

# БИОФИЗИКА

ЛЕЖНЕВА НИНА ВЯЧЕСЛАВОВНА

К.Т.Н., Д.П.Н., профессор

[Legneva\\_nv@mail.ru](mailto:Legneva_nv@mail.ru)



## Волновая оптика

### Развитие представлений о природе света

Первые представления о природе света возникли у древних греков и египтян. По мере изобретения и совершенствования различных оптических приборов (параболических зеркал, микроскопа, зрительной трубы) эти представления развивались и трансформировались. В конце XVII века возникли две теории света: **корпускулярная** (И. Ньютон) и **волновая** (Р. Гук и Х. Гюйгенс).





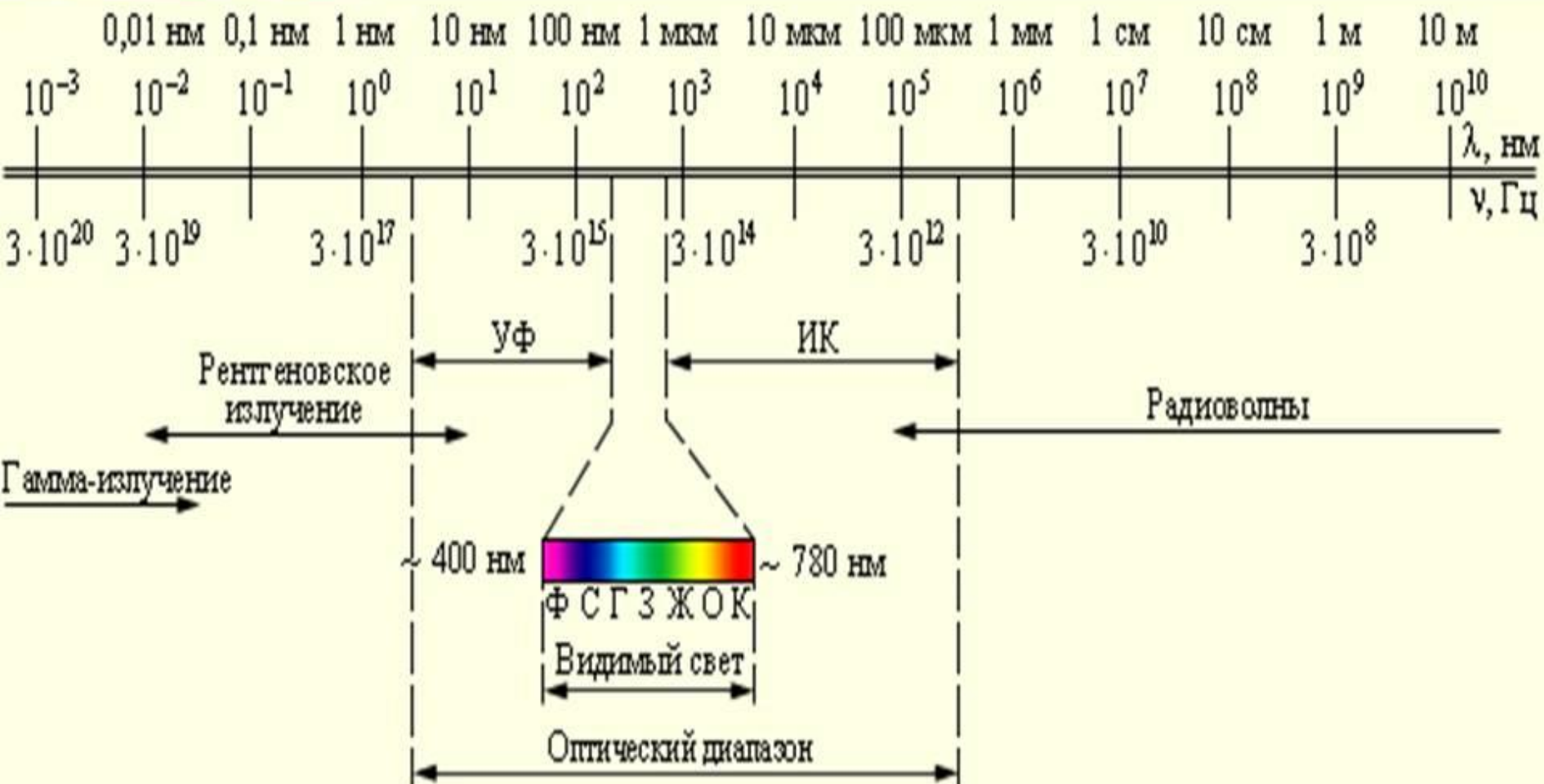
- В 60-е годы XIX века Максвеллом были установлены общие законы электромагнитного поля, которые привели его к заключению, что свет – это электромагнитные волны.
- Электромагнитная природа света получила признание после опытов Г. Герца (1887–1888 гг.) по исследованию электромагнитных волн.

- По своим физическим свойствам свет принципиально неотличим от электромагнитного излучения других диапазонов – различные участки спектра отличаются друг от друга только **длиной волны  $\lambda$**  и **частотой  $\nu$** .





# Шкала электромагнитных волн. Границы между различными диапазонами условны



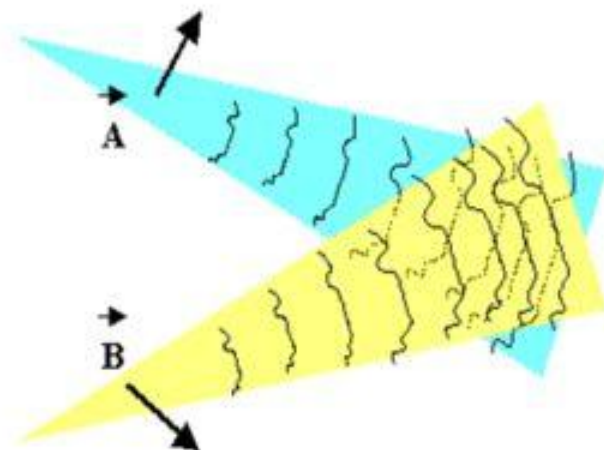


- Электромагнитная теория света позволила объяснить многие оптические явления, такие как **интерференция, дифракция, поляризация** и т. д. Однако, эта теория не завершила понимание природы света. Уже в начале XX века выяснилось, что эта теория недостаточна для истолкования явлений атомного масштаба, возникающих при взаимодействии света с веществом. Для объяснения таких явлений, как излучение черного тела, фотоэффект и др. потребовалось введение квантовых представлений
- Наука вновь вернулась к идее корпускул – **световых квантов**. Тот факт, что свет в одних опытах обнаруживает волновые свойства, а в других – корпускулярные, означает, что свет имеет сложную двойственную природу, которую принято характеризовать термином **корпускулярно-волновой дуализм**.

# Интерференция света

- это явление сложения двух волн, вследствие которого наблюдается устойчивая во времени картина усиления или ослабления результирующих световых колебаний в различных точках пространства.

- Для образования устойчивой картины интерференции необходимы **когерентные источники света**. Это источники имеющие одинаковую частоту или постоянную разность фаз их колебаний.

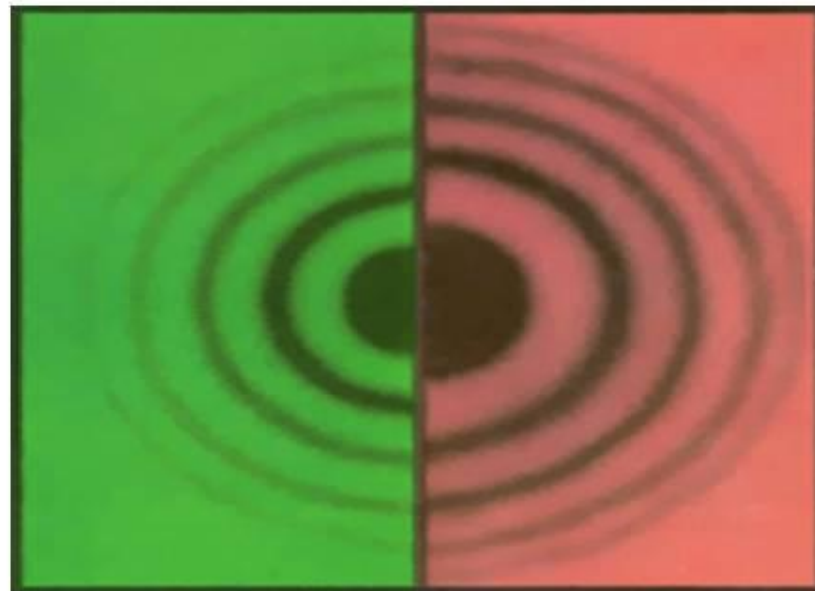




Наблюдение интерференции света в лабораторных условиях принадлежит И. Ньютону. Он наблюдал интерференционную картину, возникающую при отражении света в тонкой воздушной прослойке между плоской стеклянной пластиной и плосковыпуклой линзой большого радиуса кривизны. Интерференционная картина имела вид концентрических колец, получивших название ***колец Ньютона***



# Кольца Ньютона в зеленом и красном свете





## Опыт Юнга

Опыт Юнга (эксперимент на двух щелях), проведённый Томасом Юнгом),

проведённый Томасом Юнгом

стал экспериментальным

доказательством волновой

теории света), проведённый

Томасом Юнгом стал

экспериментальным

доказательством волновой

теории света. Результаты

эксперимента были

1773 1773-

1829 1773- 1829) -

английский

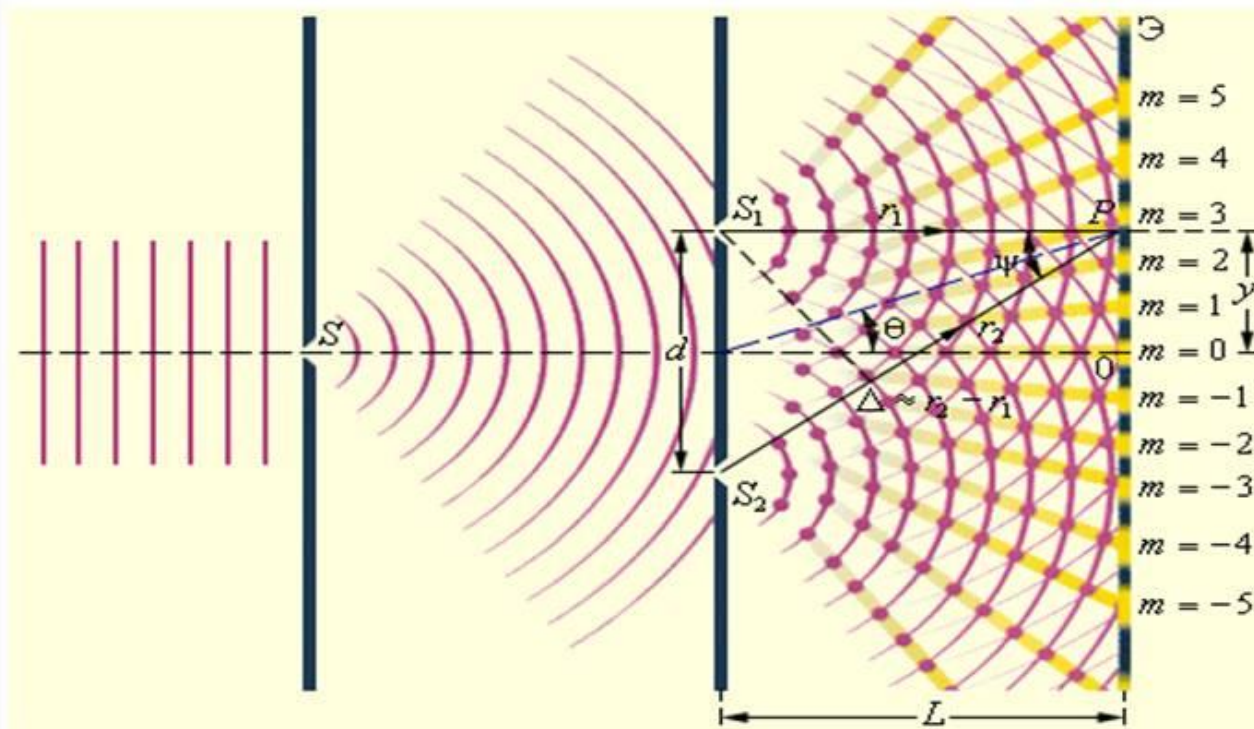
физик 1773- 1829) -

английский физик,


механик 1773-

1829)

физик



В опыте пучок света В опыте пучок света направляется на непрозрачный экран-ширму с двумя параллельными прорезями, позади которого устанавливается проекционный экран

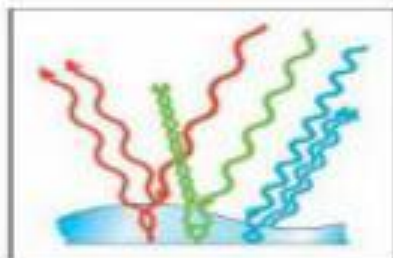
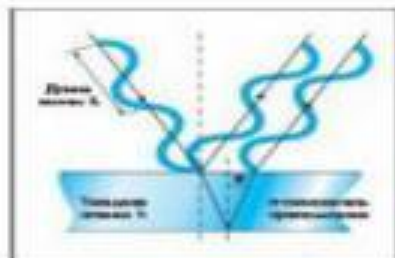
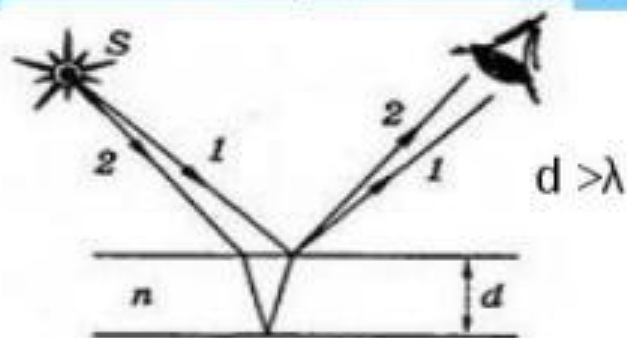
- 
- Юнг был первым, кто понял, что нельзя наблюдать интерференцию при сложении волн от двух независимых источников. Поэтому в его опыте щели  $S_1$  и  $S_2$ , которые можно рассматривать в соответствии с принципом Гюйгенса как источники вторичных волн, освещались светом одного источника  $S$ .

