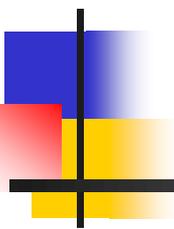


**Тема: Волновая и геометрическая оптика.**



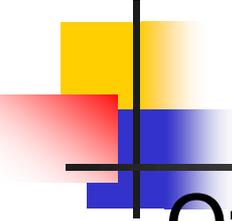
---

**лекция №4**

для студентов 1 курса, обучающихся по специальности 35.05.01 – Лечебное дело

**к.п.н., доцент Шилина Н.Г.**

Красноярск, 2020



# Цель лекции:

---

Ознакомить обучающихся с

1. основными волновыми процессами (интерференция, дифракция)
2. основными характеристиками и недостатками линз
3. устройством микроскопа
4. оптической системой глаза, недостатками зрения и способами их устранения



# План лекции

---

1. Интерференция и дифракция света.
2. Геометрическая оптика. Линзы. Микроскоп.
3. Глаз как ЦОС. Недостатки оптической системы глаза.

# Интерференция света

**Интерференция света** – наложение двух или нескольких когерентных волн, в результате чего возникает усиление или ослабление амплитуды результирующей волны в зависимости от разности фаз этих волн.

**Когерентные волны** – волны, разность фаз которых постоянна (монохроматические волны).

Рассмотрим наложение двух когерентных волн.

$$S_1 = A \sin\left(\omega t - \frac{2\pi r_1}{\lambda}\right) \quad S_2 = A \sin\left(\omega t - \frac{2\pi r_2}{\lambda}\right)$$

Уравнение результирующей волны:

$$S = S_1 + S_2 = 2A \cos \frac{2\pi(r_2 - r_1)}{2\lambda} \cdot \cos \omega t$$

# Интерференция света

Амплитуда результирующей волны определяется оптической разностью хода этих волн:

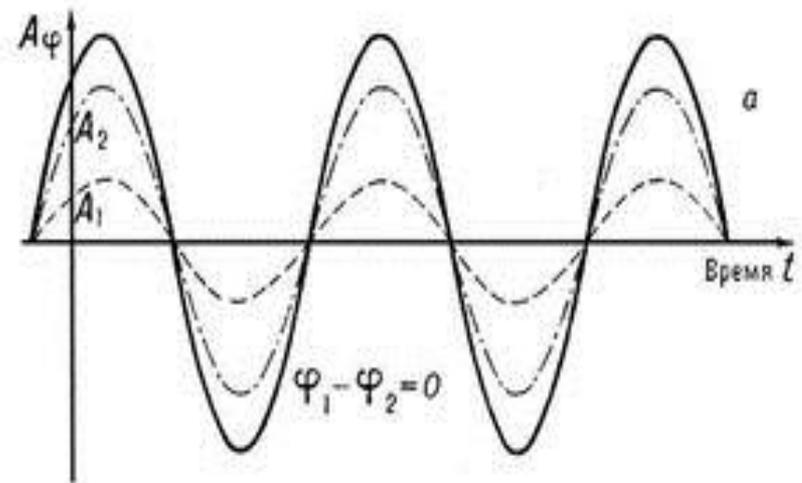
$$A_{рез} = 2A \cos \frac{2\pi(r_2 - r_1)}{2\lambda}$$

1. Если разность хода равна четному числу длин полуволн,

$$\Delta = r_2 - r_1 = 2k \frac{\lambda}{2}$$

волны усиливают друг друга:

$$A_{рез} = 2A \cdot \cos \pi k = 2A$$



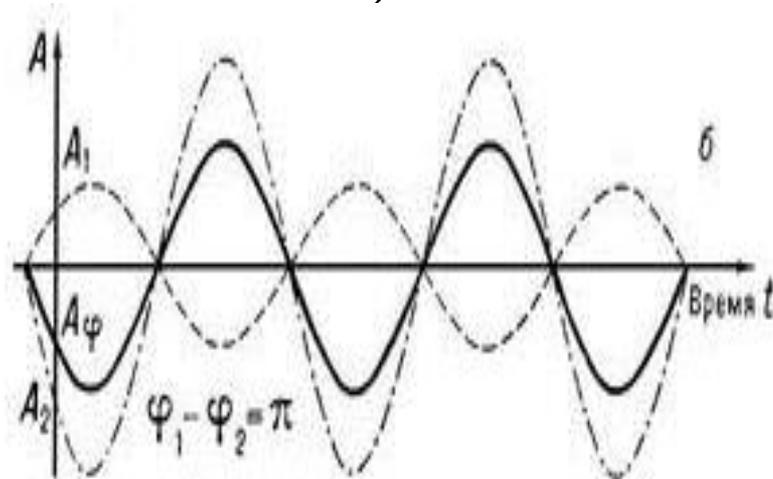
# Интерференция света

2. Если разность хода равна нечетному числу длин  
полуволен,

$$\Delta = r_2 - r_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

волны при наложении гасят друг друга:

$$A_{рез} = 2A \cdot \cos\left(\frac{\pi}{\gamma} (2k + 1)\right) = 0$$

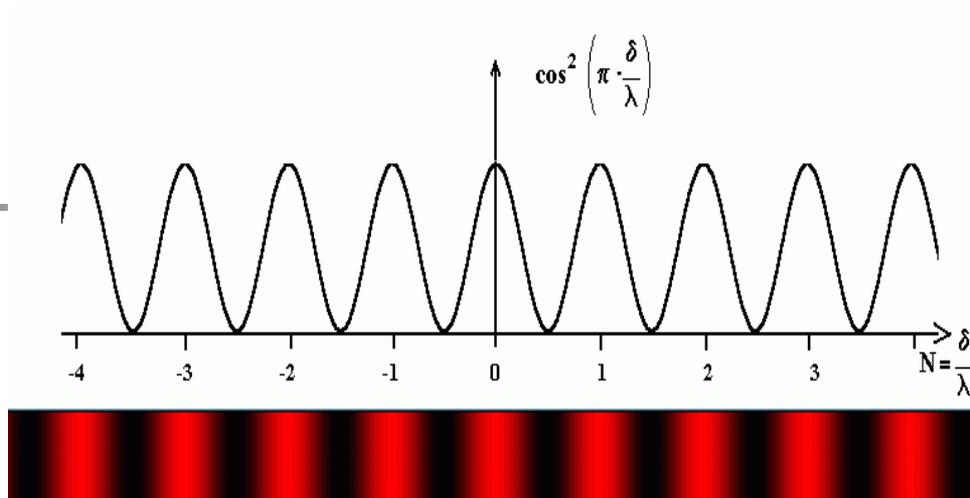


Условие максимума:

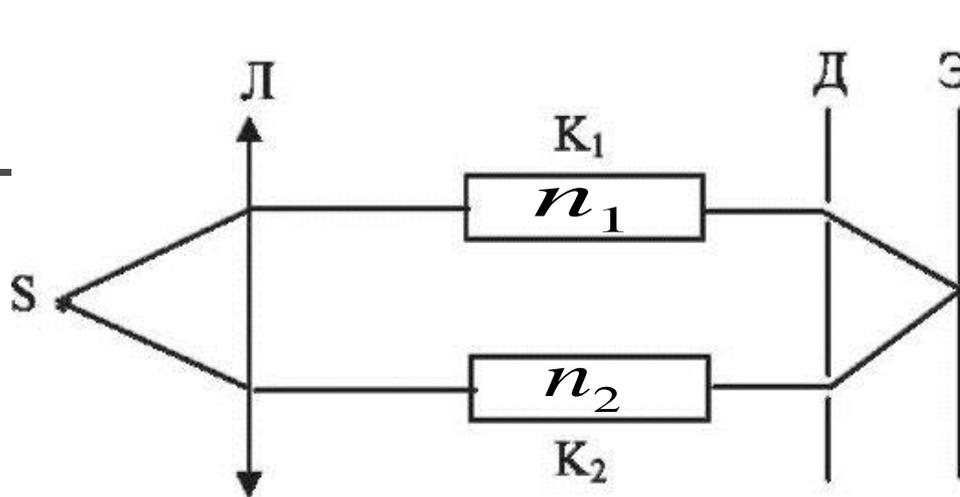
$$\Delta = k\lambda$$

Условие минимума:

