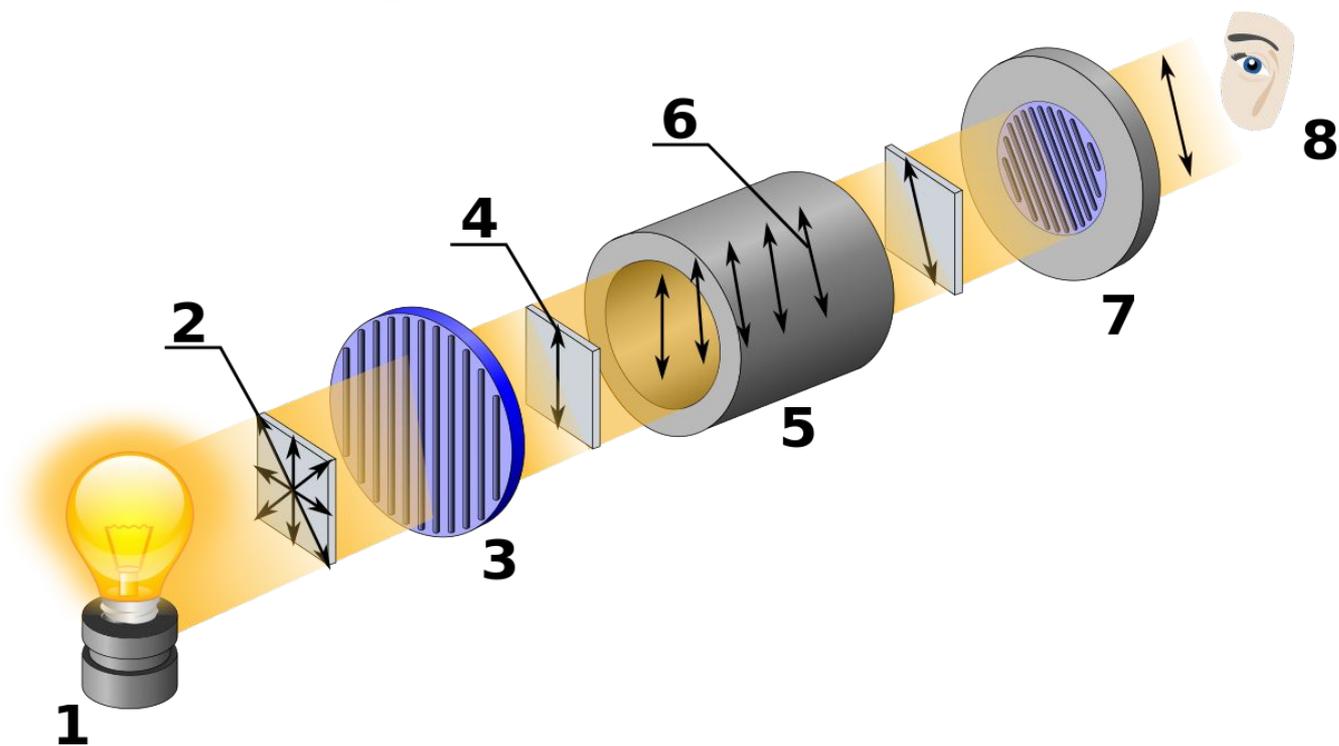
$$I_0/2 = I_0/2 \cos^2 \varphi$$

где  $\varphi$  угол между осью поляризатора и плоскостью поляризации падающей волны,  $I_0$  - интенсивность падающего света.



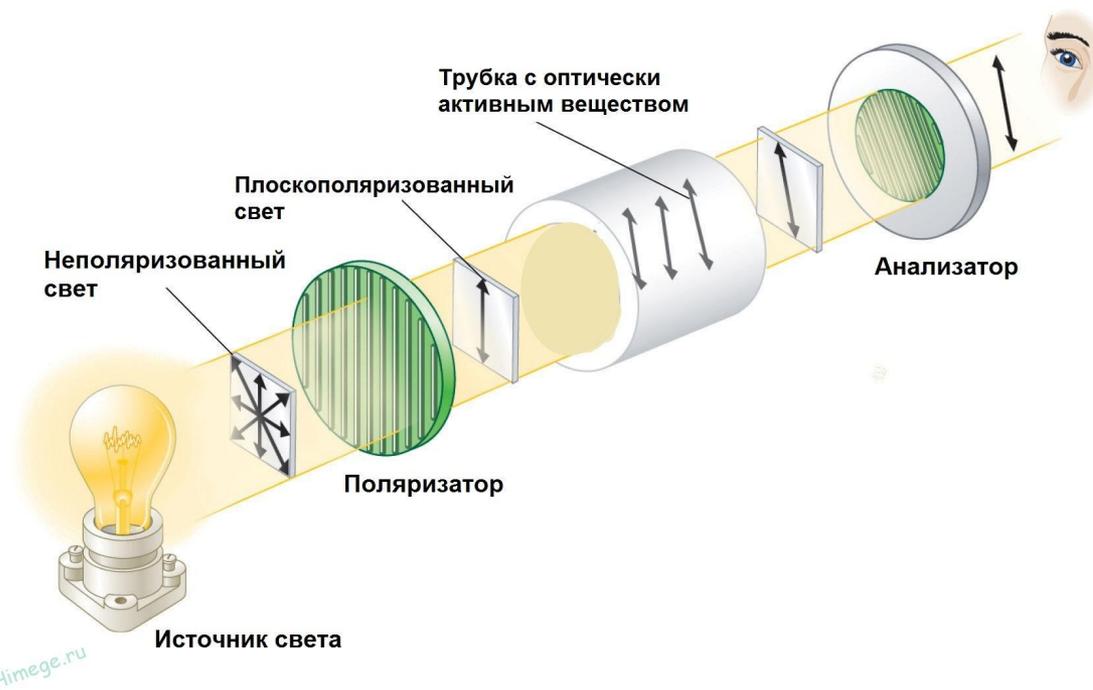
# Поляроид анализатор

Второй поляроид можно использовать в качестве анализатора для того чтобы установить в какой плоскости поляризован свет. При его вращении интенсивность света будет максимальна когда его плоскость поляризации будет параллельна плоскости первого поляроида и минимальна когда она будет перпендикулярна его плоскости. Если интенсивность при определенной ориентации падает до нуля то такой свет полностью плоско поляризован, если снижается до определенного значения то свет частично поляризован.