Когерентность — скоррелированность (согласованность) нескольких колебательных или волновых процессов во времени, проявляющаяся при их сложении

# Интерференция в тонких плёнках

**Причина:** отражение от внешней поверхности плёнки, а другая – от внутренней.

**Тонкая плёнка** – мыльные пузыри, бензиново-масляная плёнка на поверхности воды, крылья насекомых и т. д.



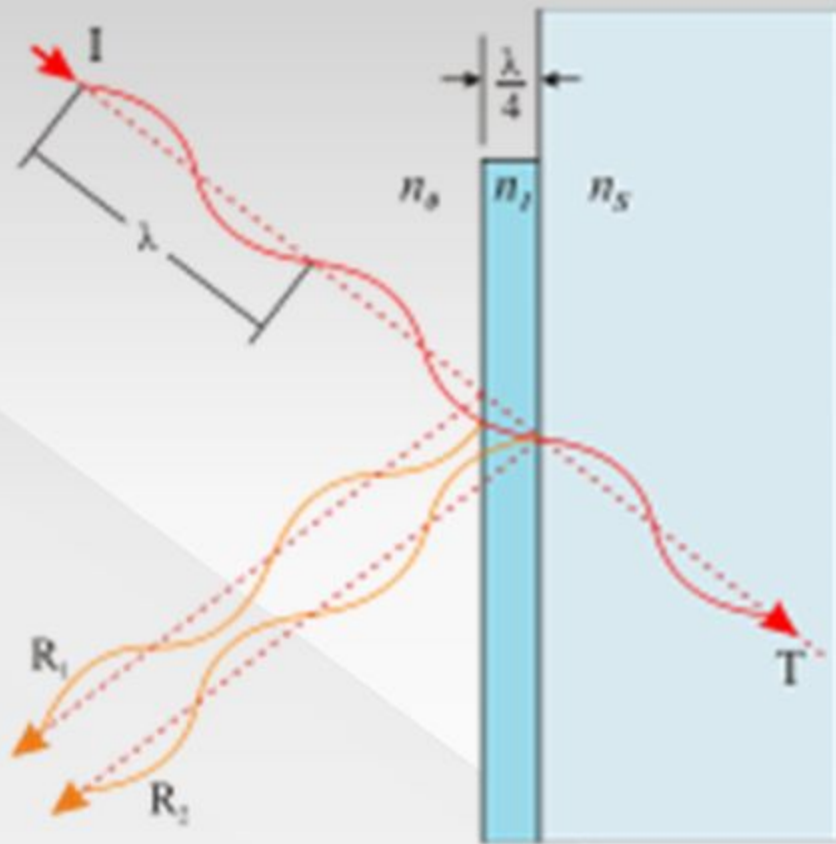
Различные цвета тонких пленок — результат интерференции двух волн, отражающихся от нижней и верхней поверхностей пленки.

Интерференция в крыльях насекомых

# Просветление оптики

$$d = \frac{1}{4} \cdot v_1 \cdot T = \frac{\lambda_1}{4}$$

- **Просветление оптики** — уменьшение отражения света от поверхности линзы в результате нанесения на нее специальной пленки
- Требуемая **толщина покрытия**
- Просветляющие плёнки уменьшают светорассеяние и отражение падающего света от поверхности оптического элемента, соответственно улучшая светопропускание системы и контраст оптического изображения.



# Интерферометр

Интерферометр — измерительный прибор — измерительный прибор, действие которого основано на явлении



# Принцип действия интерферометра



Принцип действия интерферометра заключается в следующем: пучок электромагнитного излучения Принцип действия интерферометра заключается в следующем: пучок электромагнитного излучения с помощью того или иного устройства пространственно разделяется на два или большее количество когерентных пучков. Каждый из пучков проходит различные оптические пути и направляется на экран, создавая интерференционную картину, по которой можно установить разность фаз интерферирующих пучков в



*Характерным проявлением  
волновых свойств света  
является **дифракция**  
света —*

*отклонение от  
прямолинейного  
распространения*

*на резких неоднородностях  
среды*



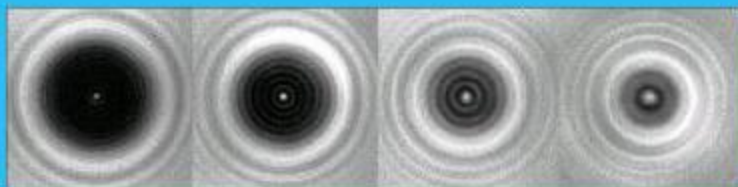
# Принцип Гюйгенса-Френеля



Волновая поверхность в любой момент времени представляет собой не просто огибающую вторичных волн, а результат их **интерференции**

Френель построил количественную теорию дифракции, позволяющую рассчитывать дифракционную картину, возникающую при огибании светом любых препятствий

# Дифракционные картины от различных препятствий

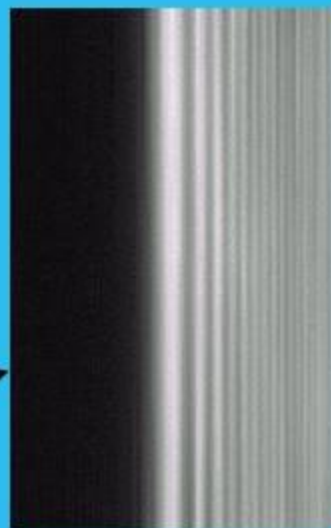


Дифракция на дисках различного диаметра.  
В центра т.н. пятно Пуассона

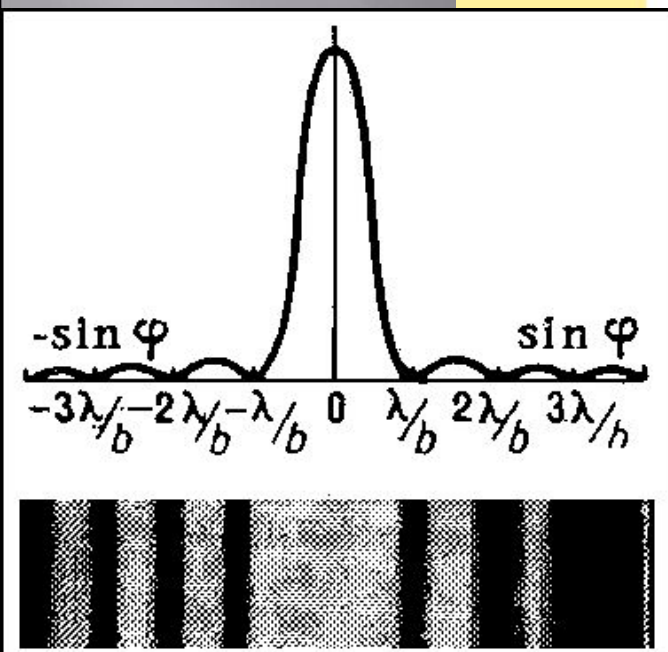


Дифракция на круглом отверстии по мере приближения к экрану с отверстием

Дифракция на прямолинейном крае

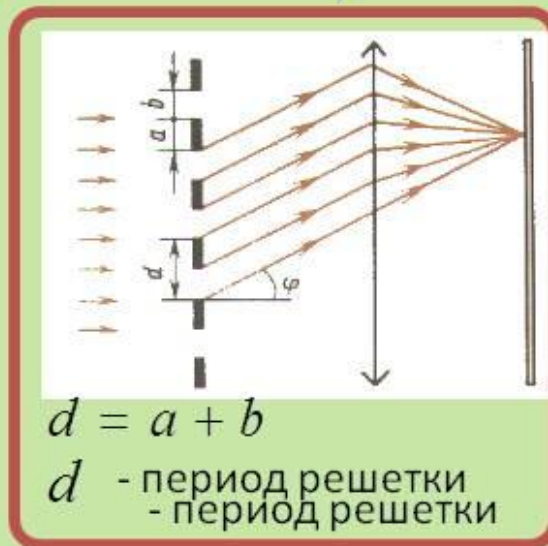
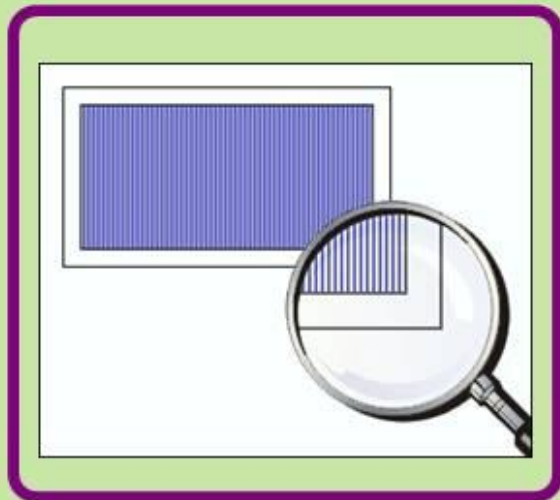


# Дифракция света на узкой щели



# Дифракционная решетка

**Дифракционная решетка** – совокупность большого числа очень узких щелей, разделенных непрозрачными промежутками



$$d = a + b$$

$d$  - период решетки  
- период решетки

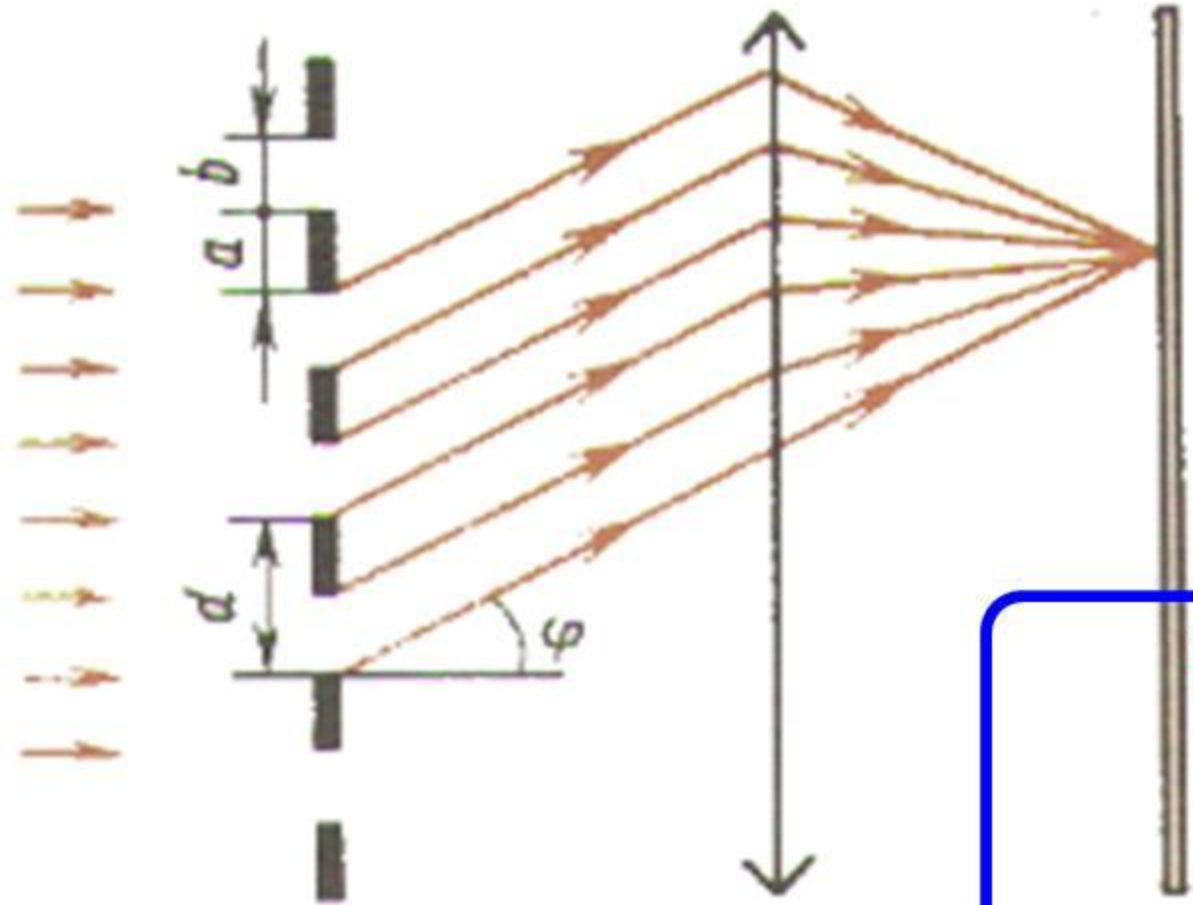
Условие max:

$$d \cdot \sin \varphi = \pm k \lambda$$

$\lambda$  - длина волны

$\varphi$  - угол отклонения  
световых лучей  
вследствие дифракции

$k$  - порядок спектра



Условие max:

$$d \cdot \sin \varphi = \pm k \lambda$$

$\lambda$  - длина волны

$$d = a + b$$

$d$  - период решетки

$\varphi$  - угол отклонения световых лучей вследствие дифракции

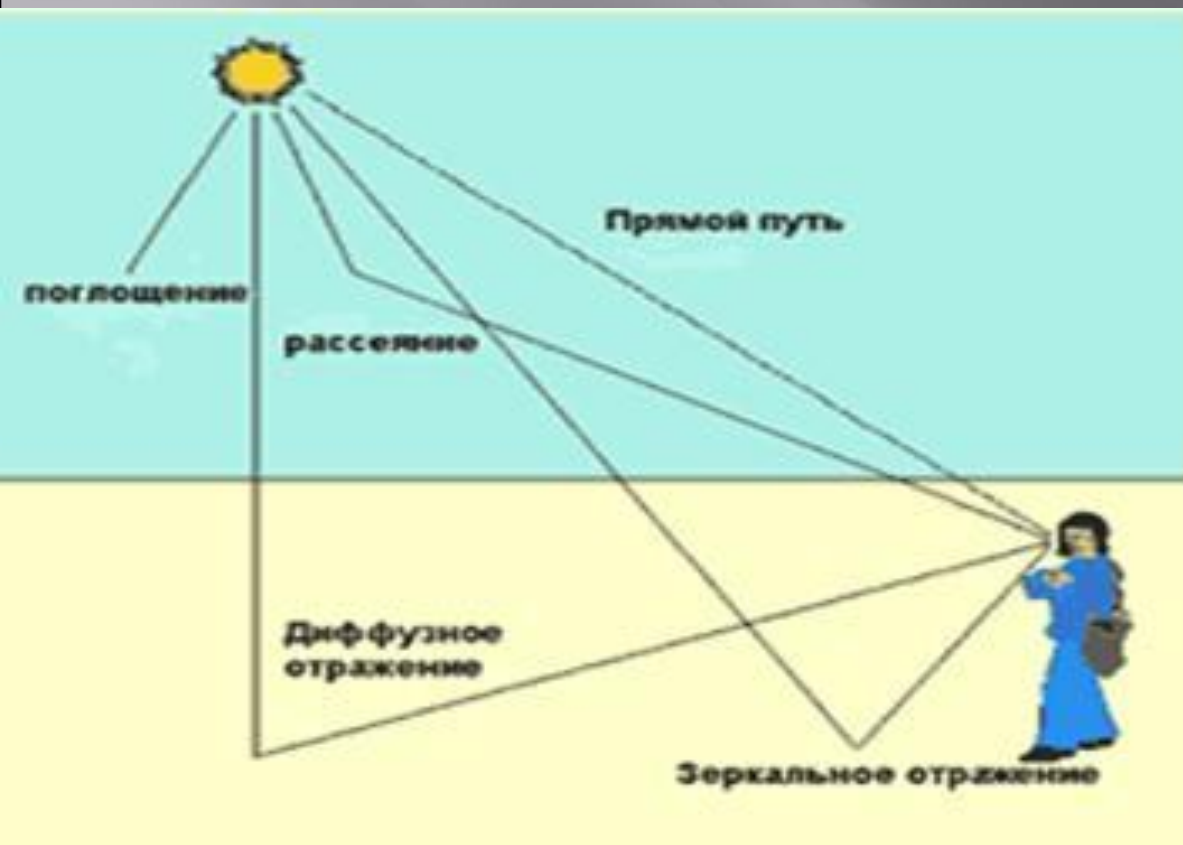
$k$  - порядок спектра

# Действие волн оптического диапазона на биологические объекты

**Свет – важнейший регулятор жизненно важных функций организма, таких, как обмен веществ, размножение, активность защитных механизмов и др.**

Видимый свет значительно влияет на железы внутренней секреции, но действие это происходит не непосредственно, а от сетчатки через зрительный нерв, головной мозг и гипофиз.

Свет, попадая на кожу, нагревает ее и раздражает кожные рецепторы, которые вызывают рефлекторное действие многих других органов., так как он содержит ИК и УФ излучения.



Солнечный свет – это сильнодействующий биологический фактор, более эффективный, чем свет, создаваемый искусственными источниками



# Фотометрия

**ФОТОМЕТРИЯ** (греч. photós — свет и metréo — измеряю)

раздел **ОПТИКИ** в котором изучают способы измерения световой энергии.