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



# Интерферометр Жамена



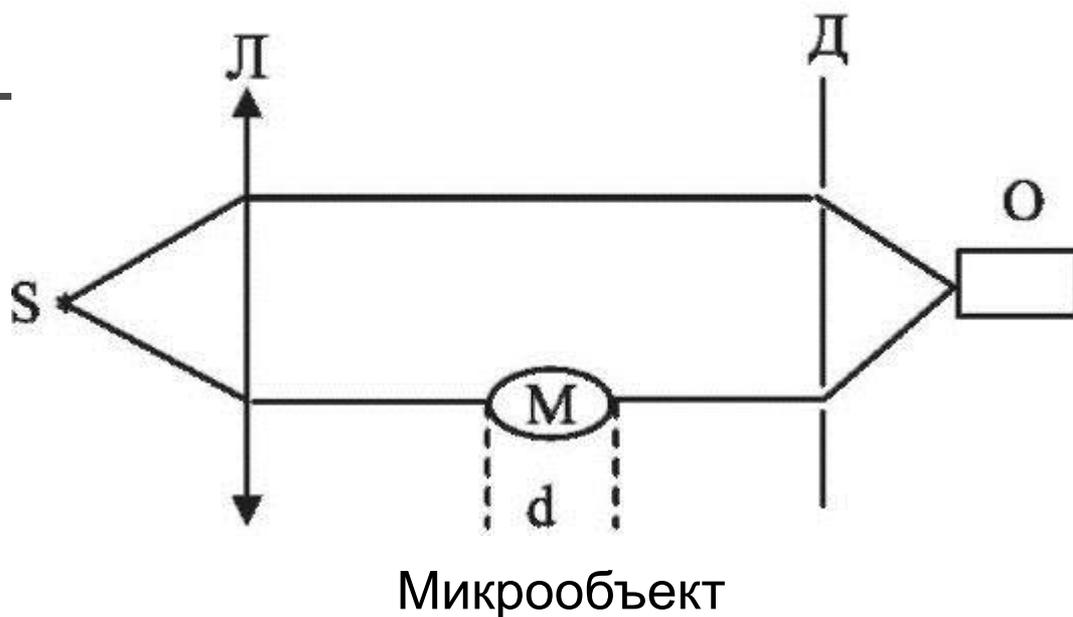
**К** – кюветы, длины  $l$ , **Д** – диафрагма с двумя щелями, **Э** – экран

**Разность показателей преломления:**

$$\Delta n = n_2 - n_1 = \frac{k\lambda}{l}$$

Интерферометры используют для определения показателя преломления, с целью обнаружения примесей в газах – т.е. для контроля чистоты воздуха

# Интерференционный микроскоп

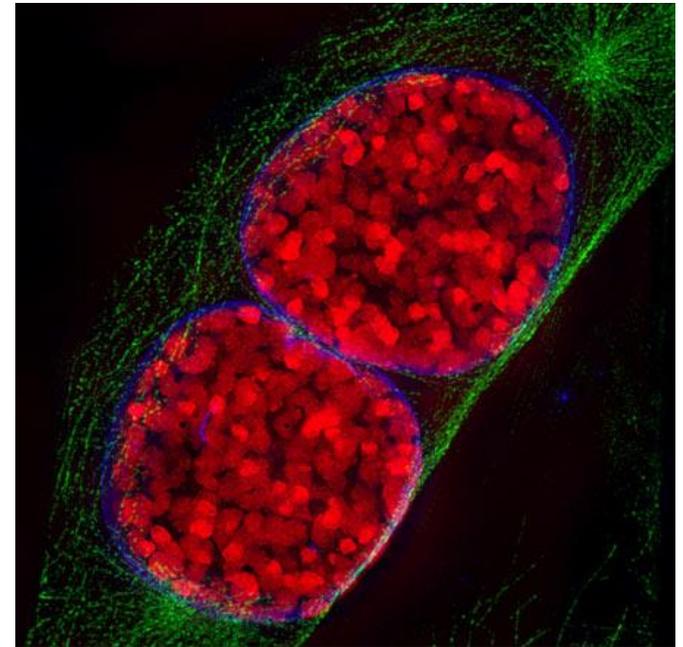


Результат интерференции определяется разницей показателей преломления объекта и среды и толщиной микрообъекта.

# Интерференционный микроскоп



**Интерференционный микроскоп** ФемтоСкан Инлайт



Разрешающая способность составляет около 100 нанометров. Клетки освещаются не лучом света, а тонкими полосами света - **интерференционным** узором.

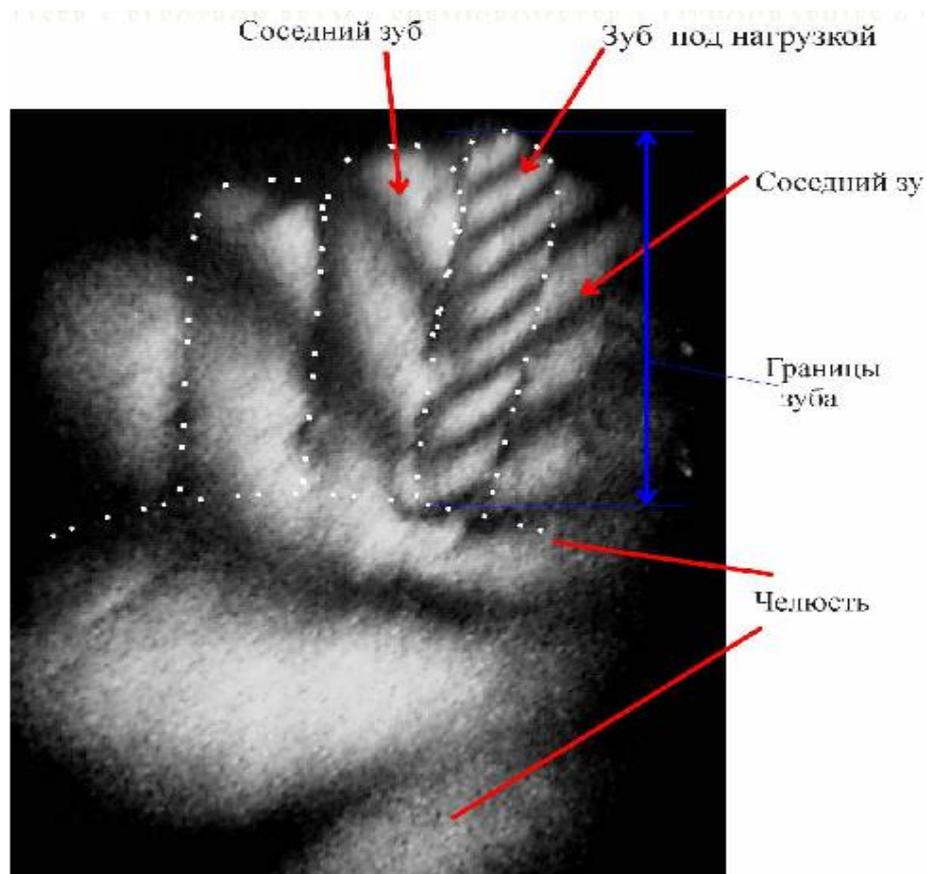
# **Интерферометры применяются для:**

- контроля чистоты воздуха в помещениях;
- определения формы микронеровностей поверхностей;
- измерения эталонов длины, показателей преломления.