# Оптическая активность

Было замечено что при прохождении плоскополяризованного света через кристаллы и растворы плоскость поляризации поворачивается на некоторый угол. Например при прохождении через раствор сахара. Т.е. при взаимно перпендикулярном расположении плоскости поляроида и анализатора свет целиком не гасится. Однако если повернуть анализатор на некоторый угол, то он перестает полностью пропускать свет. Такие вещества называются оптически активными. Есть правовращающие (сахар, D- глюкоза), есть левовращающие (аминокислоты, белки)



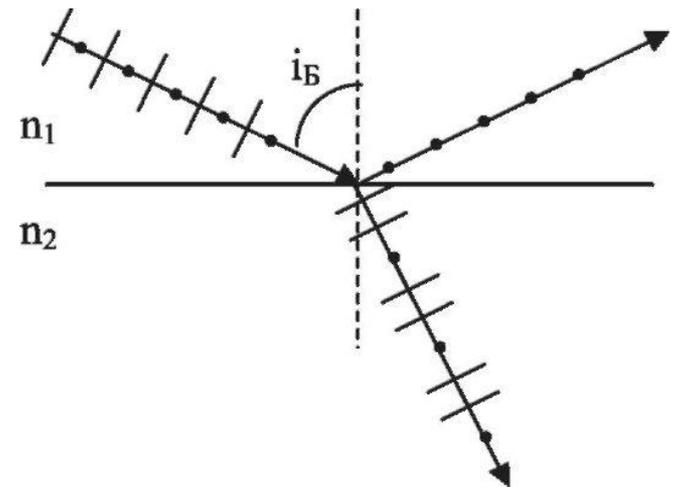
# Поляризация при отражении

Получить поляризованный свет можно отражением. Когда свет падает на поверхность под любым углом кроме прямого, отраженный луч оказывается плоскополяризованным преимущественно параллельно отражающей поверхности. Степень поляризации отраженного пучка зависит от угла падения. При падении под углом большим  $\theta$  отраженный свет будет полностью поляризованным. Угол полной поляризации света связан с показателями преломления двух сред следующим соотношением:

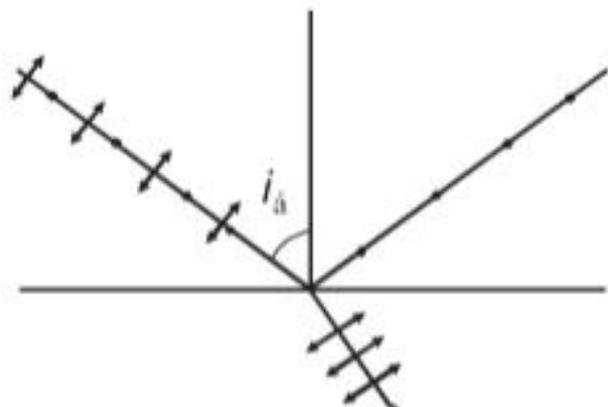
$$\operatorname{tg} \theta = n_2/n_1$$

где  $n_1$  - показатель преломления среды в которой распространяется луч,  
 $n_2$  - показатель преломления отражающей среды.

Угол поляризации называют углом Брюстера. Если свет распространяется в воздухе то  $n_1=1$  и  $\operatorname{tg} \theta = n_2$  есть закон Брюстера.