В основе фотометрии как науки лежит разработанная теория светового поля

**Световое поле** — область пространства, заполненная светом.



# Энергетические фотометрические величины

Лучистая энергия –  $W_e$



Лучистый поток –  $F_e$



Световой поток –  $F$



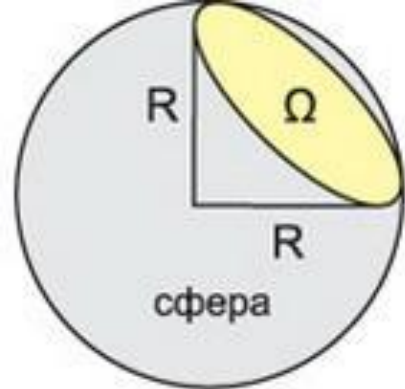
Сила света –  $I$



Освещенность –  $E$



Яркость –  $L$



### Телесный угол $\Omega$

Единица измерения: стерадиан (sr)  
 $= S/R^2$

Стерадиан (sr) – телесный угол (конус) с центром в сфере радиуса  $R$ , который вырезает из сферы поверхность площадью  $R^2$



### Освещенность $E$

Единица измерения: люкс (lx)  
 $E = F/S$

Освещенность - это отношение светового потока, падающего на поверхность, к площади поверхности

1 люкс = 1 люмен / м²  
 1 lx = 1 lm / м²

$F = I \times \Omega$   
 $F$  - световой поток (люмен, lm)  
 $I$  - сила света (кандела, cd)  
 $\Omega$  - телесный угол (стерадиан, sr)

### Световой поток $F$

Единица измерения: люмен (lm)

$$F = I \times \Omega$$

Один люмен – это световой поток, испускаемый точечным источником с силой света одна кандела в телесный угол один стерадиан.

1 лм = 1 кд x ср

1 lm = 1 cd x 1 sr

$L = (I/S) \times \cos \alpha$   
 $L$  - яркость (cd/m²)  
 $I$  - сила света (кандела, cd)  
 $S$  - площадь поверхности (м²)

Diagram illustrating the relationship between surface area  $S$ , projected area  $S \cos \alpha$ , and luminance  $L$ . The angle  $\alpha$  is shown between the surface normal and the viewing direction.

### Яркость $L$

Единица измерения: нит

$$L = (I/S) \times \cos \alpha$$

Яркость – это отношение силы света элемента поверхности к площади его проекции, перпендикулярной рассматриваемому направлению

1 нит = 1 кд / 1 м²

$I = F/\Omega$   
 $I$  - сила света (кандела, cd)  
 $\Omega$  - телесный угол (стерадиан, sr)  
 $F$  - световой поток (люмен, lm)

Diagram showing a light source emitting light into a cone. The luminous intensity  $I$  is defined as  $I = F/\Omega$ . The luminous flux  $F$  is labeled as "световой поток". A question mark is placed between  $I$  and  $F$ .

### Сила света $I$

Единица измерения: кандела (cd)

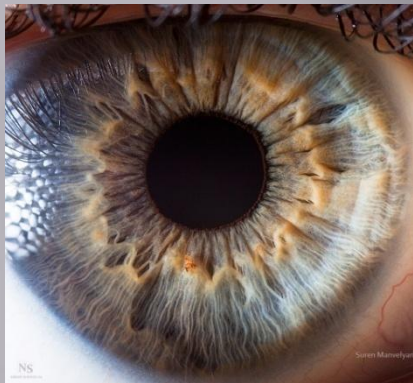
$$I = F/\Omega$$

Сила света – это отношение светового потока, направленного от источника в пределах телесного угла, охватывающего это направление, к этому углу

1 кд = 1 люмен / 1 стерадиан

1 cd = 1 lm / 1 sr

# Световые фотометрические величины

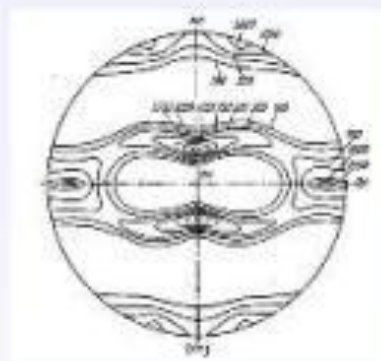


От энергетических световые величины отличаются тем, что характеризуют свет с учетом его способности вызывать у человека зрительные ощущения

Световые величины обозначаются теми же буквами, что и энергетические величины, из которых они образованы, но снабжаются при этом индексом «v», например,  $X_v$

# Рентгеноструктурный анализ

По дифракционной картине, даваемой рентгеновскими лучами при их прохождении сквозь кристаллы, удается установить порядок расположения атомов в пространстве – структуру кристаллов.



■ Образец стекла

■ Второй уровень

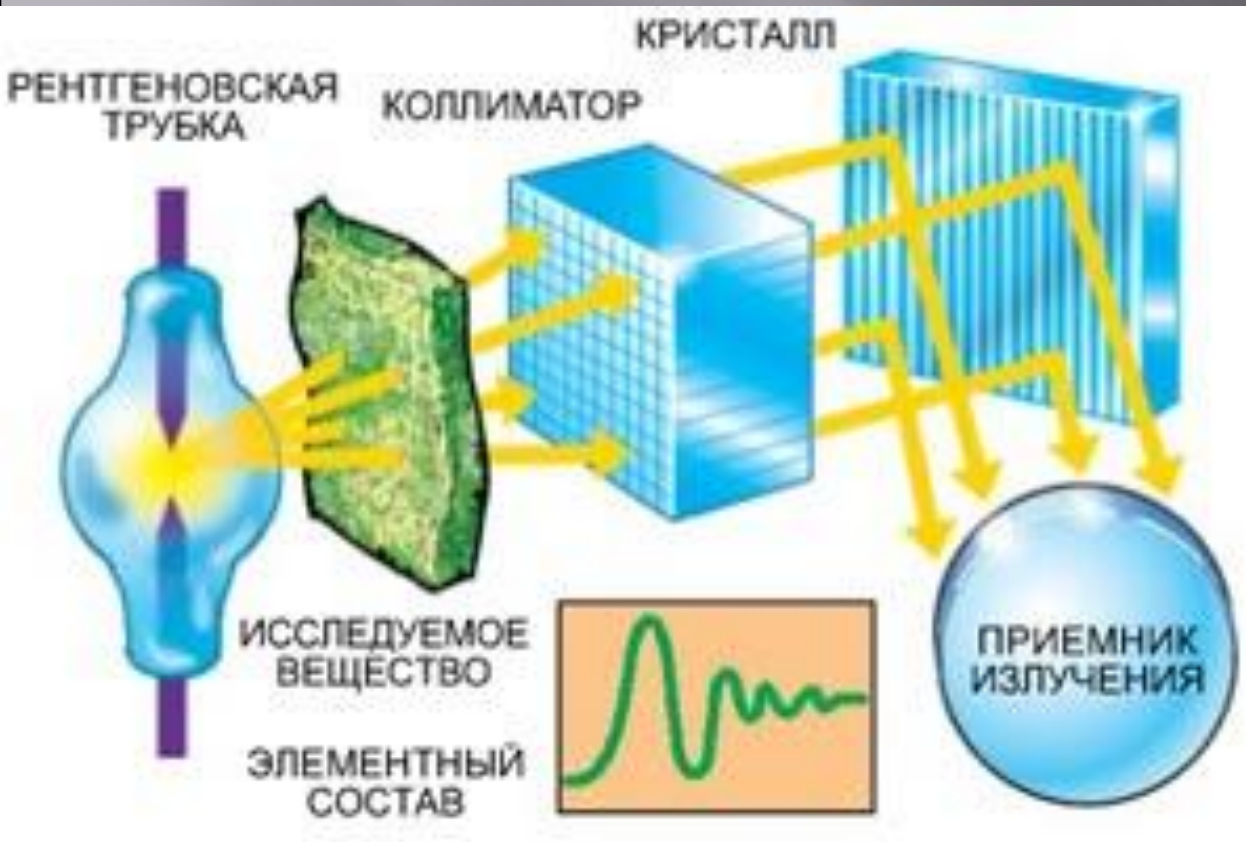
■ Третий уровень

■ Четвертый уровень

■ Пятый уровень

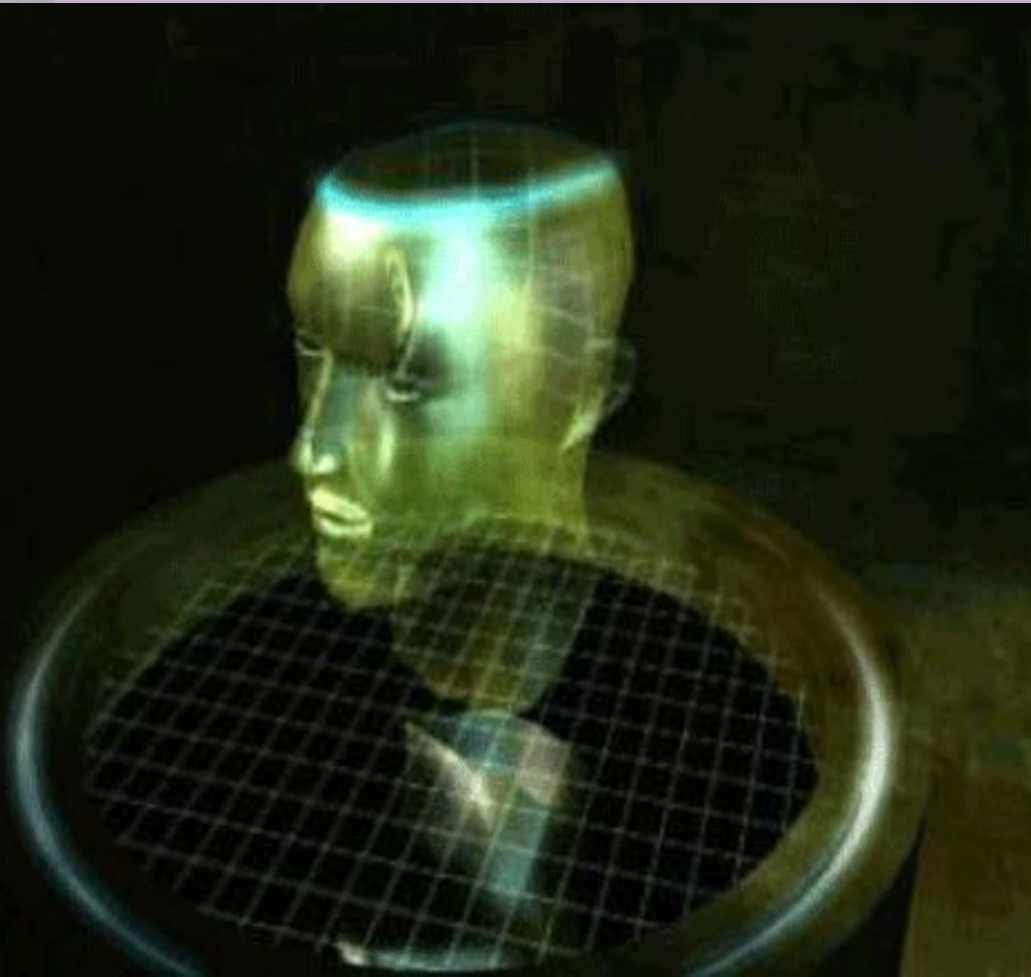


**Рентгеноструктурный анализ** — один из дифракционных методов — один из дифракционных методов исследования структуры вещества. В основе данного метода лежит явление дифракции — один из дифракционных методов



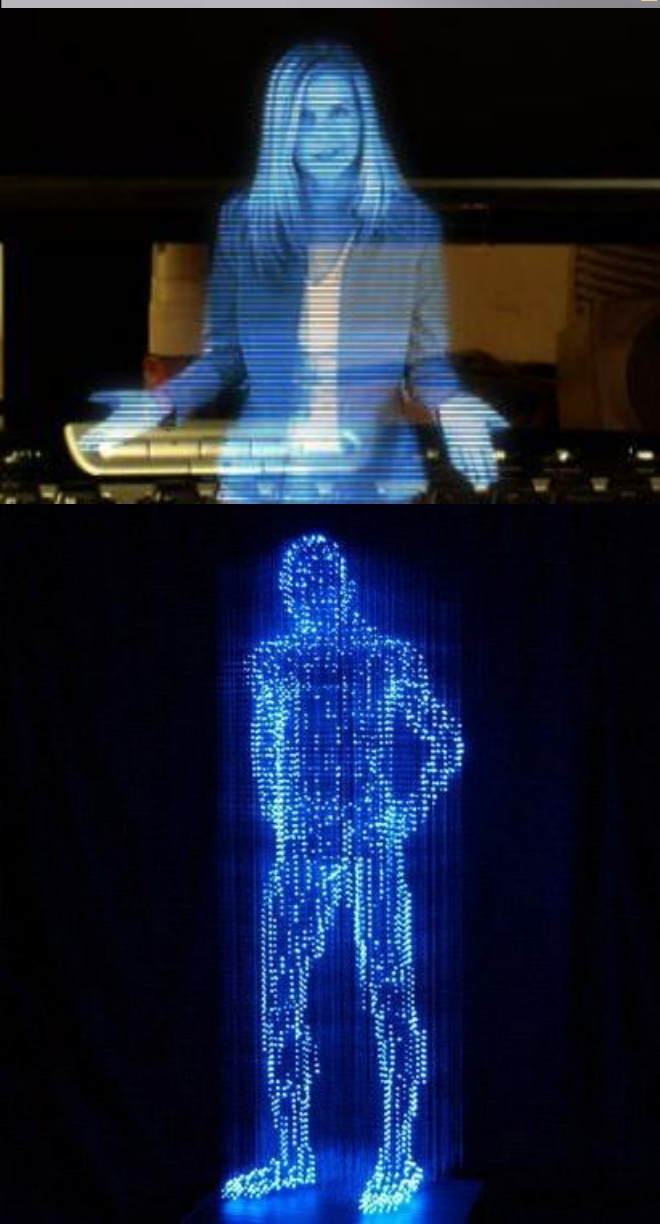
Оптический коллиматор — это устройство для получения пучков параллельных световых лучей.

Обычная фотография не позволяет полностью восстановить тот волновой фронт, который на ней был зарегистрирован



Голография (полная запись, в переводе с греческого — «весь, целый») позволяет устранить этот недостаток и записать полную информацию

# Голография



-это набор технологий для точной записи, воспроизведения и преформирования ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ-это набор технологий для точной записи, воспроизведения и преформирования волновых полей оптического электромагнитного излучения, при которых с помощью лазера регистрируются, а затем восстанавливаются



# Границы применимости геометрической ОПТИКИ

Дифракция устанавливает предел разрешающей способности любого оптического прибора

$$l < \frac{d^2}{\lambda}$$

Дифракция  
не видна,  
резкая тень

$$l > \frac{d^2}{\lambda}$$

Проявляются волновые  
свойства, изображение  
смазывается

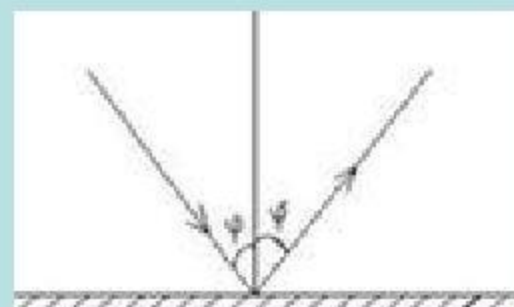
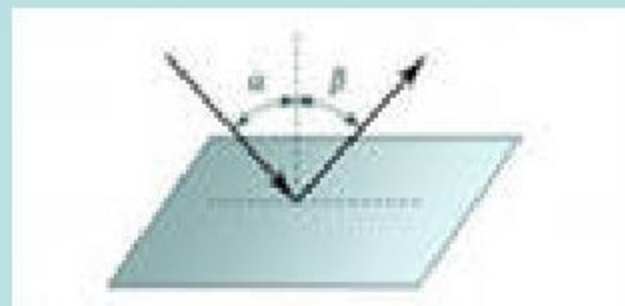
$l$  – расстояние до предмета,  $d$  – размер предмета

**• Элементы геометрической  
ОПТИКИ**

# Законы отражения и преломления света

## Закон отражения света:

1. Угол падения равен углу отражения.
2. Луч падающей волны, луч отраженной волны и перпендикуляр к границе раздела двух сред восстановленный в точке падения луча лежат в одной плоскости.