## **Интерференционный микроскоп применяется для определения:**

- концентрации сухого вещества;
- размеров прозрачных неокрашенных микрообъектов.

# Фотография нагруженного зуба в интерференционном микроскопе

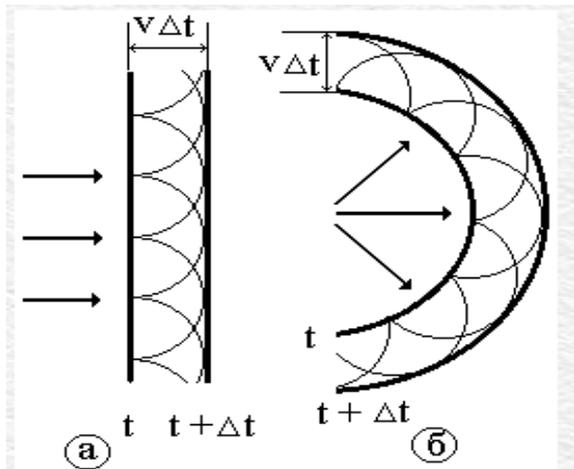


# Дифракция света

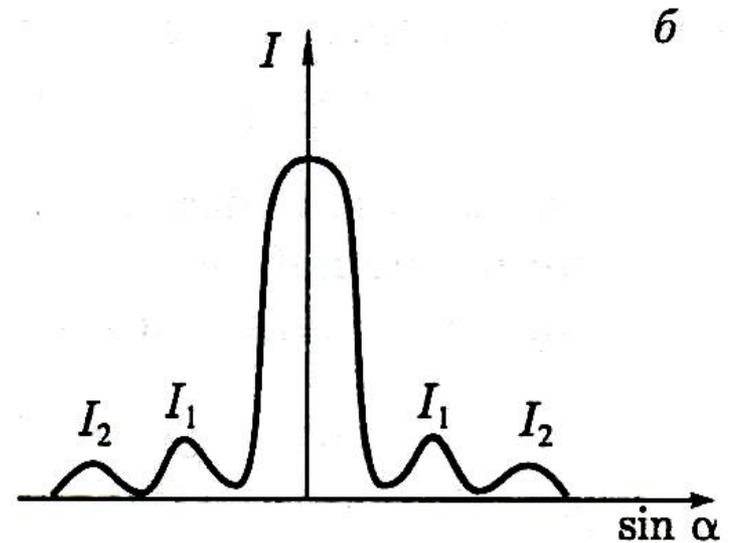
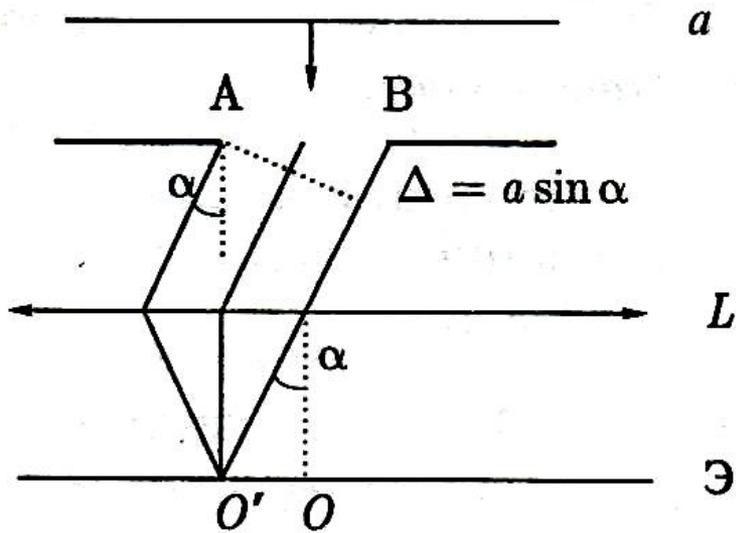
– явление отклонения света от законов геометрической оптики (или огибание волнами препятствий)

*Принцип Гюйгенса – Френеля:*

Каждая точка волнового фронта является источником вторичных когерентных волн, интерференция которых в любой точке пространства и определяет освещенность в этой точке.

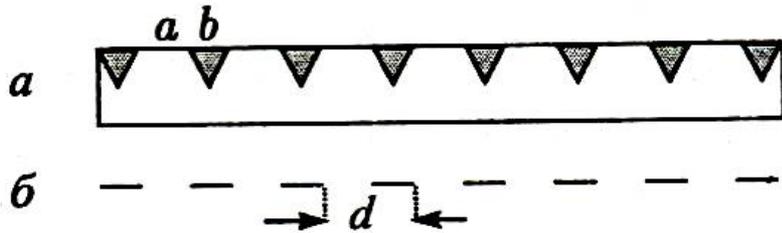


# Дифракция на щели



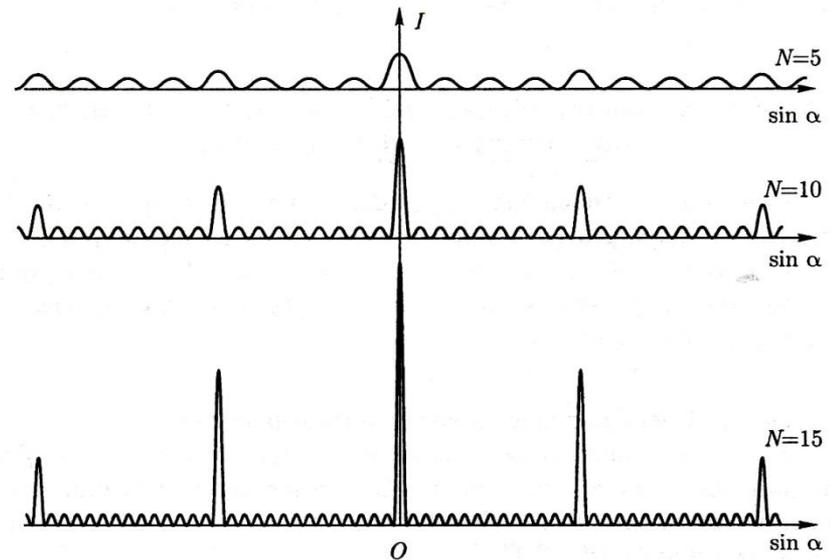
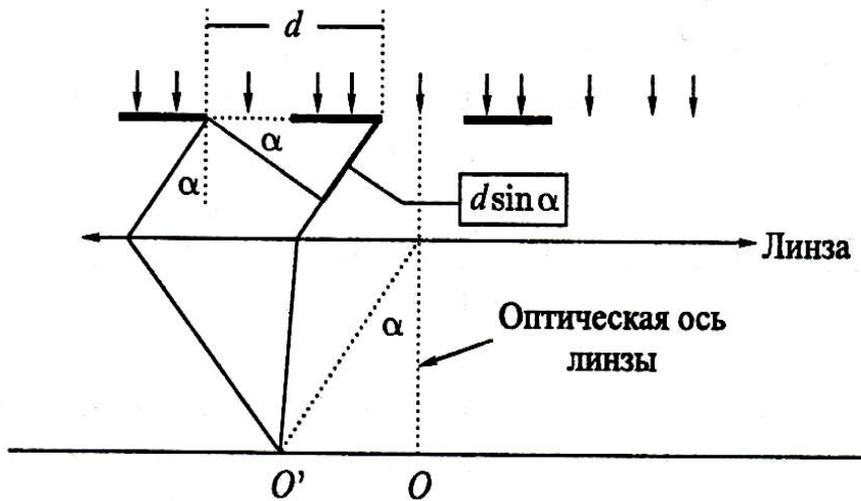
$a \cdot \sin \alpha = \pm k \lambda$  – условие минимума

# Дифракционная решетка



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

– условие max



## Угловая дисперсия –

это угловое расстояние между двумя линиями спектра, длины волн которых различаются на единицу ( $d\lambda=1$ )