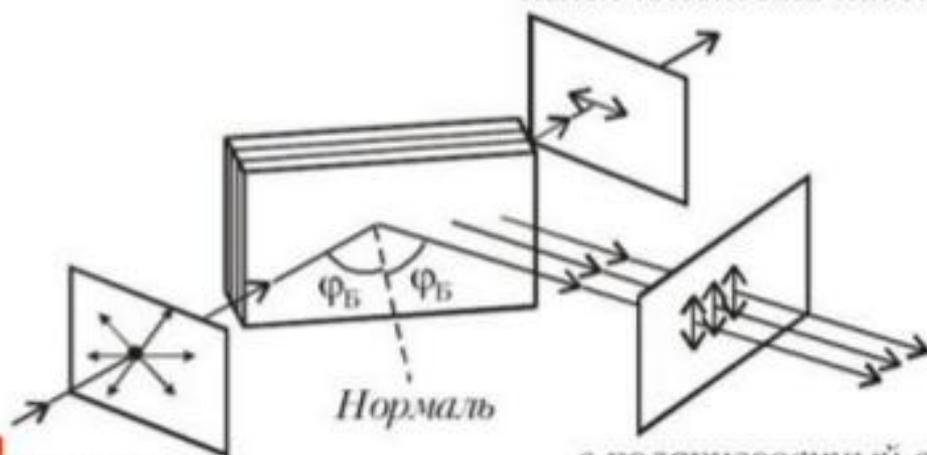


## ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА ПРИ ОТРАЖЕНИИ И ПРЕЛОМЛЕНИИ НА ГРАНИЦЕ ДВУХ ДИЭЛЕКТРИКОВ



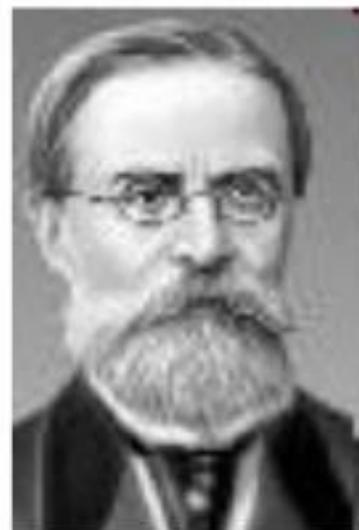
Для стекла угол Брюстера составляет  $57^\circ$ .  
Отраженный луч оказывается полностью поляризованным. Преломленный луч оказывается поляризованным лишь частично, но пройдя 8-10 стекол, луч полностью поляризуется (Стопа Столетова)

*p-поляризованный свет, в котором вектор  $\vec{E}$  параллелен плоскости падения*



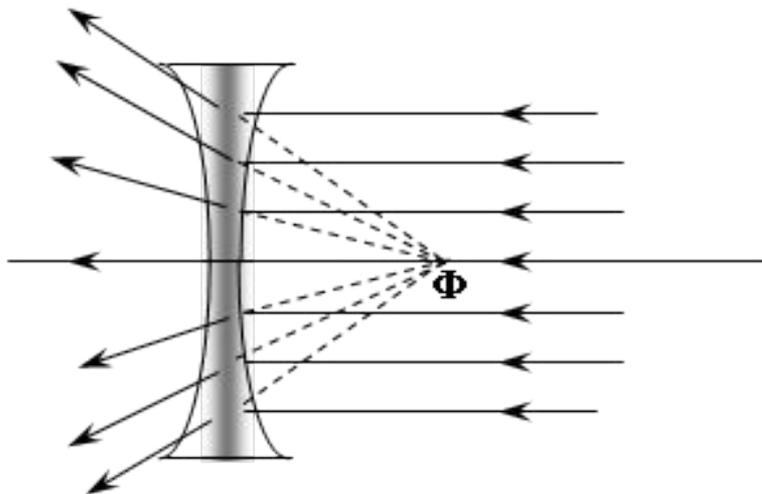
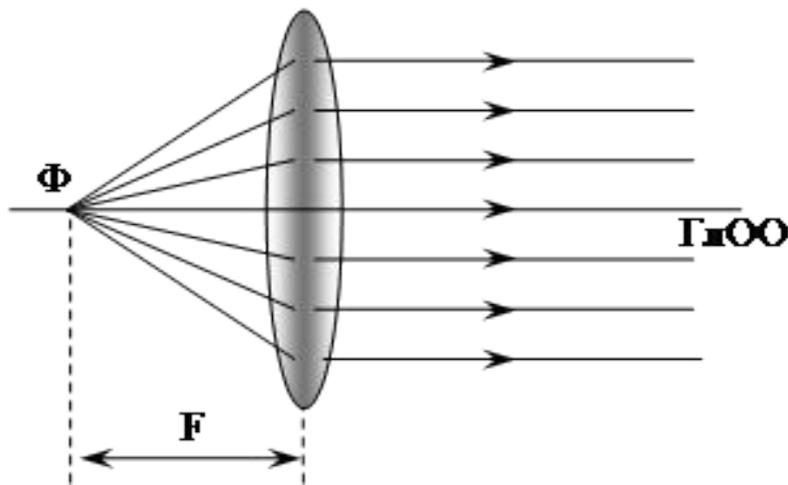
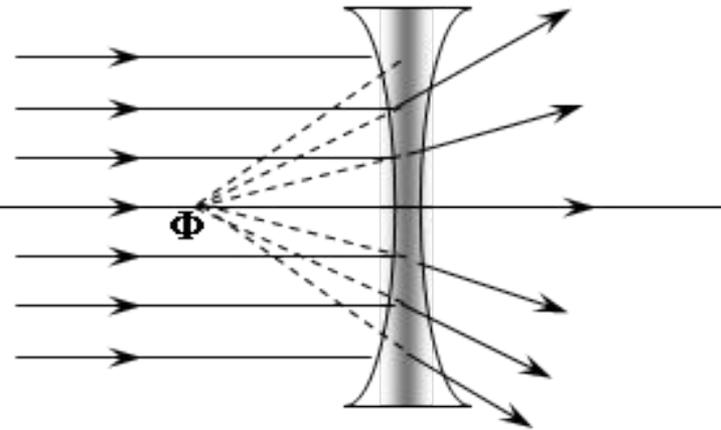
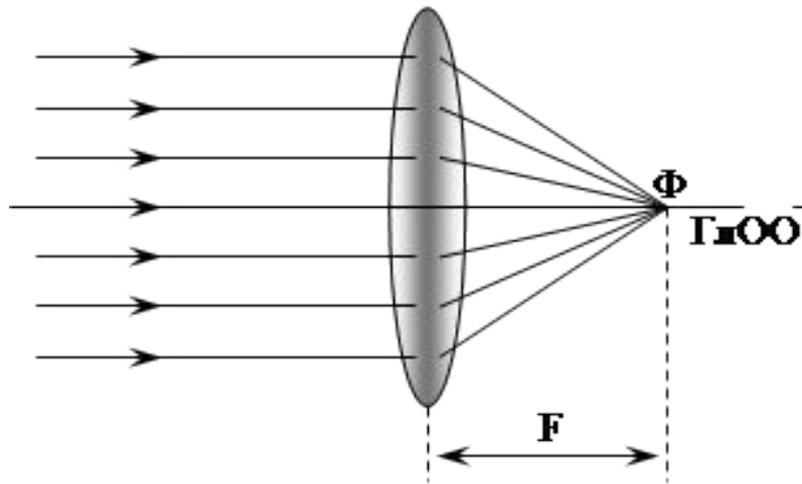
*Падающий естественный свет*