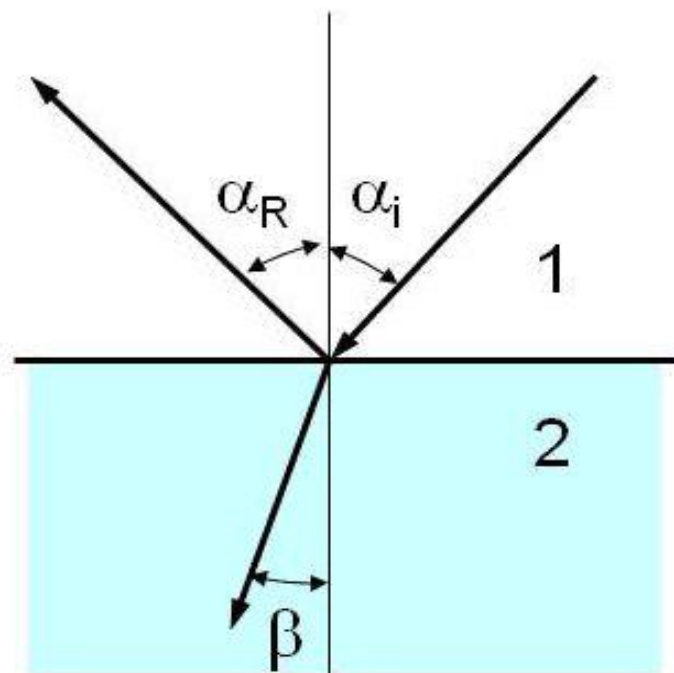
# Законы отражения и преломления света

## Закон преломления света

- Закон преломления описывается формулой:

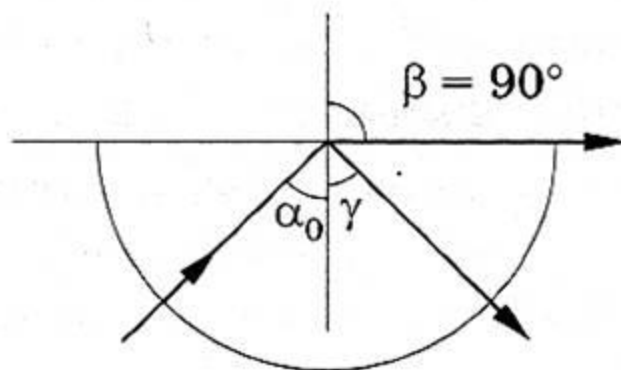
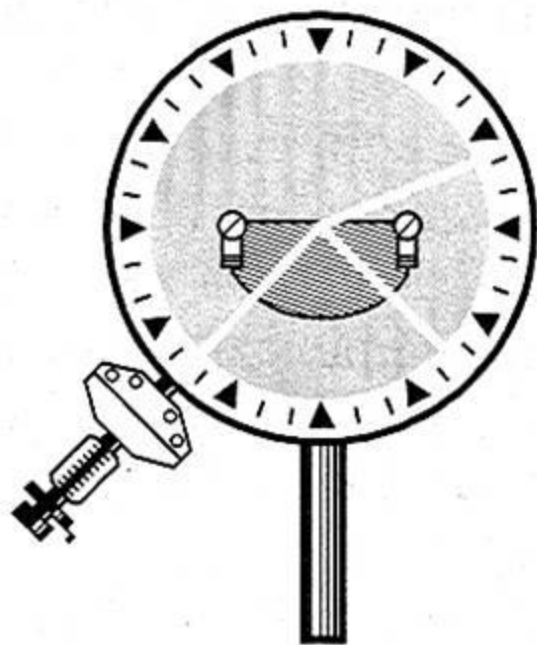
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} \quad (1)$$

где  $n_{21}$  – **относительный показатель преломления** второй среды относительно первой

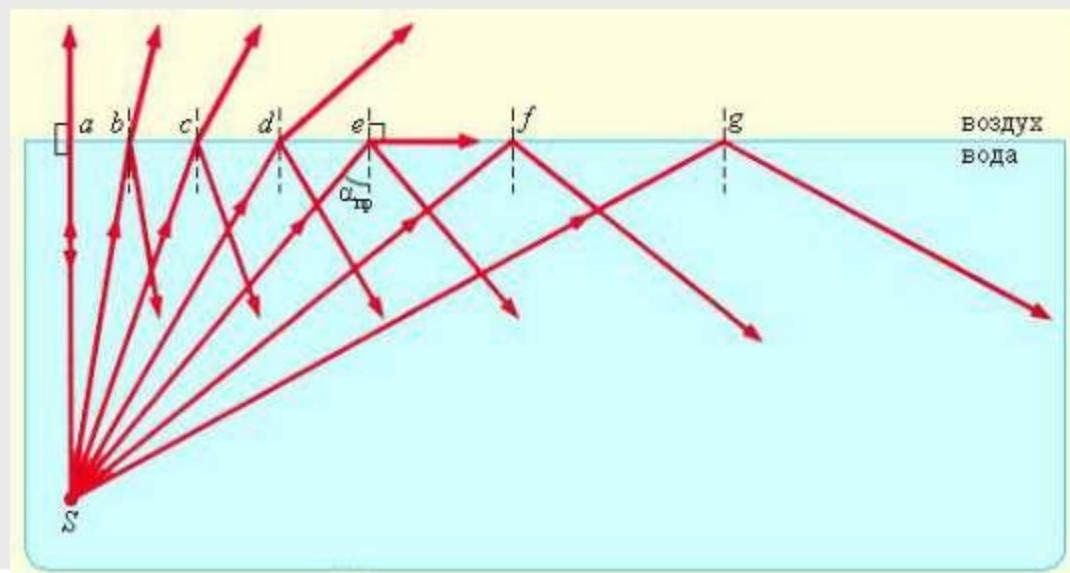


# Полное внутреннее отражение света

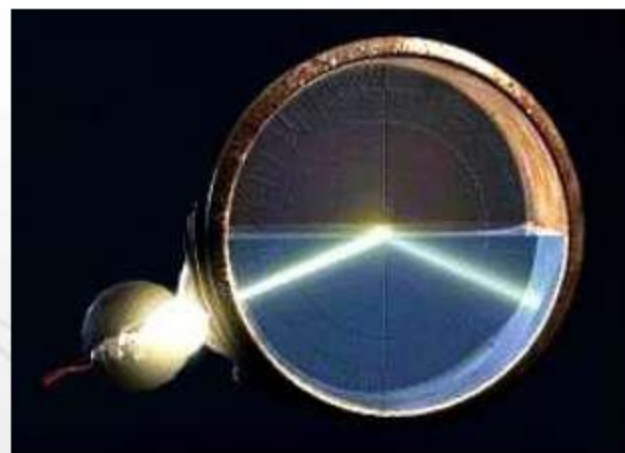
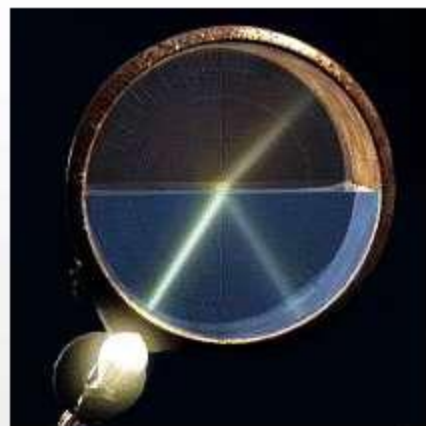
*это явление отражения света от оптически менее плотной среды при переходе из более плотной, при котором преломление отсутствует и свет возвращается в более плотную среду*



# В основе теории миражей лежит явление полного внутреннего отражения света на границе двух сред



$$\sin \alpha_{np} = \frac{n_{\text{возд}}}{n_{\text{воды}}}$$



# Рефрактометрия-

это метод исследования веществ, основанный на определении показателя преломления (рефракции). Рефрактометрия применяется для идентификации химических соединений, количественного и структурного анализа, определения физико-химических параметров веществ



# Оптическая система и устройство микроскопа



- **Линза**
  - оптически прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями



# Собирающие линзы



- Двояковыпуклая



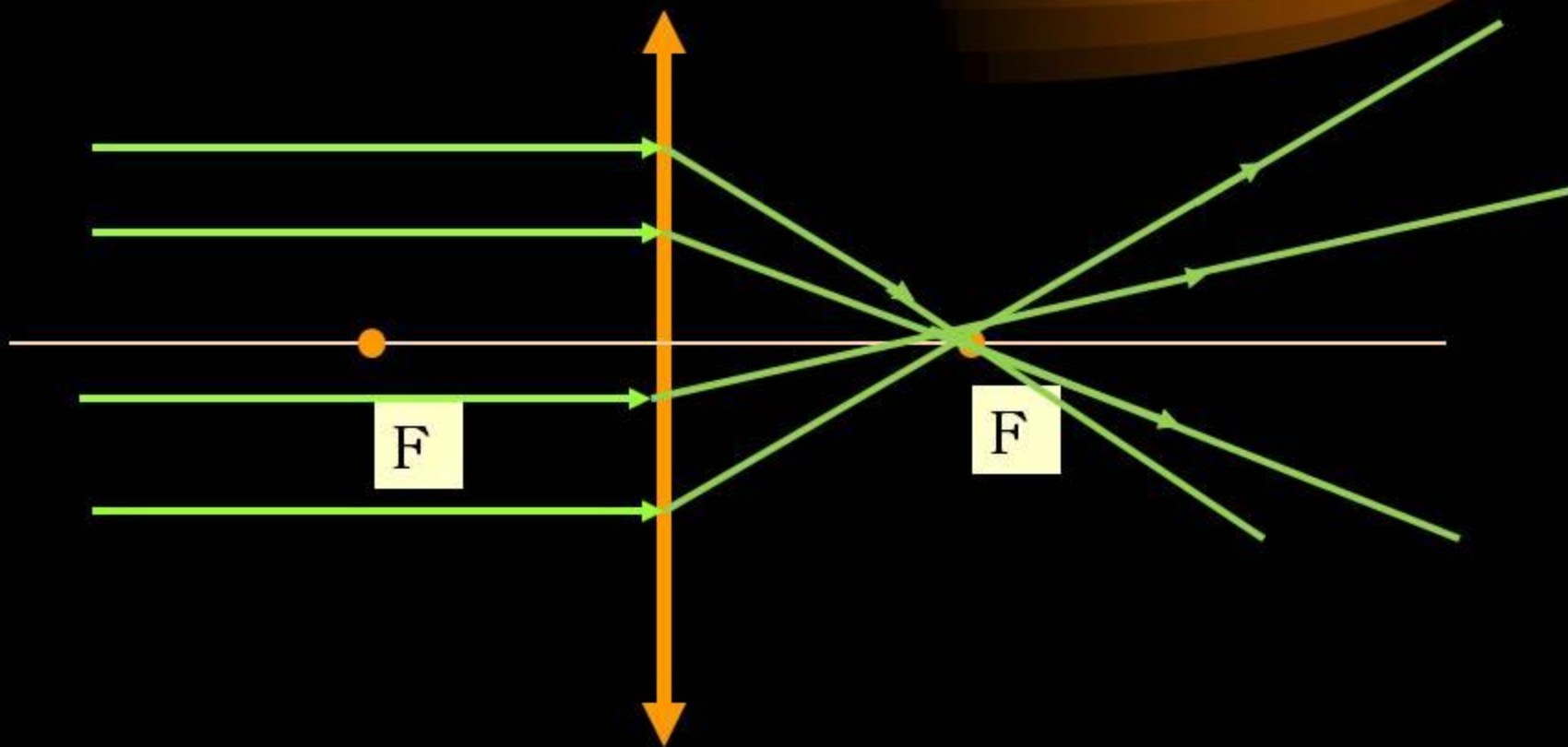
- Плосковыпуклая



- Вогнуто-выпуклая

**Линза, у которой  
середина толще,  
чем края,  
называется  
собирающей**

# *Ход лучей в собирающей линзе*



# Рассеивающие линзы



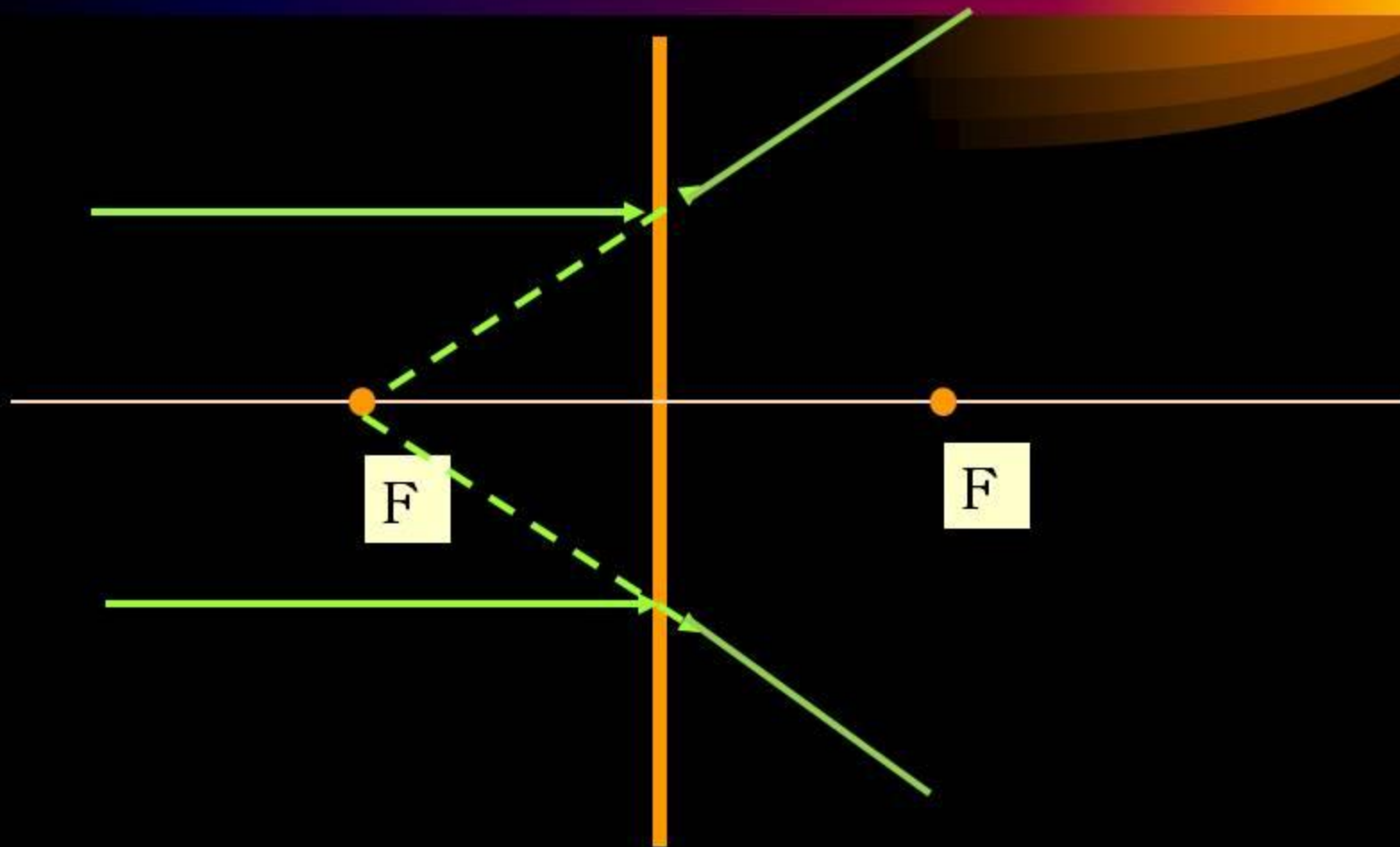
- Двояковогнутая

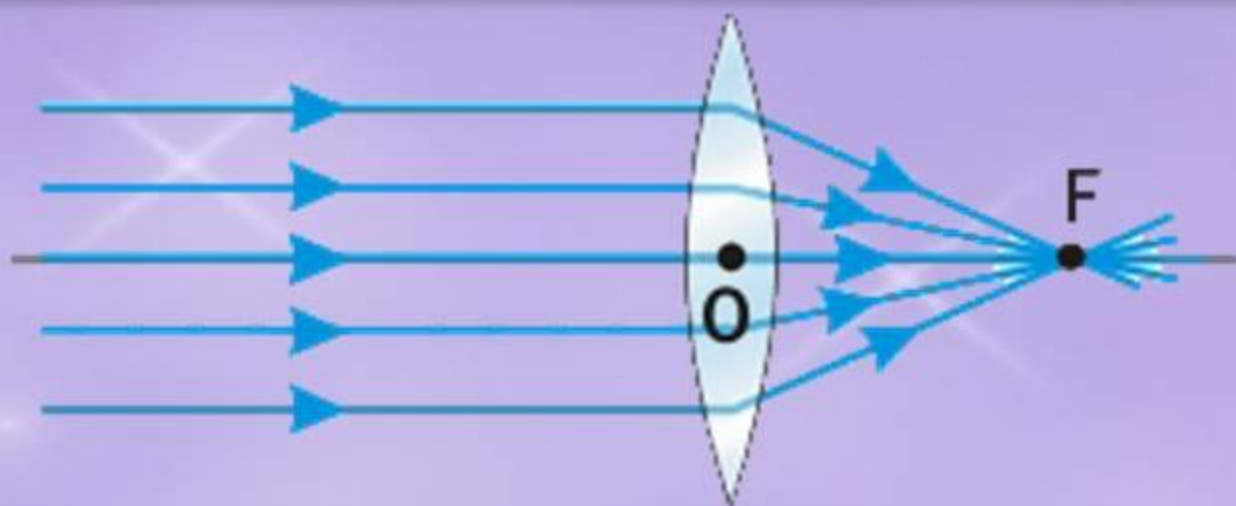
- Плосковогнутая

- Выпукло-вогнутая

**Линза, у которой  
середина тоньше,  
чем края, называется  
рассеивающей**

# *Ход лучей в рассеивающей линзе*

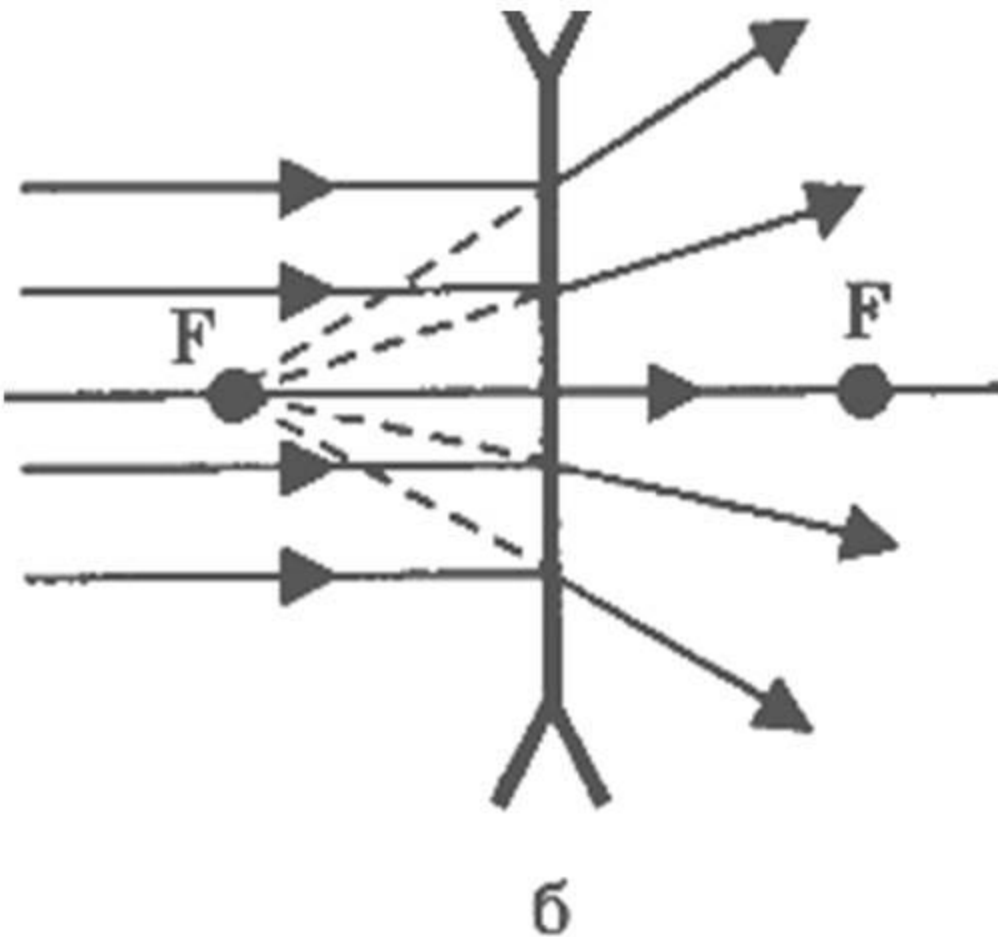




**Главный фокус** собирающей линзы (**F**) – точка на главной оптической оси, в которой собираются лучи, падающие параллельно главной оптической оси, после преломления их в линзе.

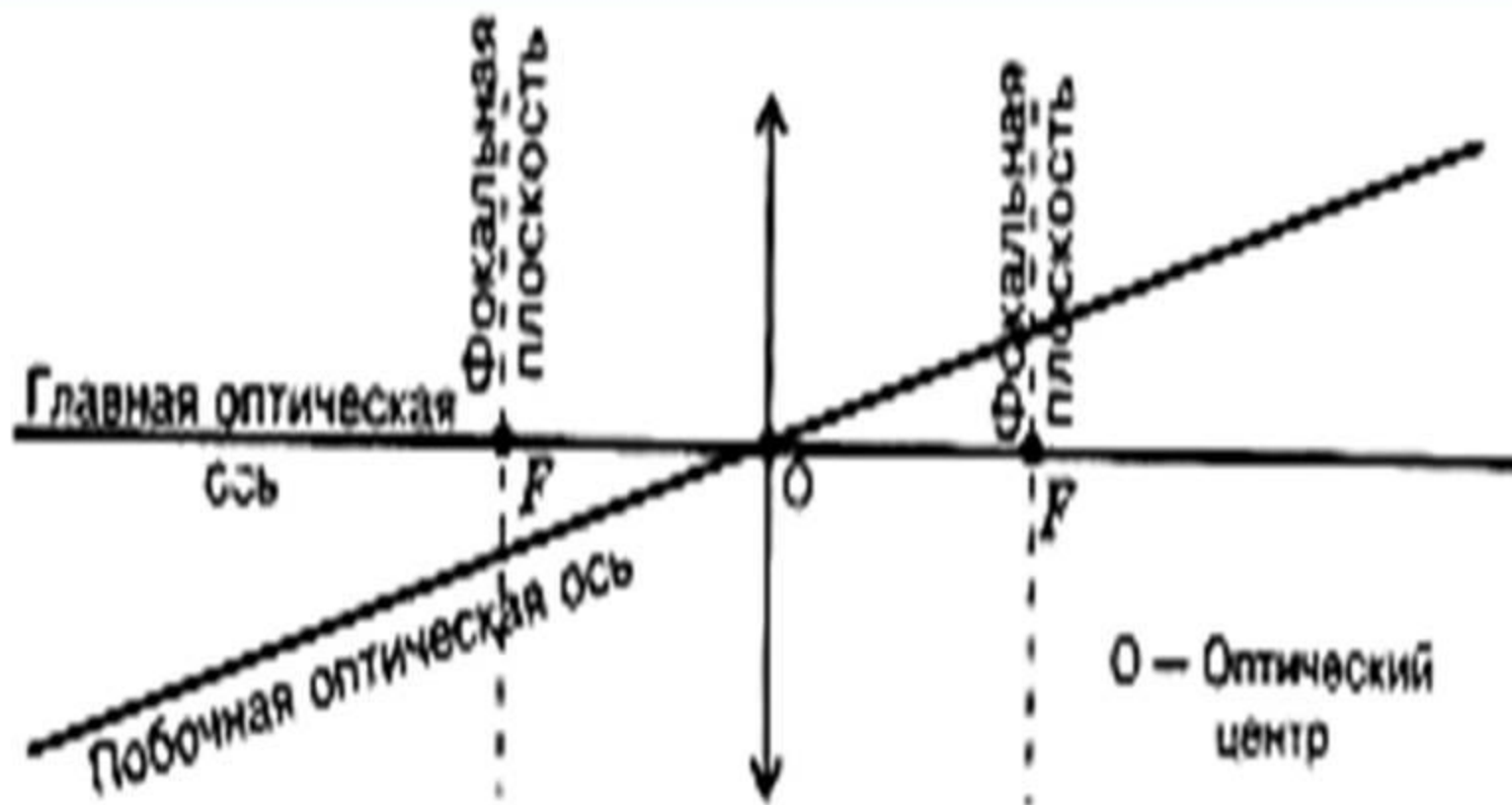
**Фокусное расстояние (OF)** – расстояние от главного фокуса до центра линзы (O). У собирающей линзы фокус действительный, потому – положительный.

**СИ: [F]=м (метр)**



- Пусть параллельный пучок лучей на вогнутую линзу и увидим, что лучи выйдут из линзы расходящимся пучком. Если такой пучок лучей попадет в глаза, то наблюдателю будет казаться, что они вышли из точки  $F$ . Эта точка называется – **мнимым фокусом**.
- Такую линзу называют **рассеивающей**.

# Основные обозначения в линзе

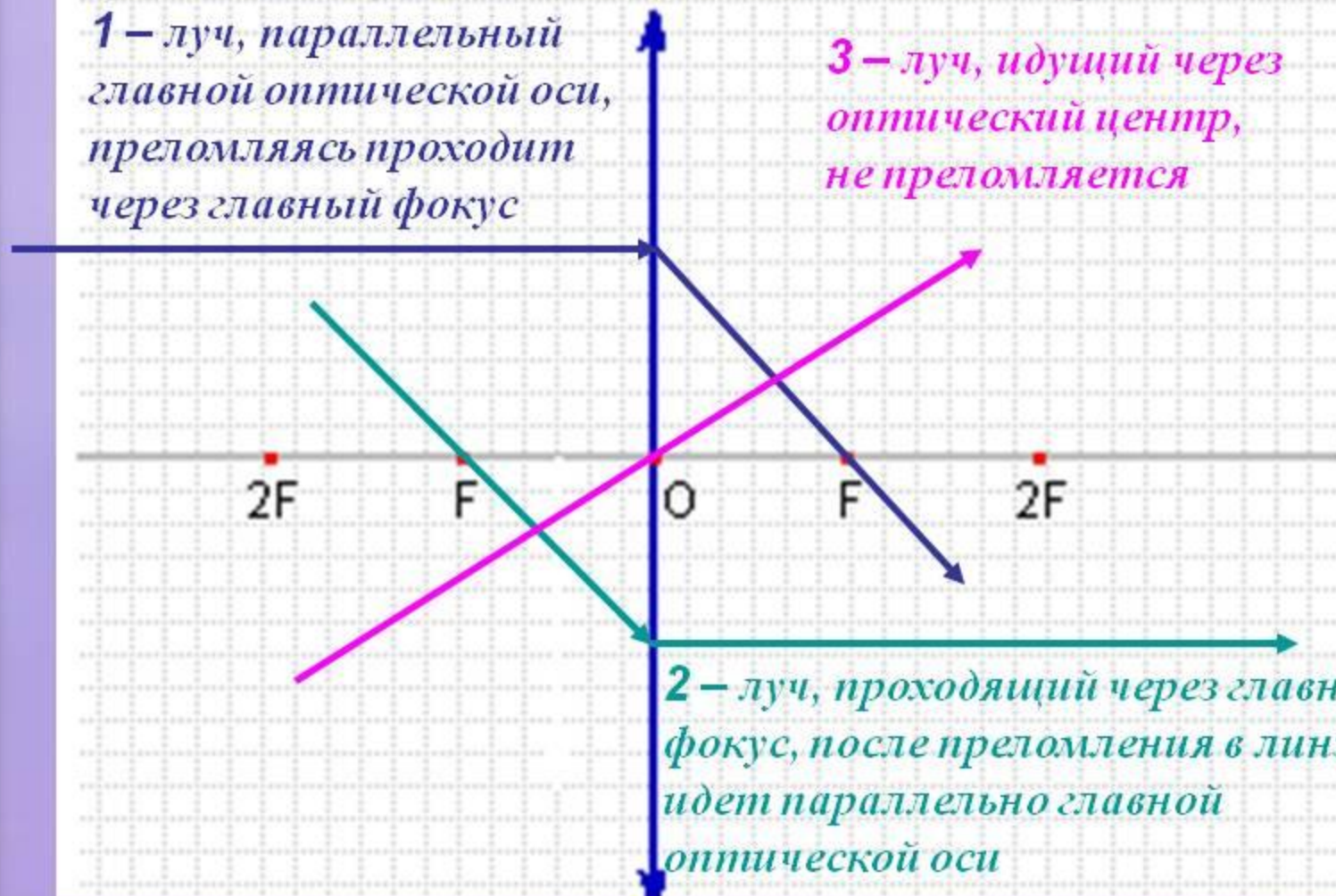


# Ход лучей

## в собирающей линзе:

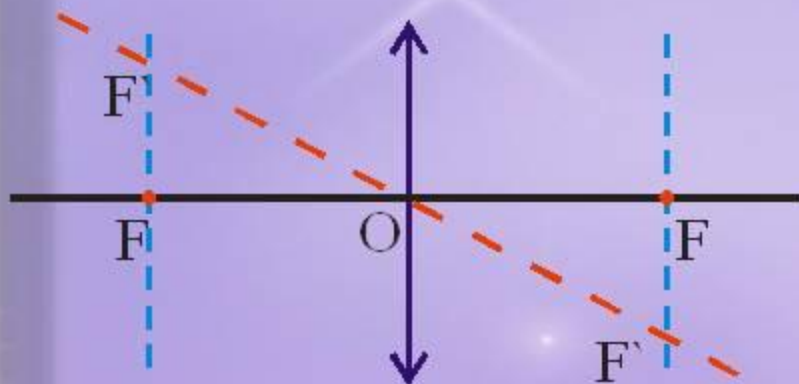
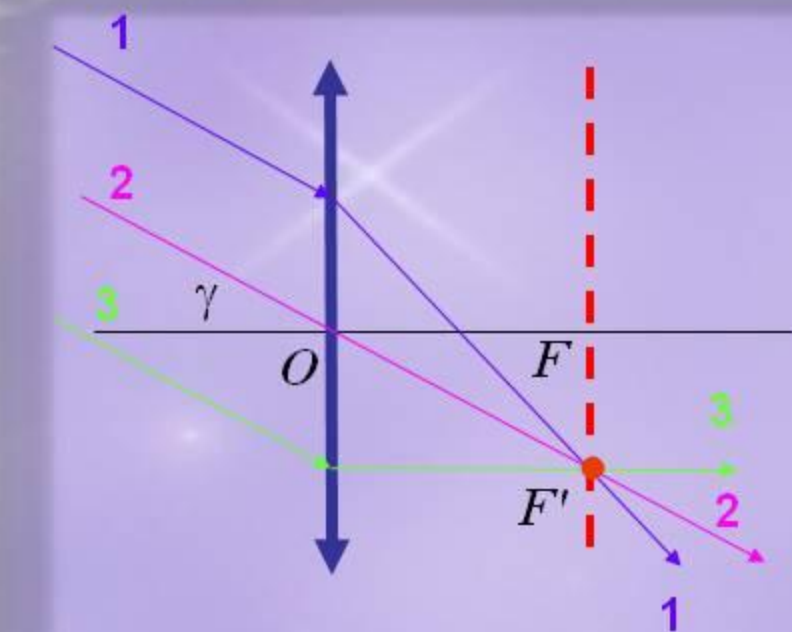
1 – луч, параллельный главной оптической оси, преломляясь проходит через главный фокус