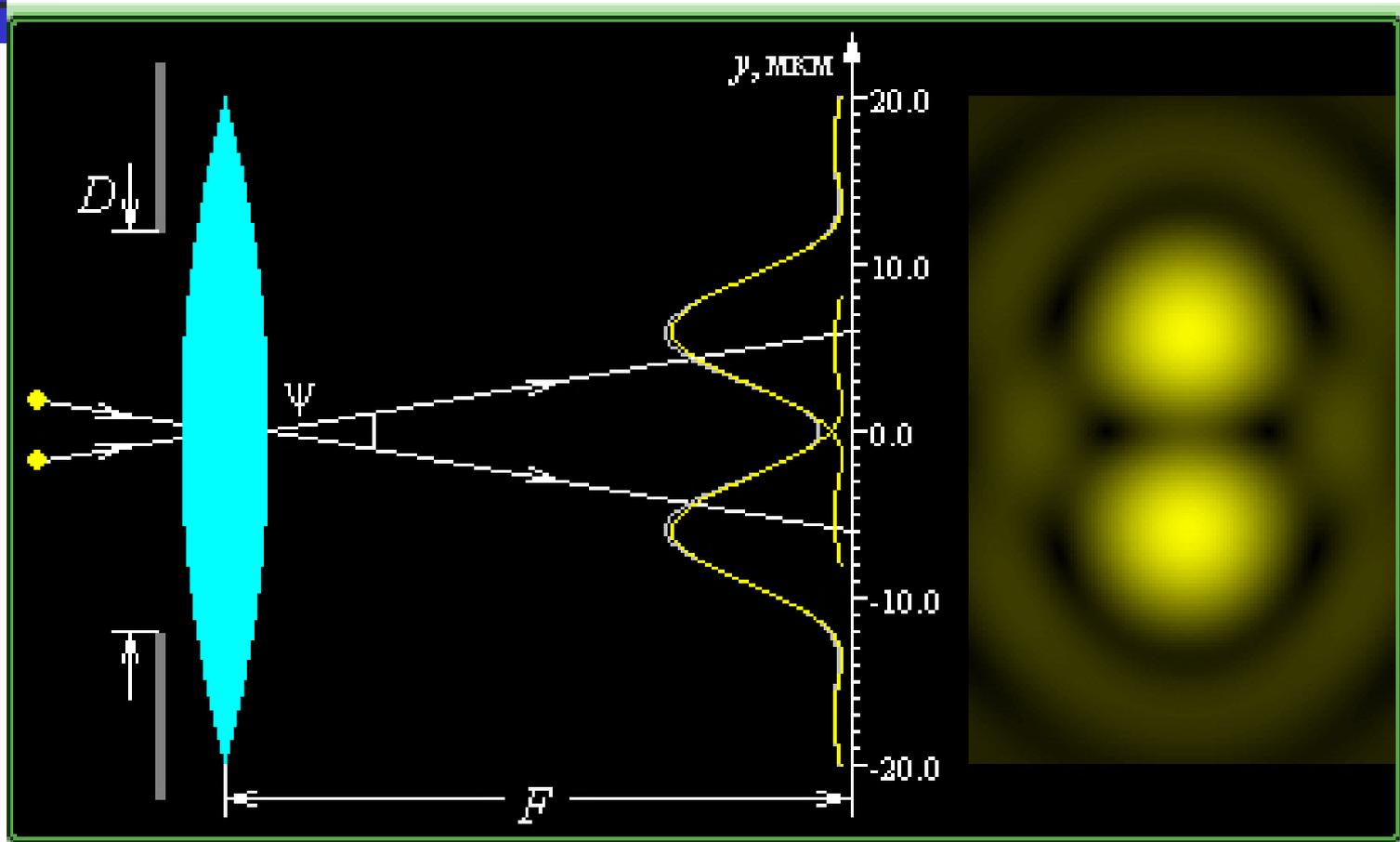
$$D = \frac{d\alpha}{d\lambda} \quad \text{или} \quad D = \frac{k}{d \cdot \cos \alpha}$$

## Разрешающая способность –

это отношение длины волны к наименьшему интервалу длин волн, которые еще могут быть разрешены.

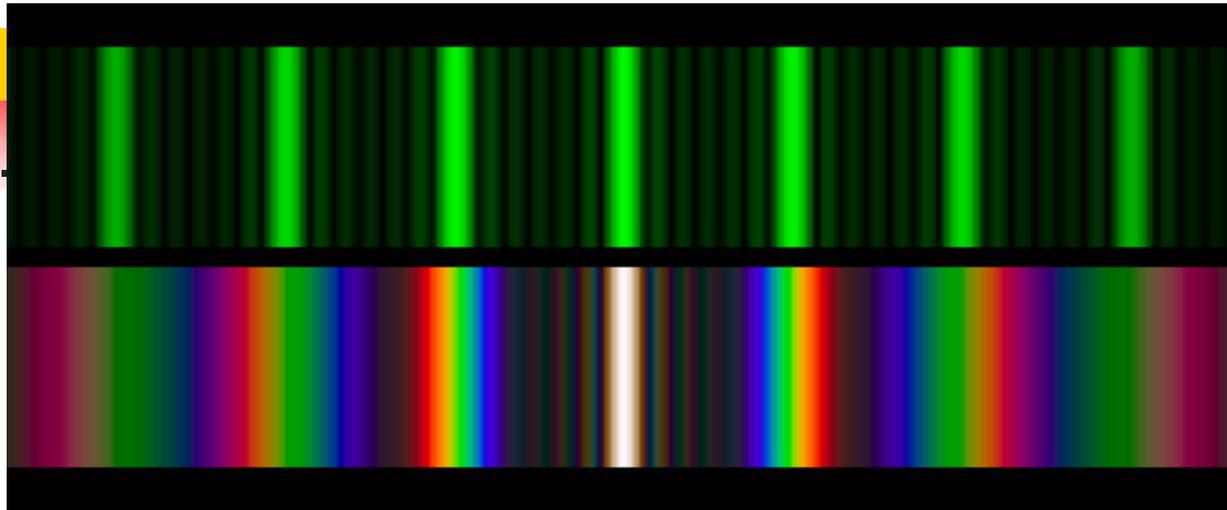
$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad \text{или} \quad R = kN$$