*s-поляризованный свет, в котором вектор  $\vec{E}$  перпендикулярен плоскости падения*



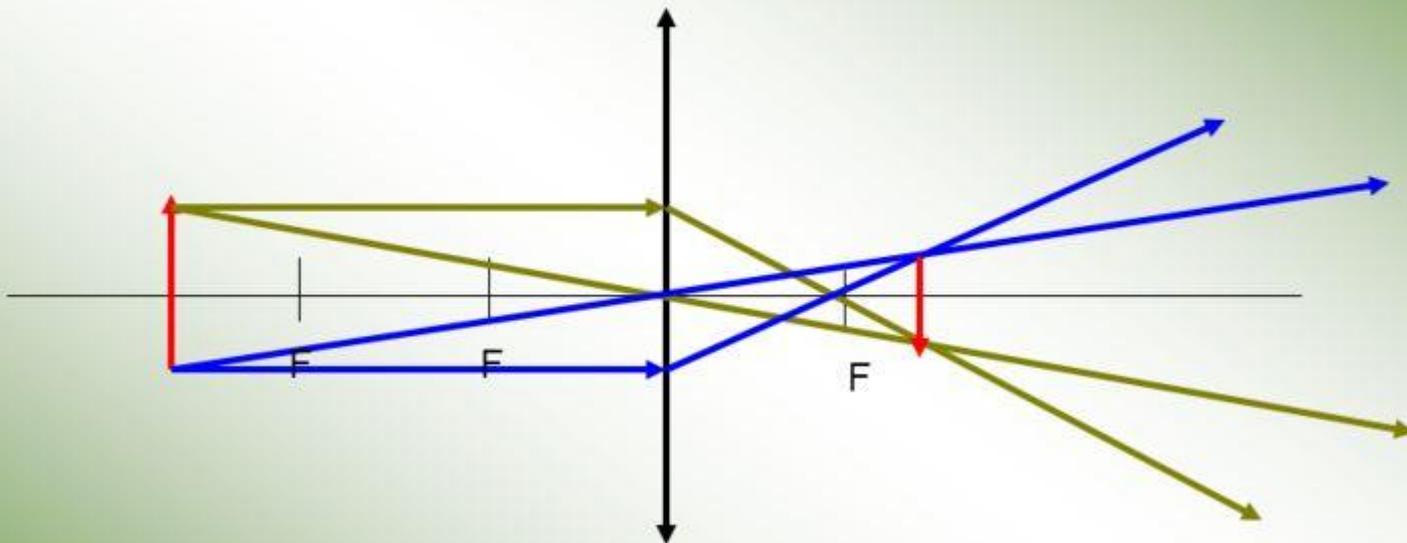
Александр Григорьевич Столетов  
(1839-1896)