3 – луч, идущий через оптический центр, не преломляется

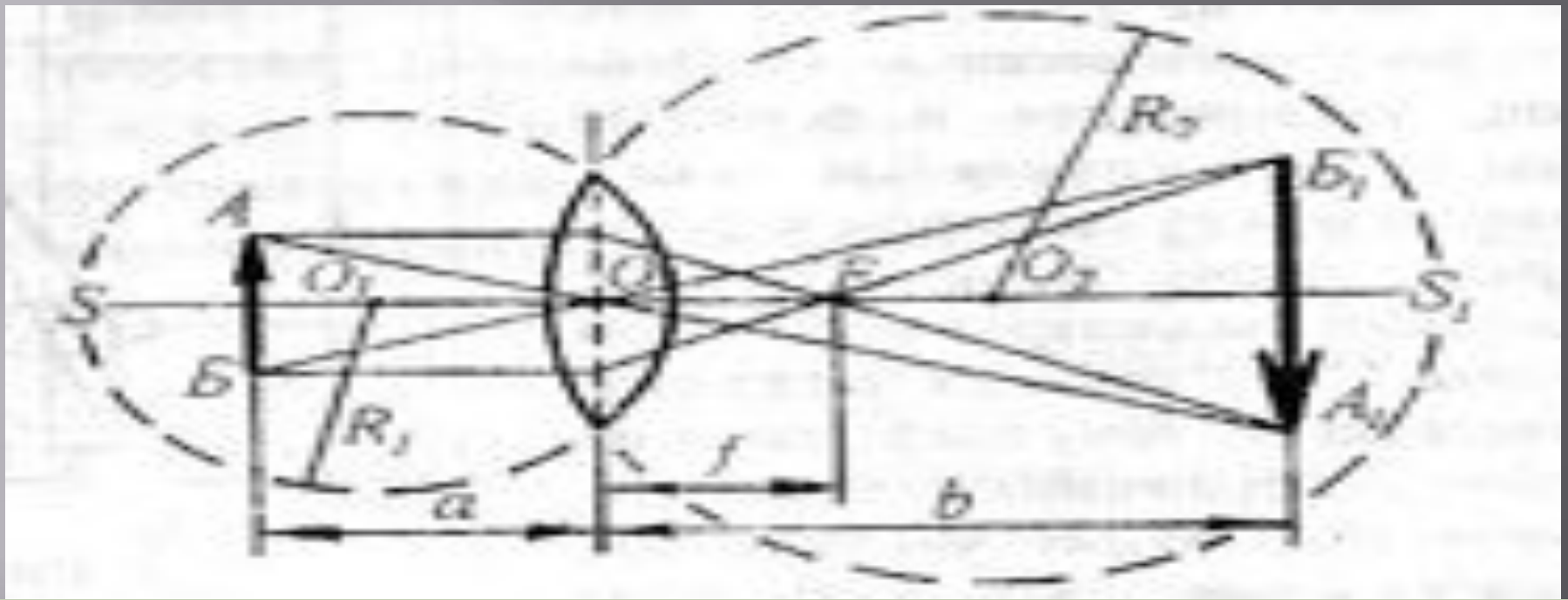


2 – луч, проходящий через главный фокус, после преломления в линзе идет параллельно главной оптической оси





**Фокальная плоскость** линзы – плоскость, проходящая через главный фокус линзы перпендикулярно главной оптической оси. Точки пересечения побочных оптических плоскостей с фокальными плоскостями называются **побочным фокусом ( $F'$ )**. В побочном фокусе сходятся все лучи, падающие на линзу параллельно побочной оптической оси.



Для получения изображения предмета в линзе достаточно провести от крайних точек предмета АБ по два луча (один - параллельно главной оптической оси, он пройдет затем через фокус; другой - вдоль побочной оптической оси, он линзой не преломляется). Пересечения этих лучей дают изображение крайних точек предмета АБ

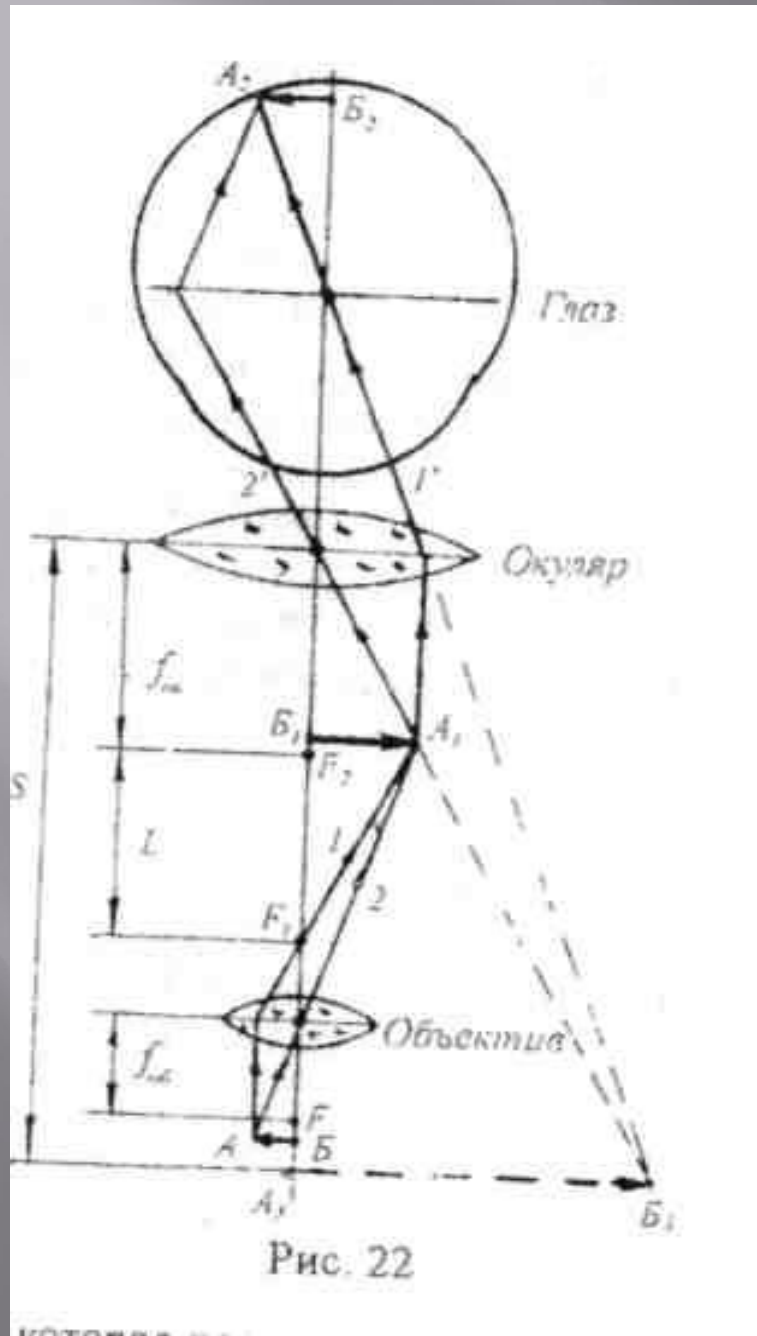


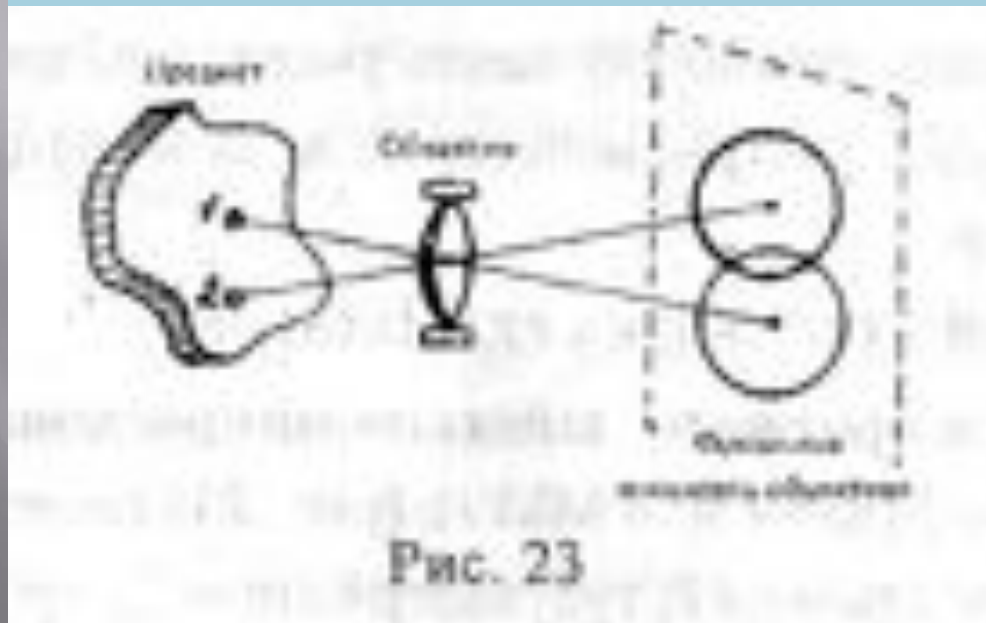
Рис. 22

Увеличение микроскопа равно произведению увеличения объектива на увеличение окуляра

$$K_{\mu} = K_{об} \cdot K_{ок}$$

Увеличение микроскопа можно сделать сколь угодно большим. Однако, обычно увеличение оптических микроскопов не превышает 1000

Разрешающей способностью называется свойство оптического прибора давать отдельные изображения мелких, близко расположенных друг к другу деталей (точек) предмета



Наименьшее расстояние, на котором две точки предмета могут быть еще видимы отдельно, называется пределом разрешения оптического прибора

Расчеты показывают, что при прямом освещении предмета предел разрешения объектива микроскопа

$$\Delta z = \frac{\lambda}{n \cdot \sin \Theta}$$

Чем меньше предел разрешения прибора, тем выше его разрешающая способность, тем он лучше

$\lambda$  - длина волны света,  $n$  - показатель преломления среды, находящейся между предметом и объективом,  $\Theta$  - апертурный угол

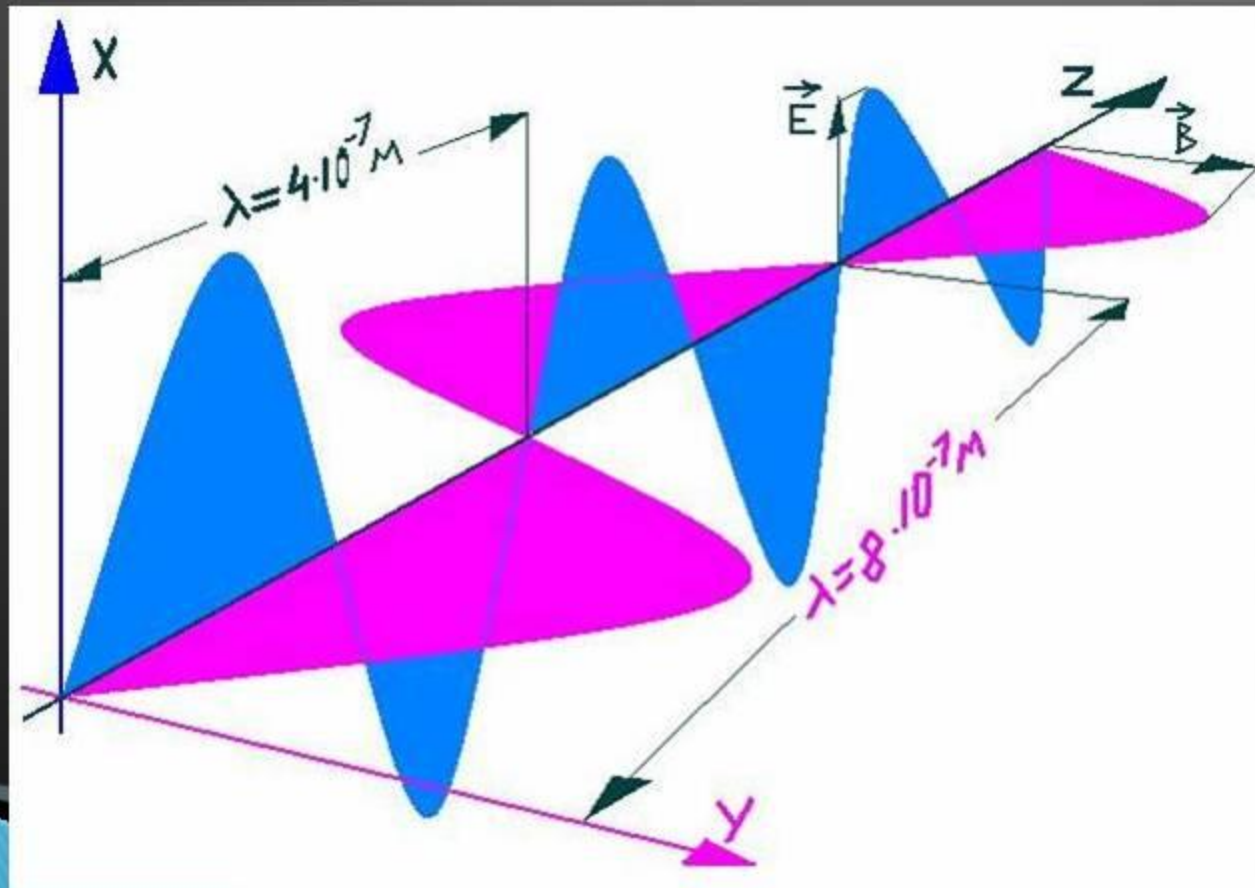
$$Z = \frac{\lambda}{n \cdot \sin \Theta}$$



$\lambda$  - длина волны света,  
 $n$  - показатель  
преломления среды  
 $\Theta$  - апертурный угол

# Поперечная волна

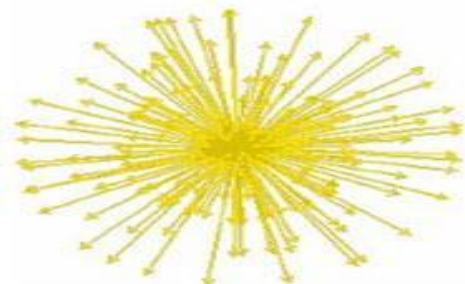
Поперечная волна – это волна, распространяющаяся в направлении, перпендикулярном к плоскости, в которой происходят колебания векторов электрического и магнитного поля.