# Разрешающая способность



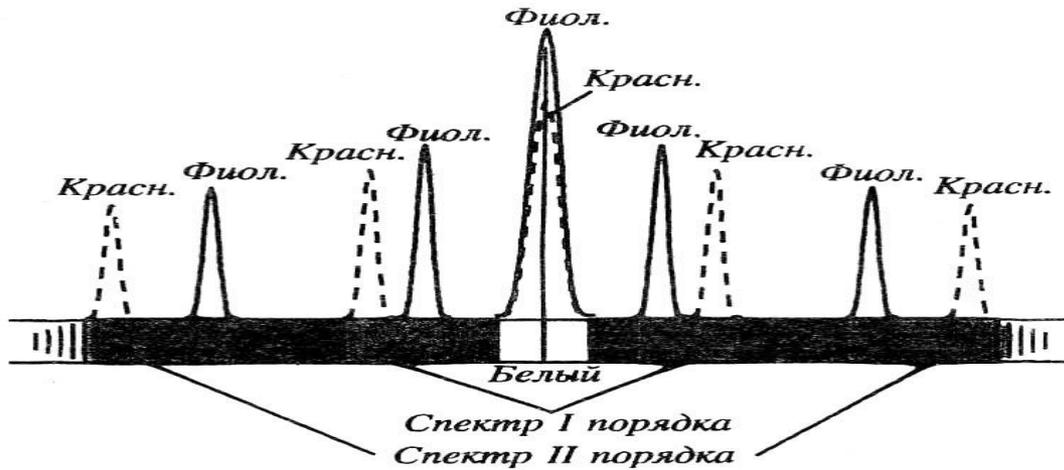


# Дифракционные спектры

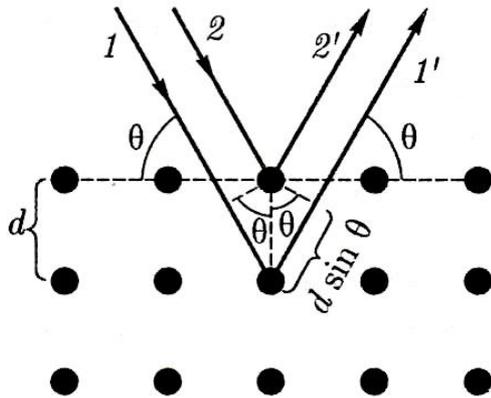


при освещении  
монохроматическим  
светом

при освещении  
белым светом

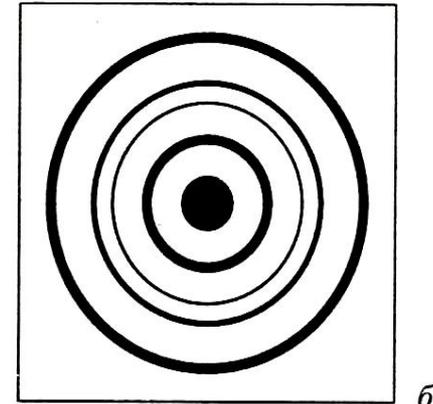
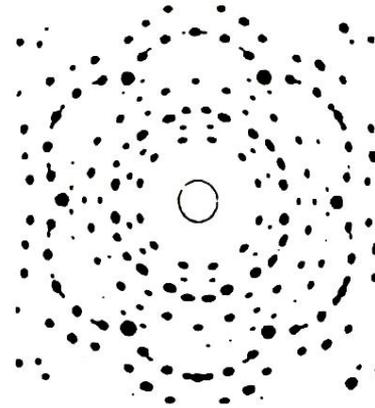


# Рентгеноструктурный анализ



$$2d \cdot \sin \theta = \pm k \lambda$$

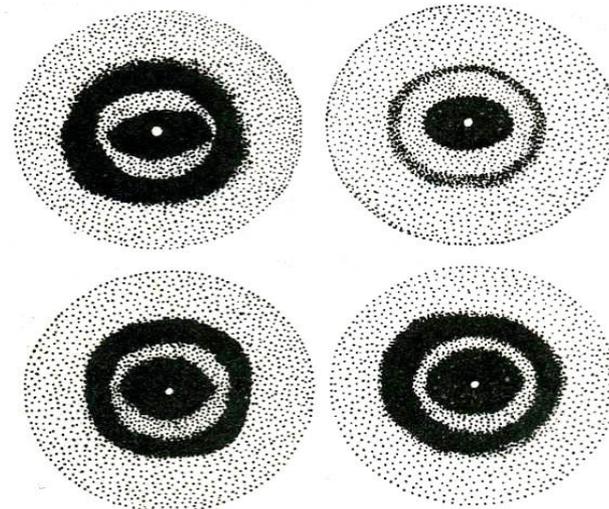
формула Вульфа – Брэггов



Рентгенограмма монокристалла (а)  
и поликристалла (б)

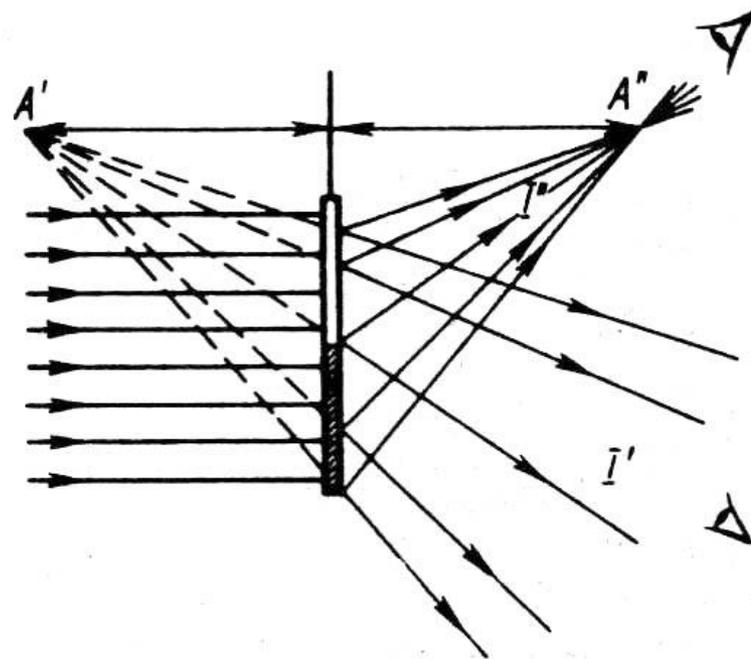
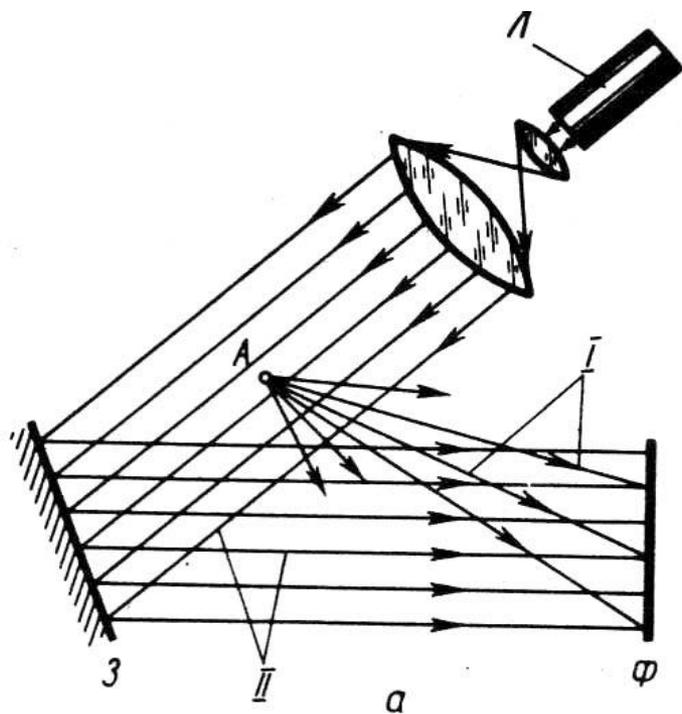
Дж. Уотсон и Ф. Крик  
установили структуру ДНК.  
Удостоены Нобелевской  
премии в 1962 г.

Рентгенограмма белков



# Голография

метод записи и восстановления изображения, основанный на интерференции и дифракции волн (Д.Габор, 1948 г.; цветная голография – Ю.Н. Денисюк)