# Геометрическая оптика

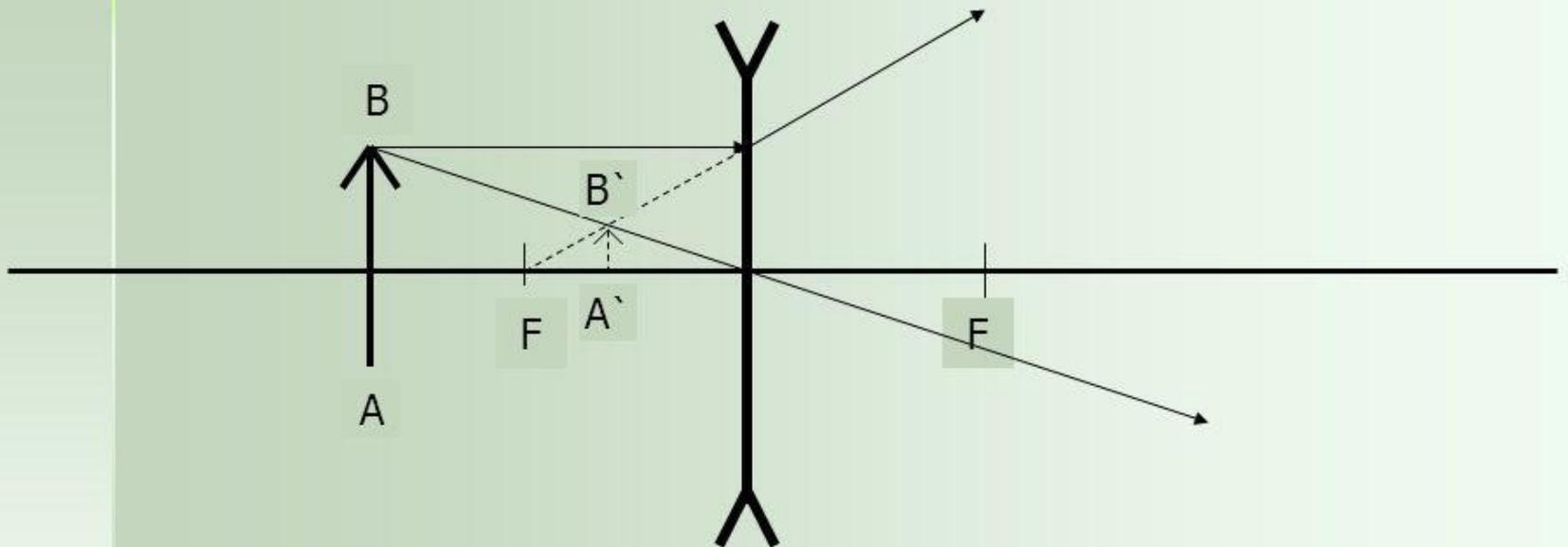


# Геометрическая оптика

## Построение изображений в собирающей линзе.

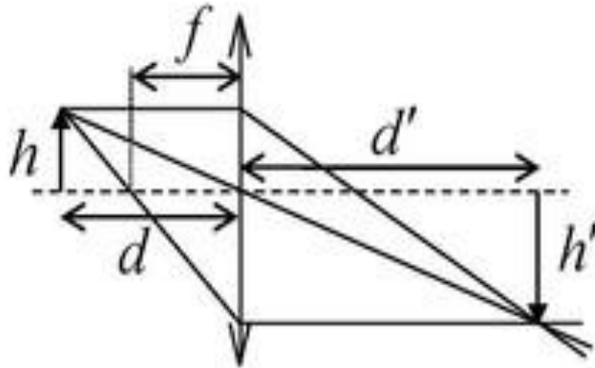


## Построение изображения в рассеивающей линзе



# Формула тонкой линзы

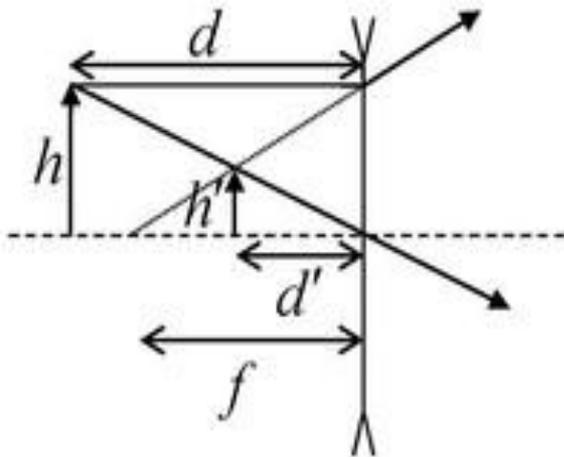
Пример 1: собирающая линза (случай  $d > f$ )



из подобия треугольников следует:

$$\begin{cases} \frac{h}{d} = \frac{h'}{d'} \\ \frac{h}{d-f} = \frac{h'}{f} \end{cases} \Rightarrow \boxed{\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{f}}$$