# Поляризация света

- Если в волнах, составляющих световой пучок с одинаковой вероятностью встречаются различные направления светового вектора то такой свет называется **естественным**
- Если в световом пучке существует направление преимущественной ориентации светового вектора, то такой свет называется **частично поляризованным**

Естественный свет



Частично поляризованный свет



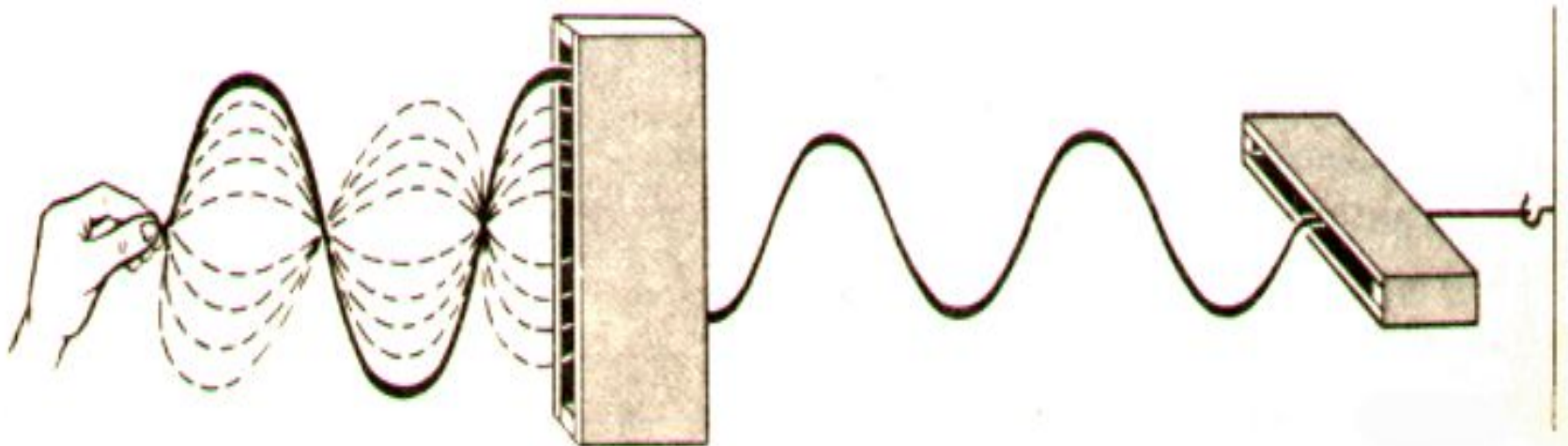
Линейно поляризованный свет





# Поляризация света

- Из естественного света можно выделить волны, в которых колебания светового вектора происходят в одной плоскости. Такой свет называют **плоскополяризованным** или **линейно поляризованным**



# Опыт с турмалином

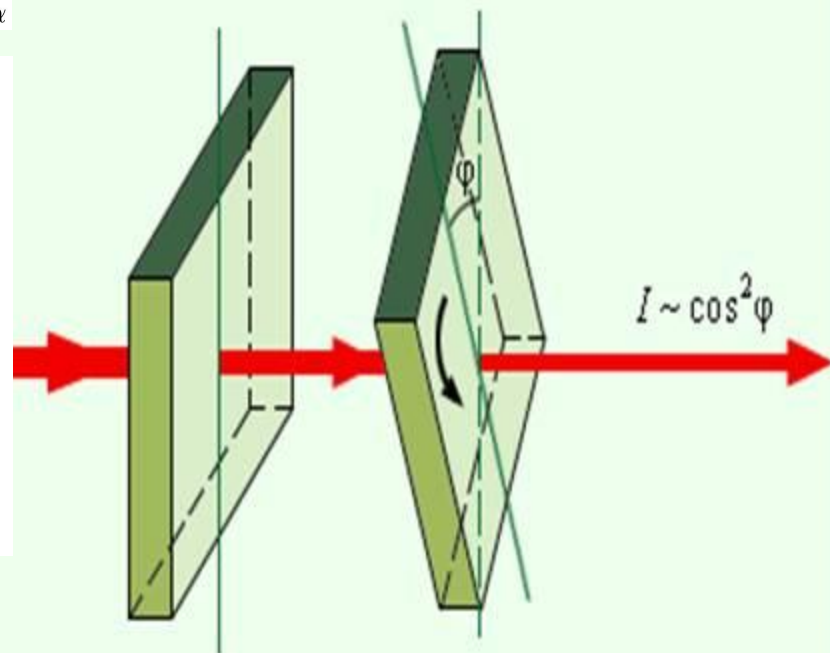
- Кристалл турмалина – прозрачный кристалл зелёной окраски.

В 1809 году французский инженер Э.Малюс открыл закон, названный его именем.

$$I \sim \cos^2 \varphi$$

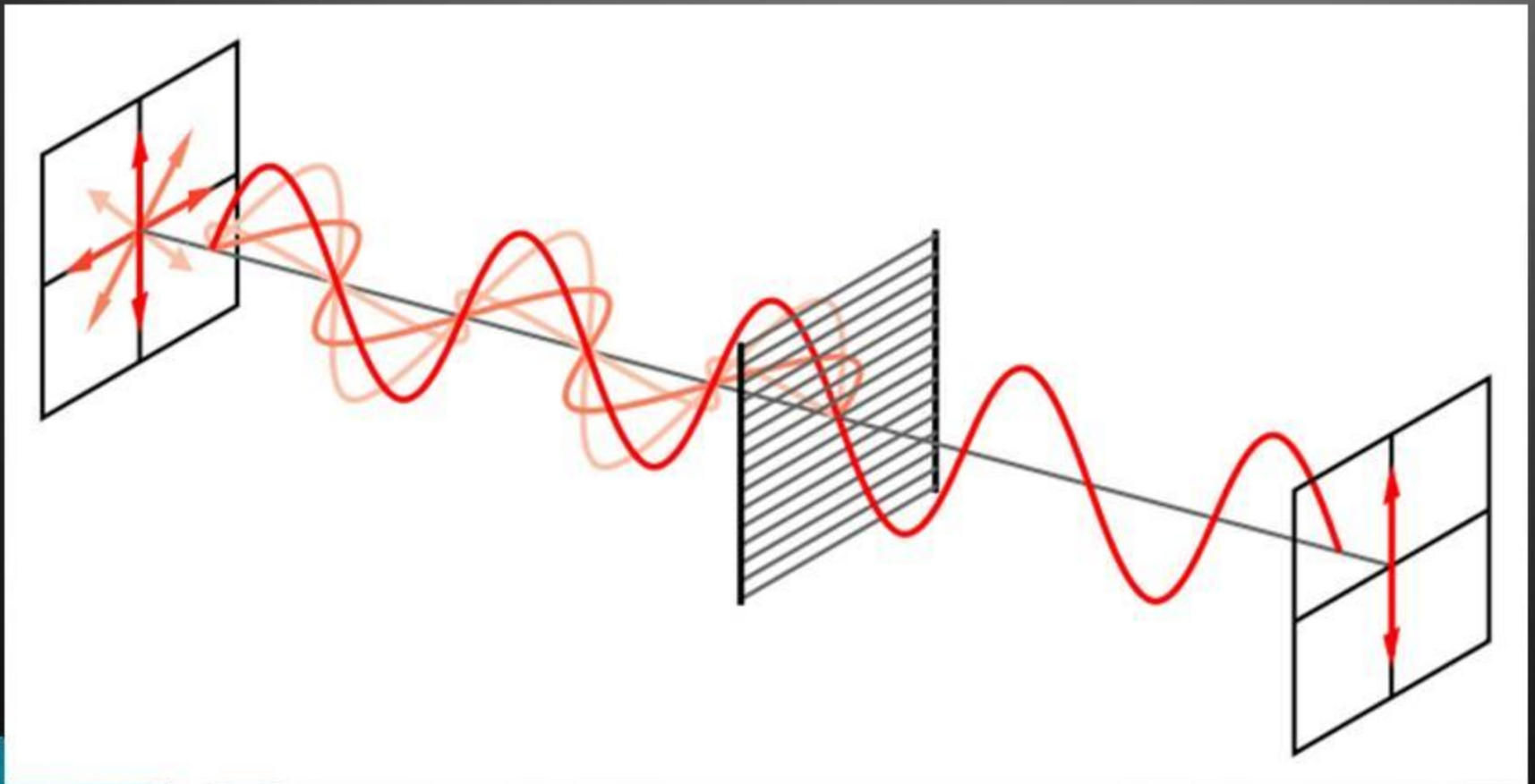
$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

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



# Что же такое поляризатор?

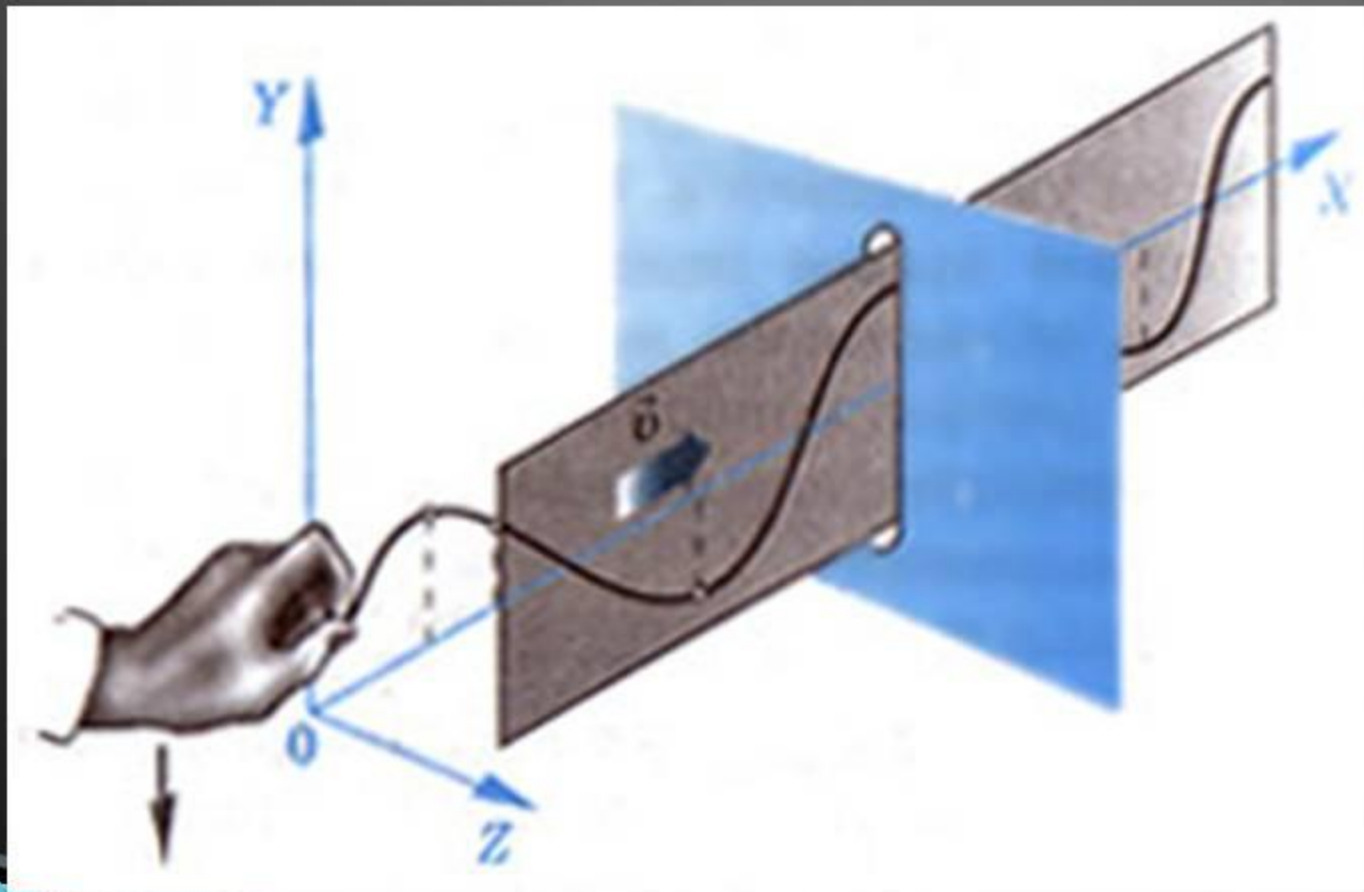
Поляризатор, устройство для получения полностью или частично поляризованного оптического излучения из излучения с произвольными поляризационными характеристиками.



(Поляризатор - пластина по середине)

# Как действует поляризатор

Этот прибор свободно пропускает те волны которые параллельны плоскости поляризации.