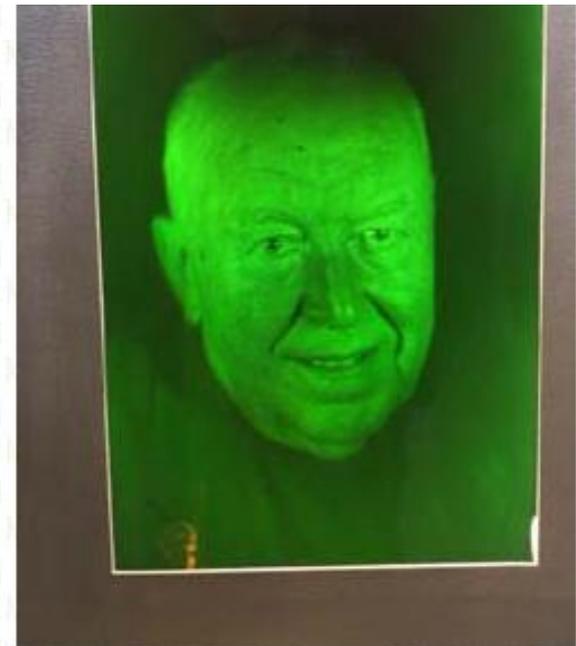
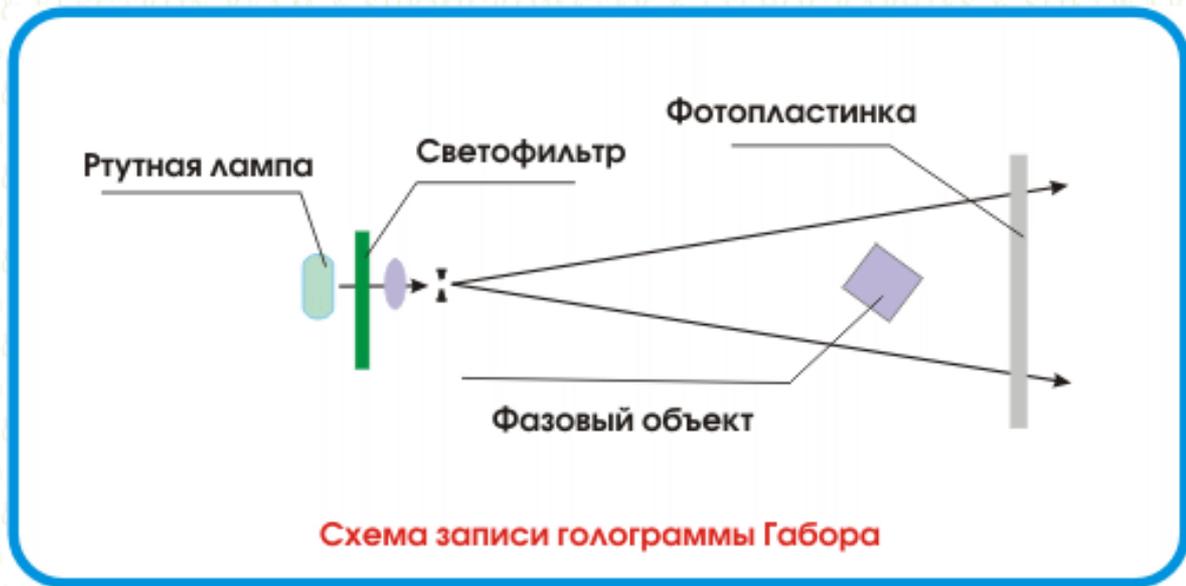
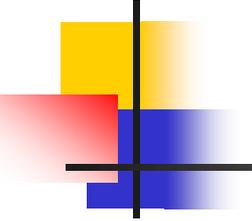


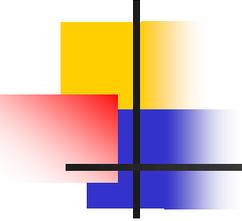
Fig.1 Holographic portrait of Prof. Yuri Denisyuk.  
 Courtesy of State Optical Institute (St.Petersburg, Russia).



**Геометрическая оптика** – раздел, в котором изучают законы

распространения света на основании представления о световом луче как линии, вдоль которой распространяется энергия световой волны.

**Геометрическая оптика** – предельный случай волновой оптики (длина волны стремится к нулю).



# Виды линз

---

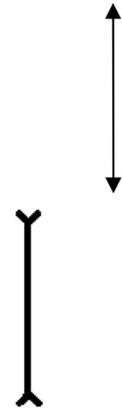
1. Собирающие (F – «+» )

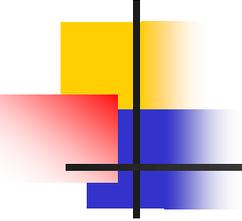
2. Рассеивающие (F – «-» )

3. Цилиндрические

$$D = (n - 1) \left( \pm \frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2} \right)$$

$$D = \frac{1}{f}$$



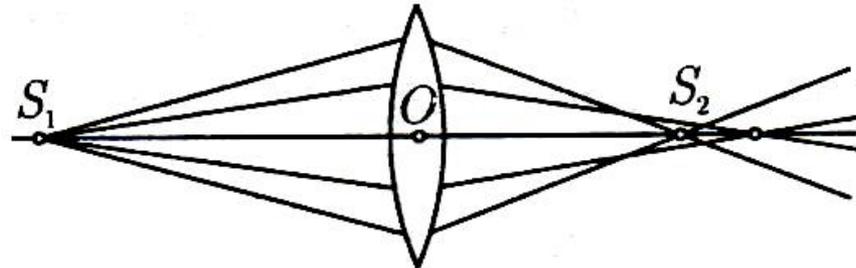
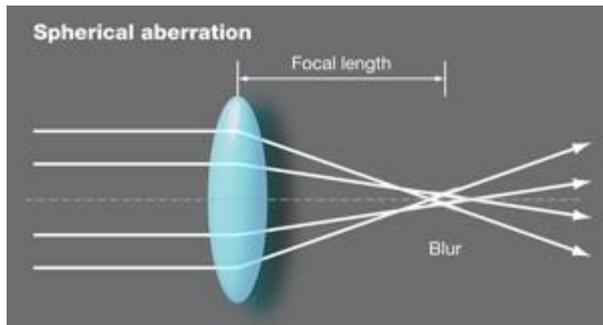

$$\frac{1}{a_1} \pm \frac{1}{a_2} = \pm \frac{1}{f}; \quad \text{Формула тонкой линзы}$$

---

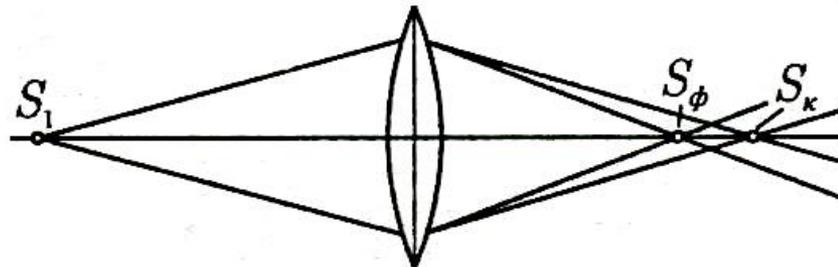
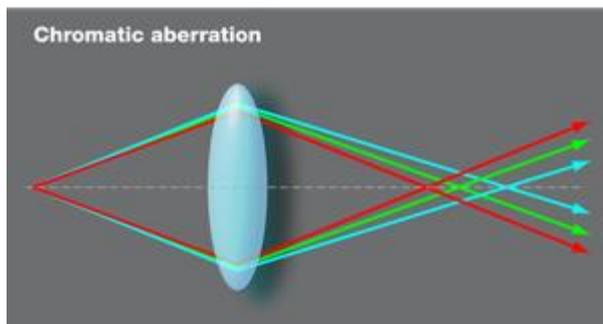
1. Изображение формируется приосевыми (параксиальными) лучами
2. Лучи составляют небольшие углы с главной оптической осью системы
3. Показатель преломления для всех длин волн одинаков