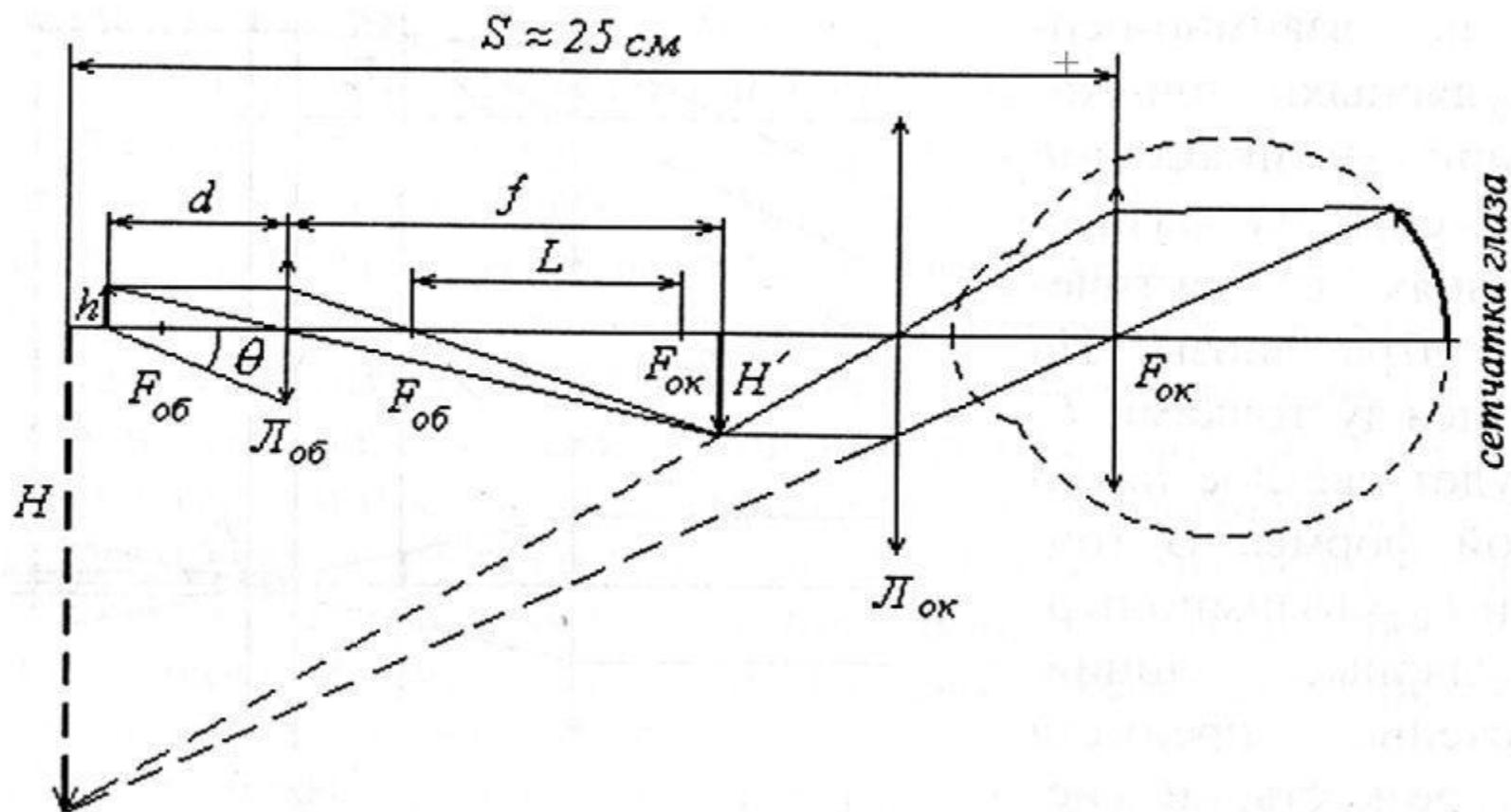
Пример 2: рассеивающая линза



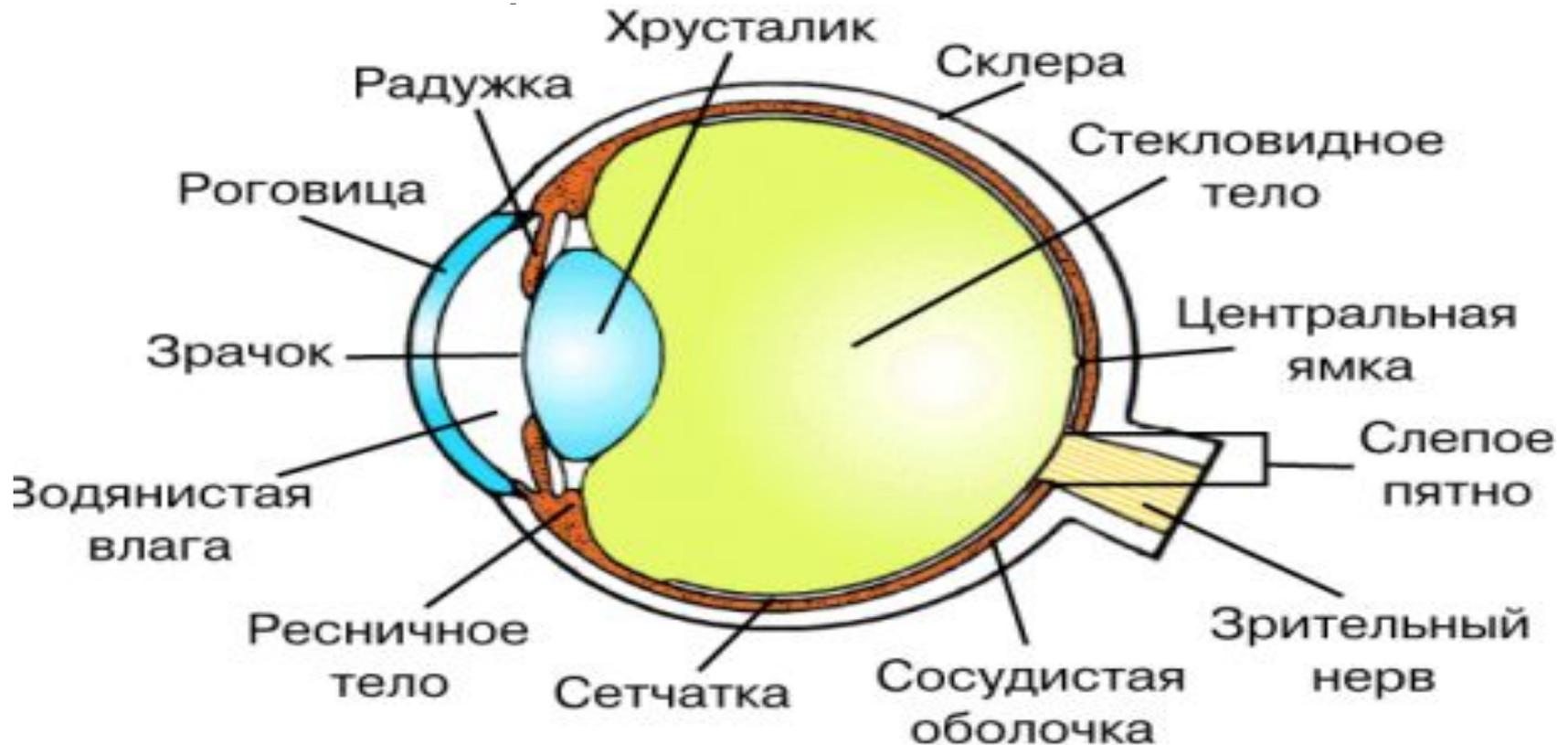
из подобия треугольников следует:

$$\begin{cases} \frac{h}{d} = \frac{h'}{d'} \\ \frac{h}{f} = \frac{h'}{f-d'} \end{cases} \Rightarrow \boxed{\frac{1}{d} - \frac{1}{d'} = -\frac{1}{f}}$$