# Опыт 1. Наблюдение поляризации.

1



2



Используется один поляроид

3



4



5



Используется два поляроида

6

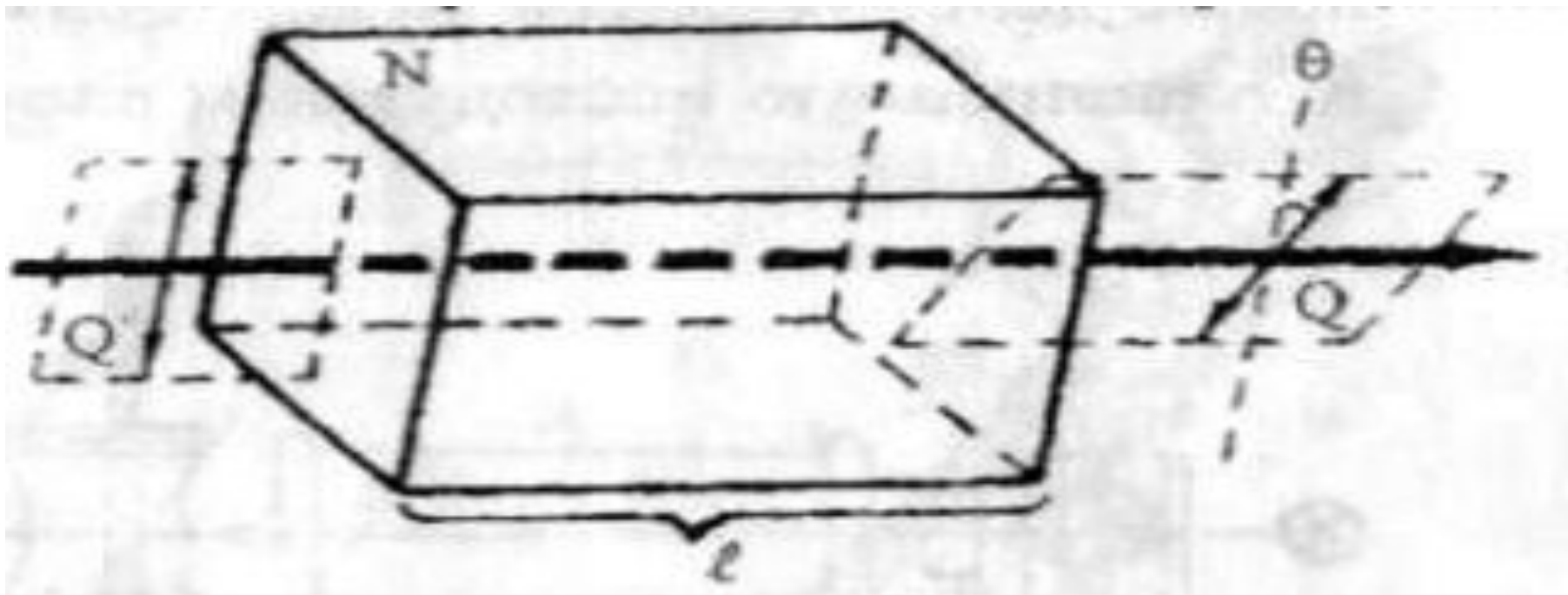


7



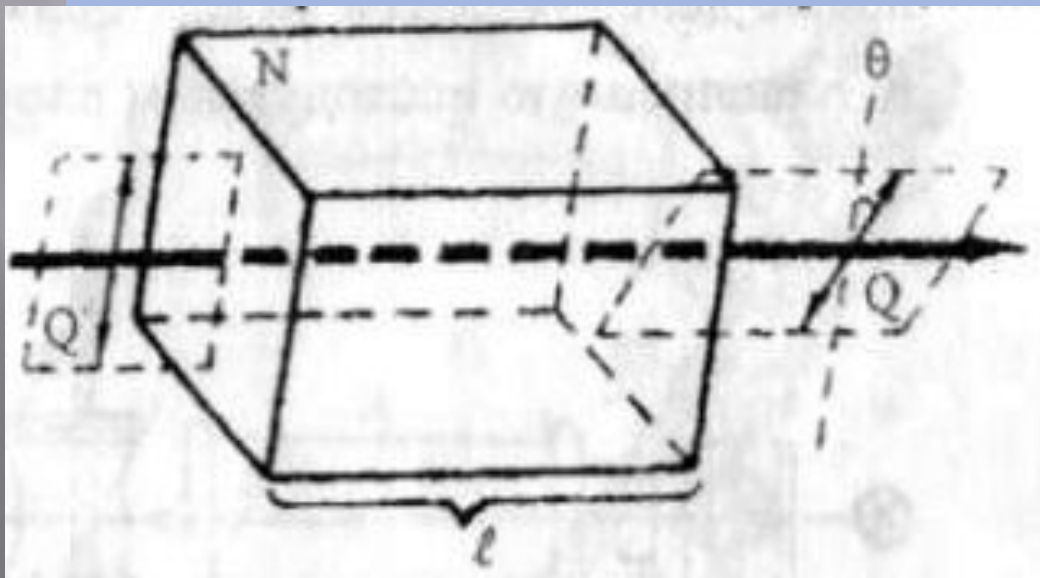
# Вращение плоскости поляризации

- Некоторые вещества (сахар, кварц, скипидар и др.), называемые **ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ** обладают способностью поворачивать плоскость поляризации проходящего сквозь них света



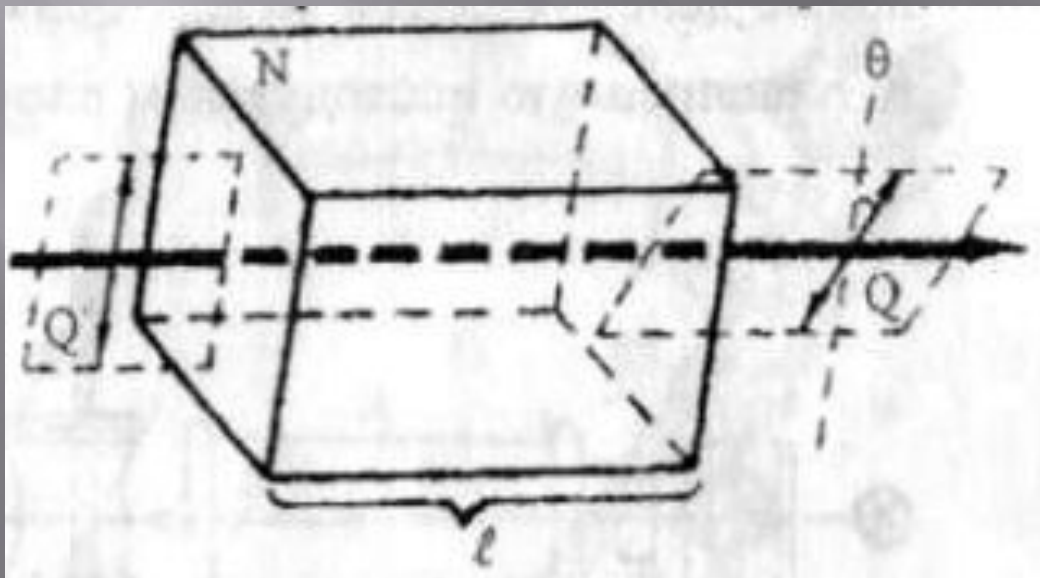


Угол поворота плоскости колебаний поляризованного света пропорционален толщине слоя оптически активного вещества, через который проходит свет; в случае раствора этот угол пропорционален еще и концентрации раствора  $C$ ;



$$\theta = \alpha \cdot l C$$

Коэффициент  $\alpha$  называется удельным вращением; для раствора он равен углу, на который поворачивается плоскость колебаний поляризованного света, проходящего через слой единичной толщины и единичной концентрации

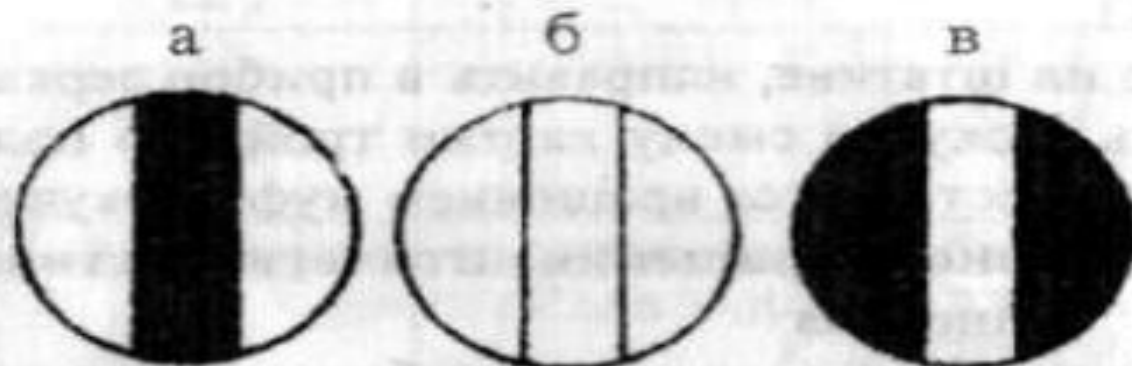
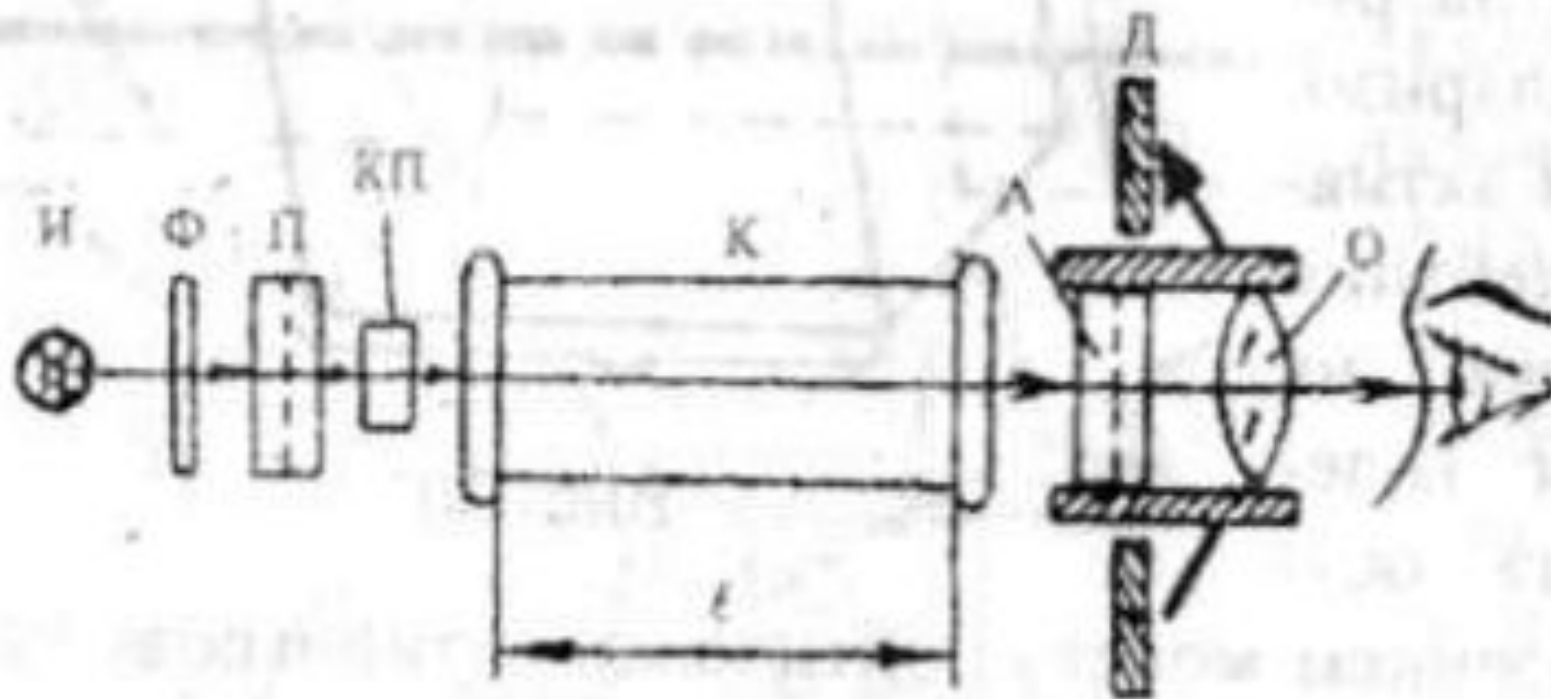


$$\alpha = \frac{\Theta}{lC}$$

# Поляметрия

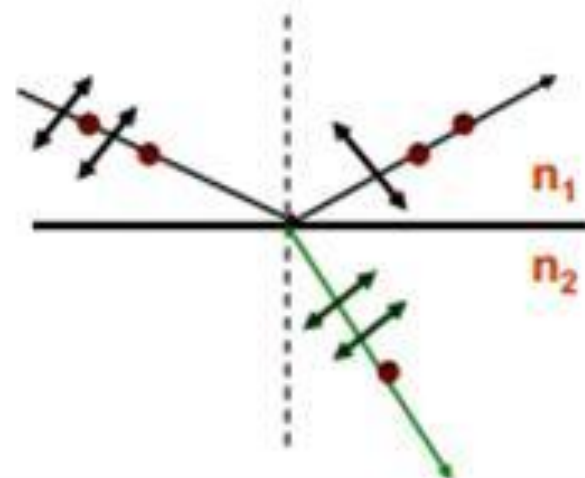
- это методы физических исследований, основаны на измерении степени поляризации света и угла поворота плоскости поляризации света при прохождении его через оптически активные вещества





## II. Явления, приводящие к поляризации света

### 1. Отражение и преломление на границе двух диэлектриков



$n_1, n_2$  – показатели преломления сред

$\frac{n_2}{n_1} = n_{21}$  – относительный показатель преломления

➡ При **отражении** света на границе 2-х диэлектриков естественный свет частично поляризуется

➡ В отраженном луче преобладают колебания, **перпендикулярные** плоскости падения, а в преломленном – **параллельные ей**

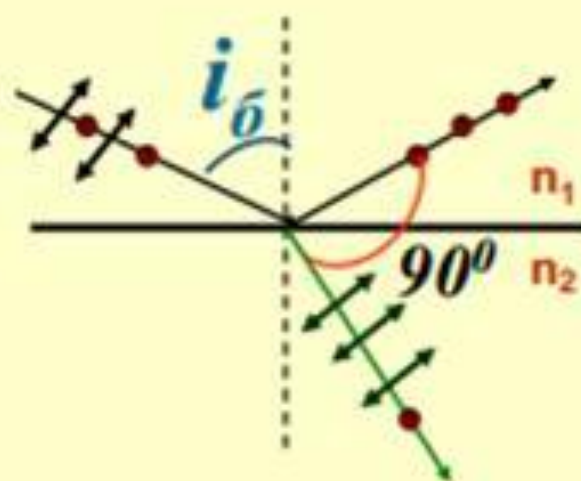
## Закон Брюстера:

Если угол падения луча  $i_0$  удовлетворяет условию

$$\operatorname{tg} i_0 = n_{21},$$

то отраженный луч будет полностью поляризован

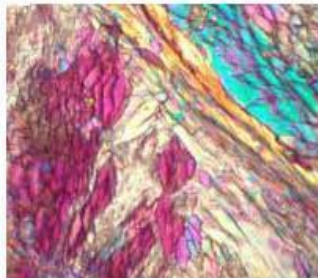
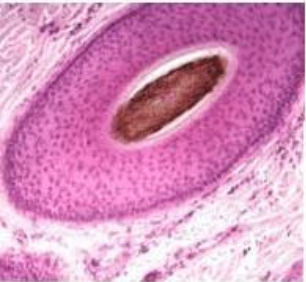
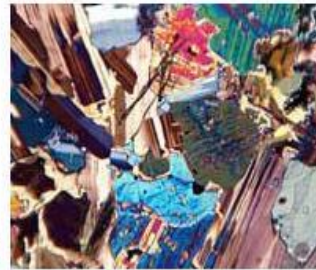
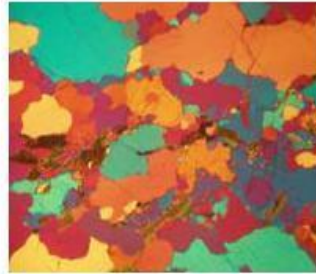
$i_0$  — **угол Брюстера** (угол полной поляризации)



➔ Преломленный луч всегда частично поляризован

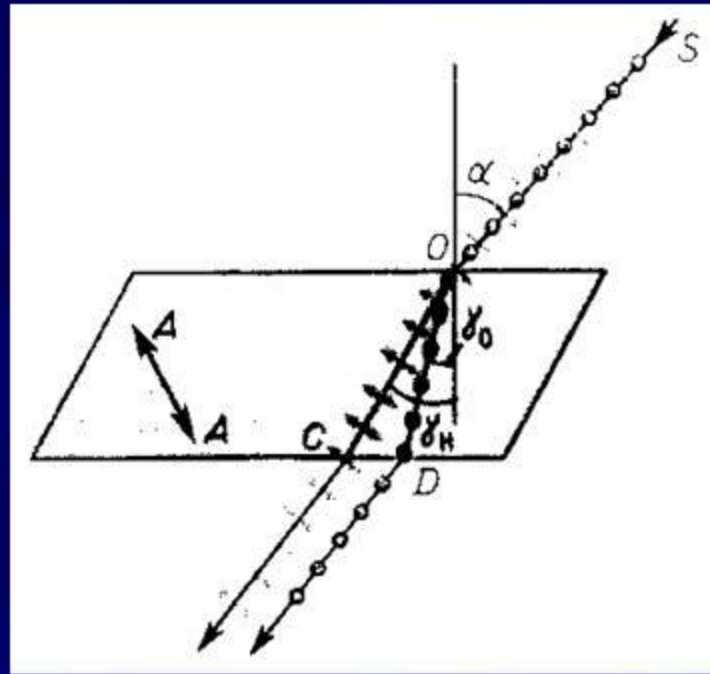
➔ Поляризатор – граница двух диэлектриков

# поляризационный микроскоп



снабжен двумя призмами  
– одна служит  
поляризатором, вторая –  
анализатором. Препарат с  
изотропной структурой,  
то поле зрения останется  
темным, с  
анизотропными  
структурами - структуры  
выступают  
просветленными на  
общем темном фоне поля  
зрения

# Двойное лучепреломление



Двойное лучепреломление  
кристалла исландского  
шпата