# Аберрации линз

## ■ Сферическая

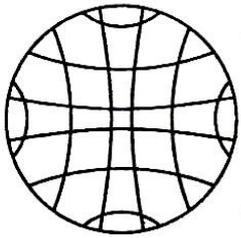


## ■ Хроматическая

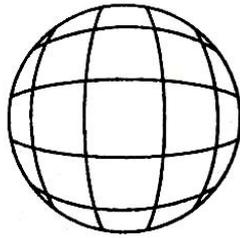


# Аберрации линз

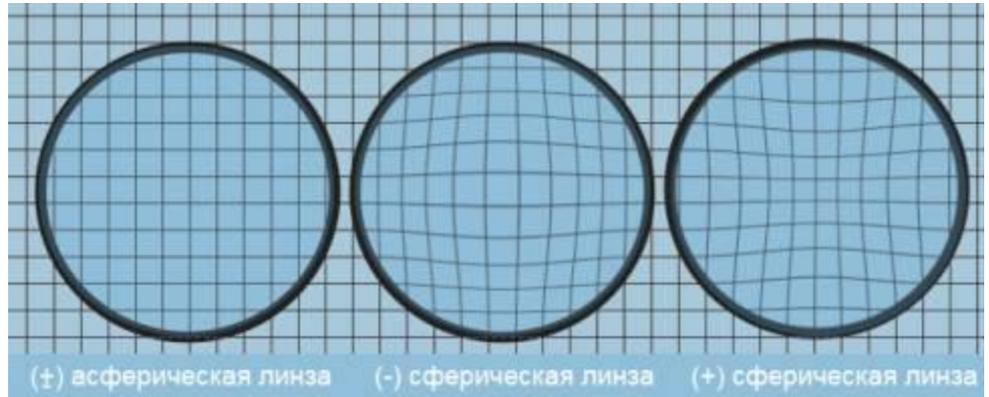
## ■ Дисторсия



*a*

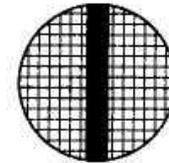
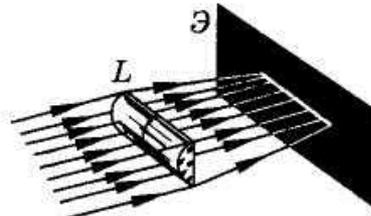
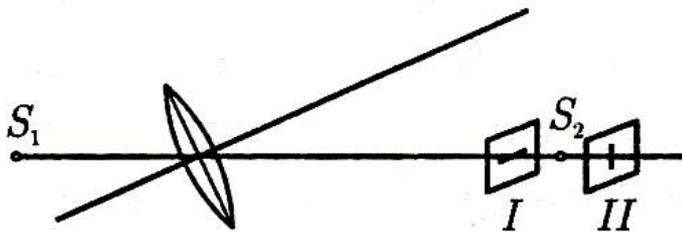