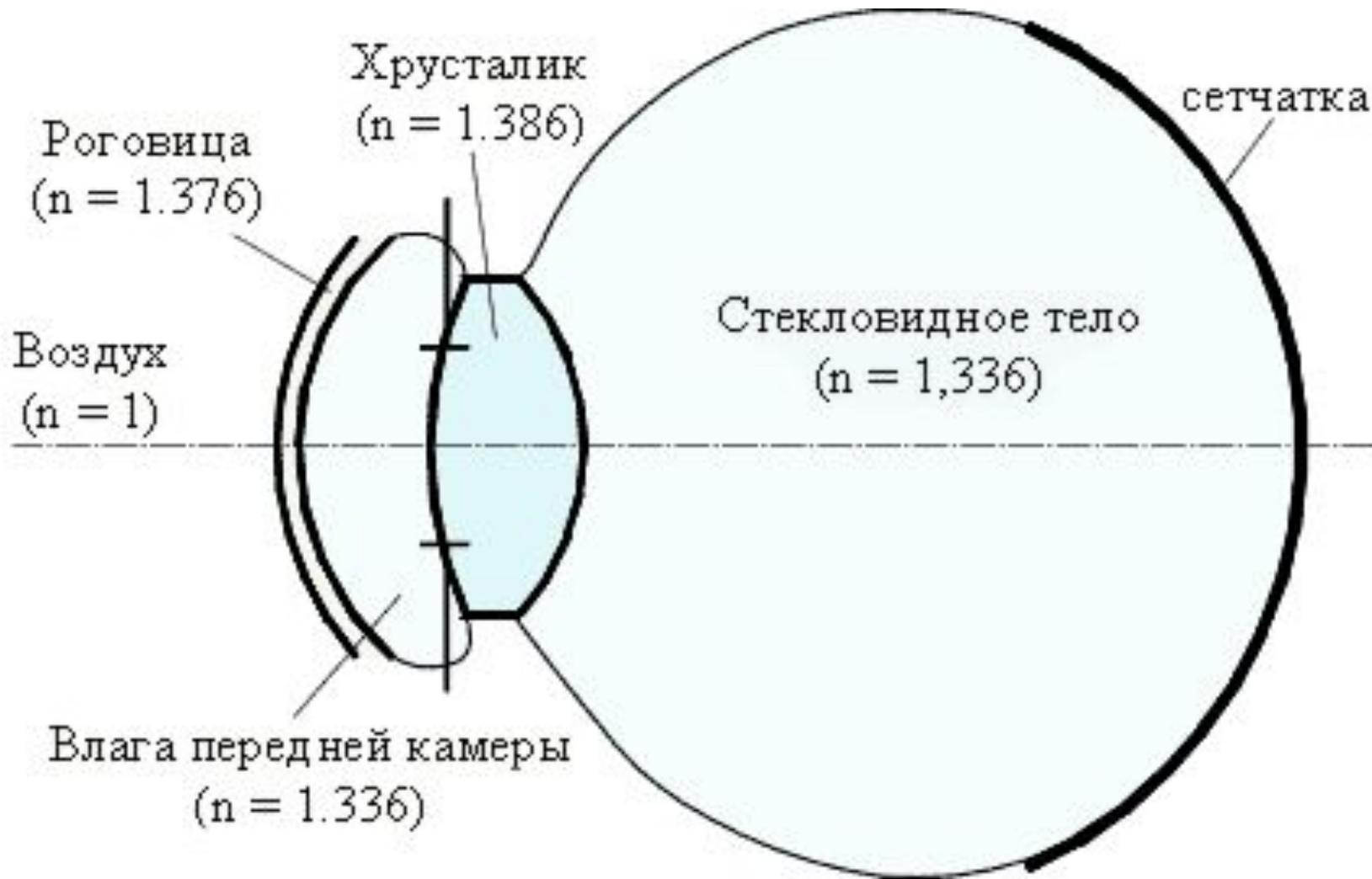
# Ход лучей в световом микроскопе:



**Глаз человека имеет шарообразную форму. Диаметр глазного яблока около 2,5 см. Снаружи глаз покрыт плотной непрозрачной оболочкой – склерой. Передняя часть склеры переходит в прозрачную роговую оболочку – роговицу, которая действует как собирающая линза и обеспечивает**

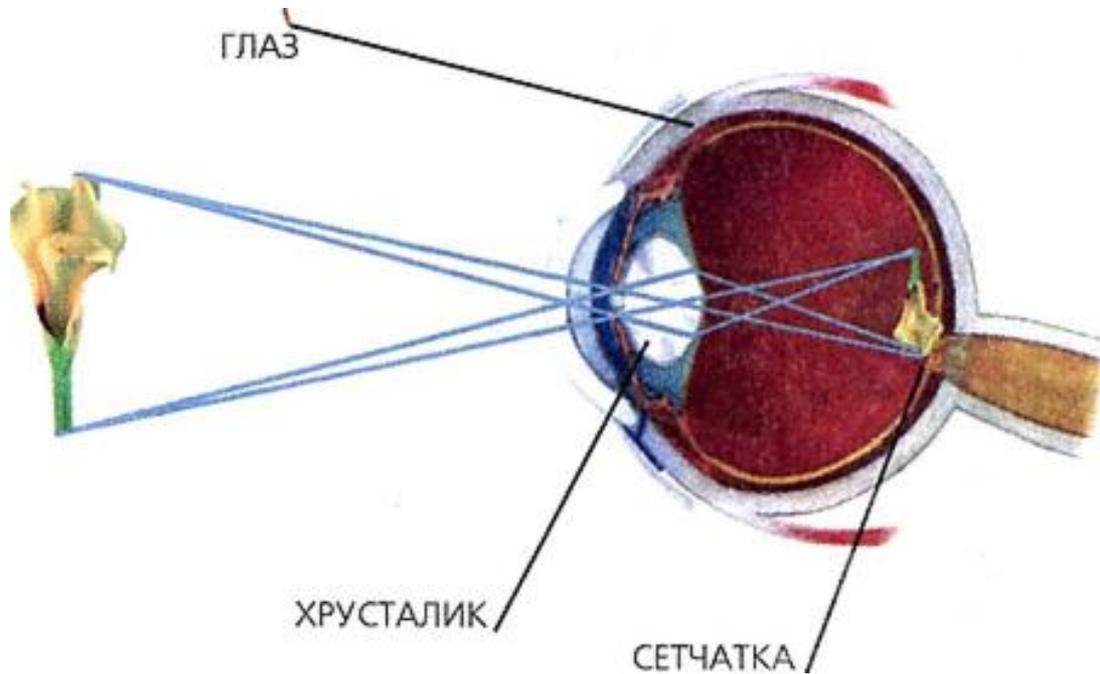


# Оптическая система глаза



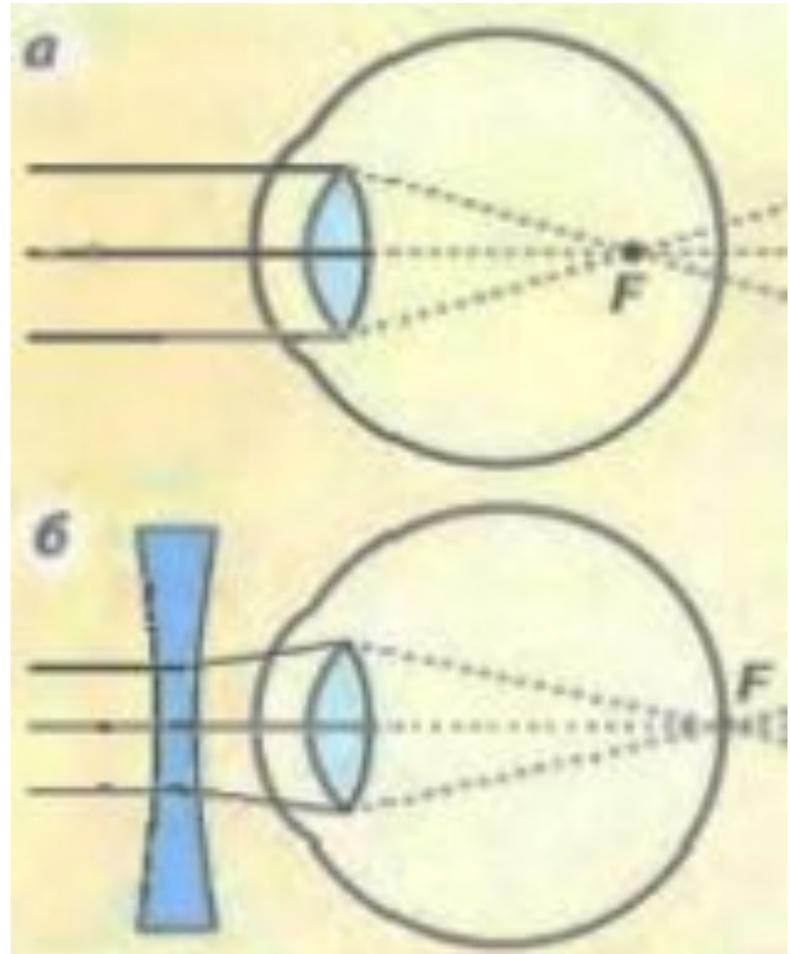
# Механизм работы оптической системы глаза

Отраженные от предмета лучи света проходят через оптическую систему глаза и создают обратное и уменьшенное изображение на сетчатке (мозг «переворачивает» обратное изображение, и оно воспринимается как прямое).



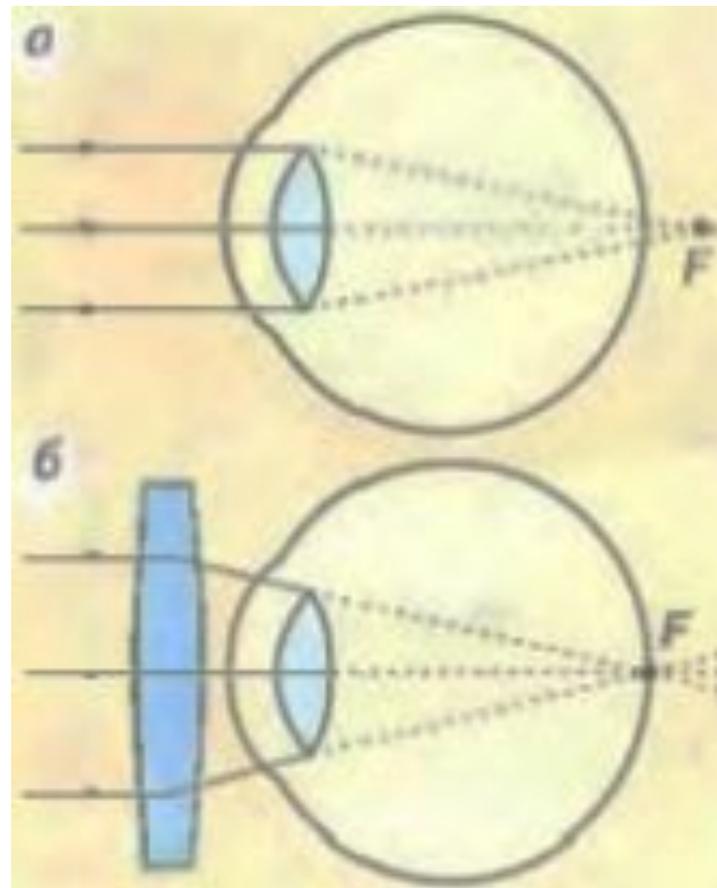
# Миопия

**Миопия** – данное состояние часто называют близорукостью. Она возникает, когда параллельные лучи света, попадающие в глаз, фокусируются перед сетчаткой. Для получения четкого изображения перед роговицей необходимо поместить вогнутую корригирующую линзу.



# Гиперметропия

Гиперметропия – это состояние обычно называют дальнозоркостью. Оно возникает тогда, когда параллельные лучи света, попадающие в глаз, фокусируются за сетчаткой. Для того чтобы добиться четкого изображения при этом заболевании, требуется выпуклая увеличительная линза.



Спасибо за  
внимание!