*б*

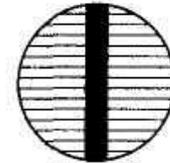


(+) асферическая линза    (-) сферическая линза    (+) сферическая линза

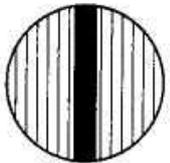
## ■ Астигматизм



*a)*

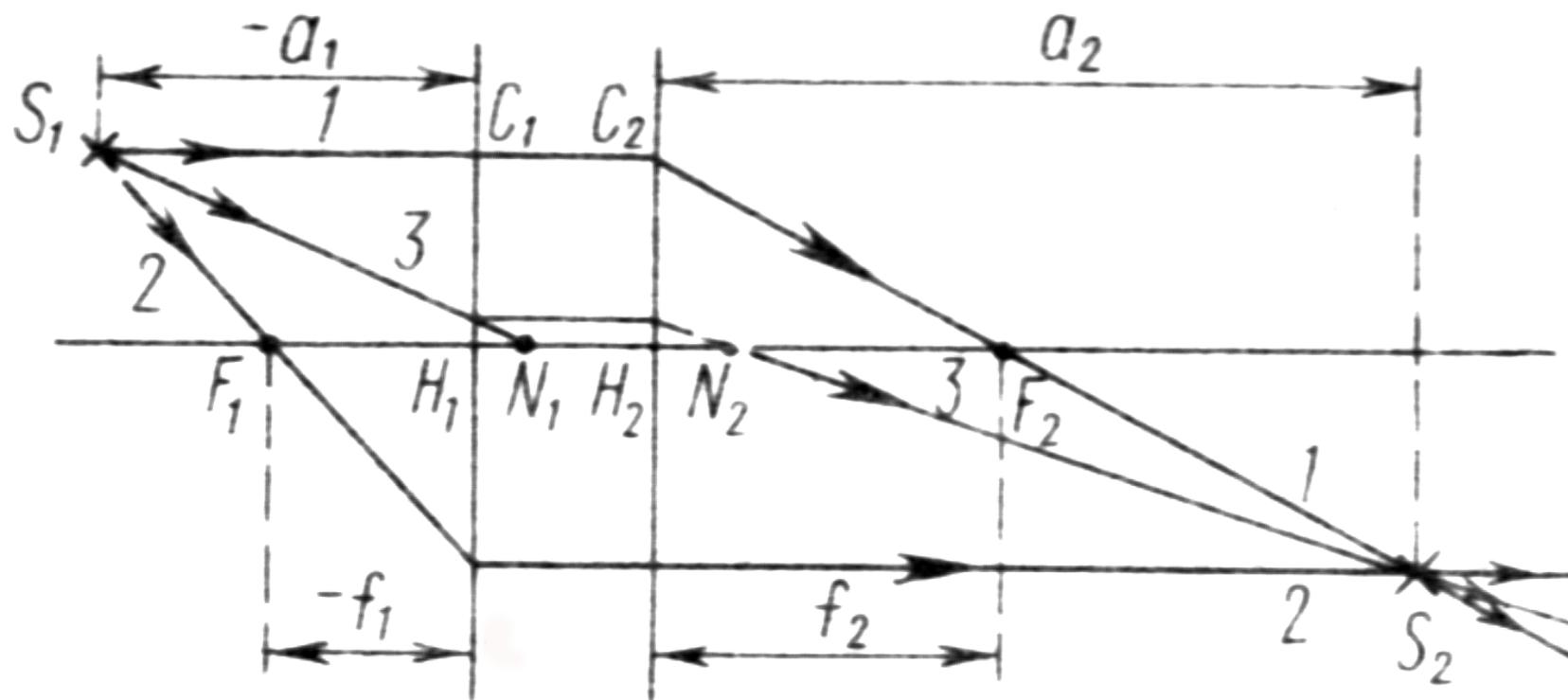


*б)*

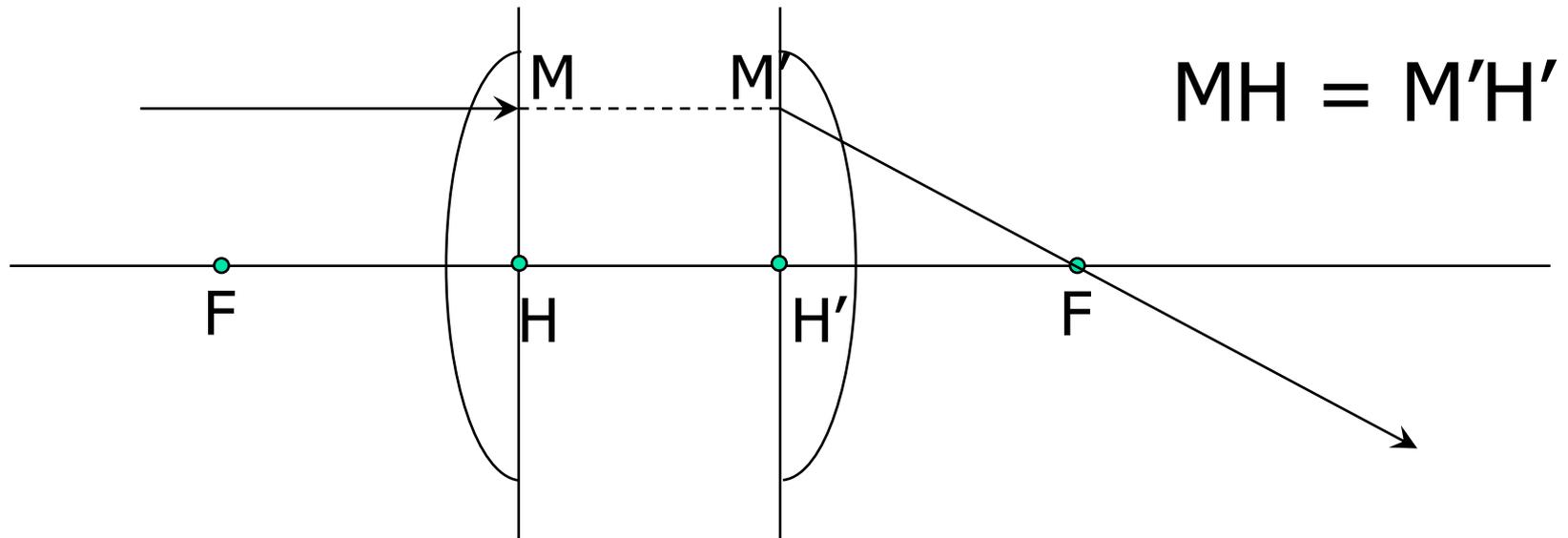


*в)*

# 3. Идеальная центрированная оптическая система (ЦОС)



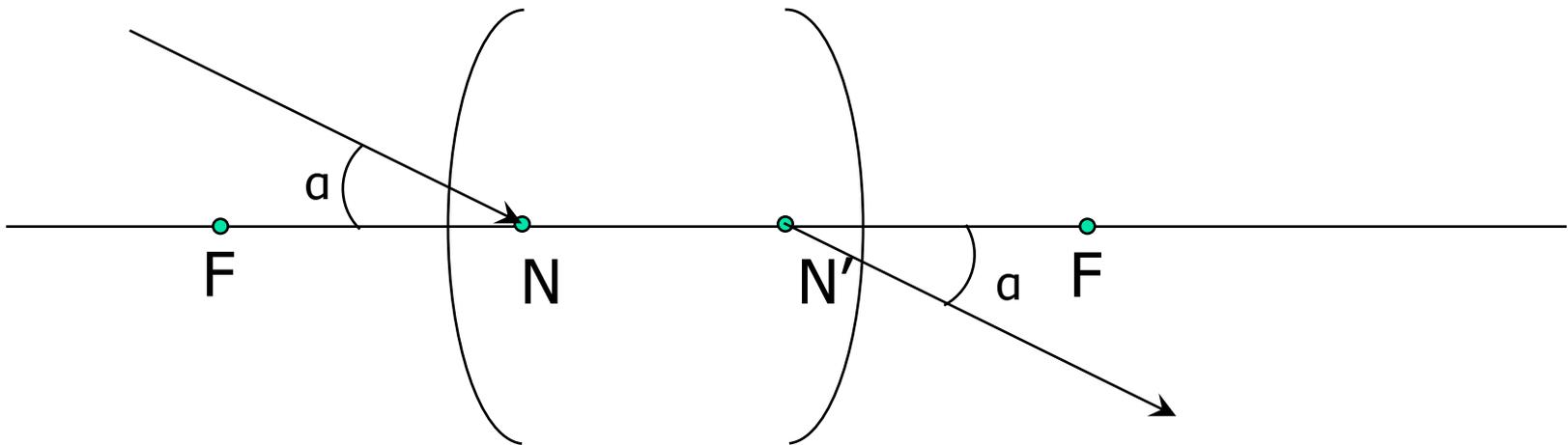
# Идеальная центрированная оптическая система (ЦОС)



**H, H' – главные точки ЦОС**

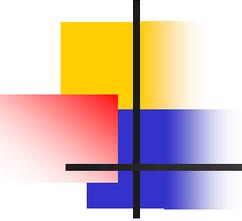
**F – фокусы ЦОС**

# Кардинальные точки ЦОС



$N, N'$  – узловые точки ЦОС

Фокусы, две главные и две узловые точки называются кардинальными точками ЦОС



# Основные точки и плоскости ЦОС

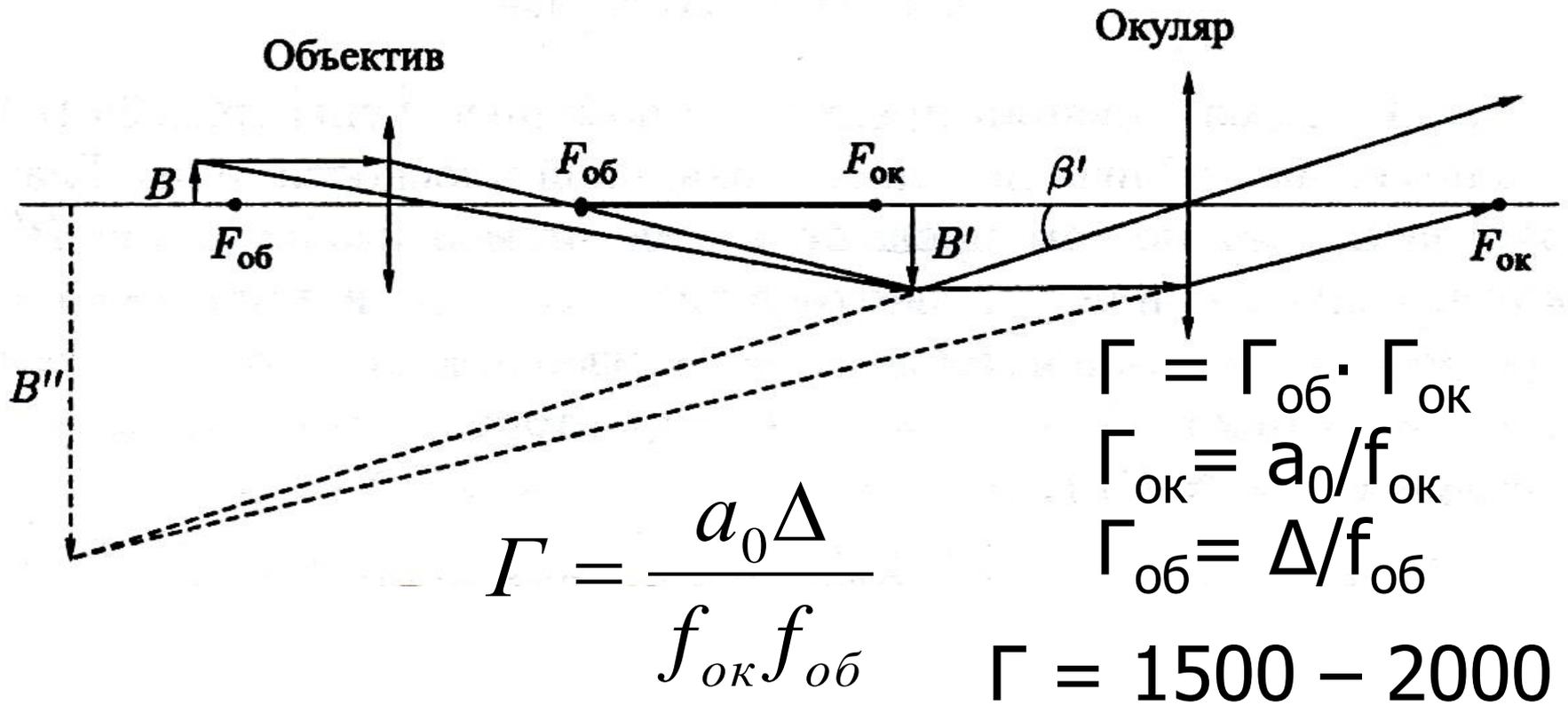
---

1. Главные точки:  $H_1$  и  $H_2$ ;  $C_1H_1 = C_2H_2$

2. Фокусы:  $F_1$  и  $F_2$ ;  $F_1H_1 = -f_1$ ;  $F_2H_2 = f_2$

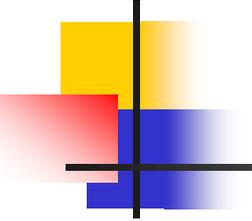
3. Узловые точки:  $N_1, N_2$

# 4. Микроскоп. Увеличение разрешающая способность.



$\Delta$ - оптическая длина тубуса  $\sim f_{об} - f_{ок}$

$a_0 = 25$  см

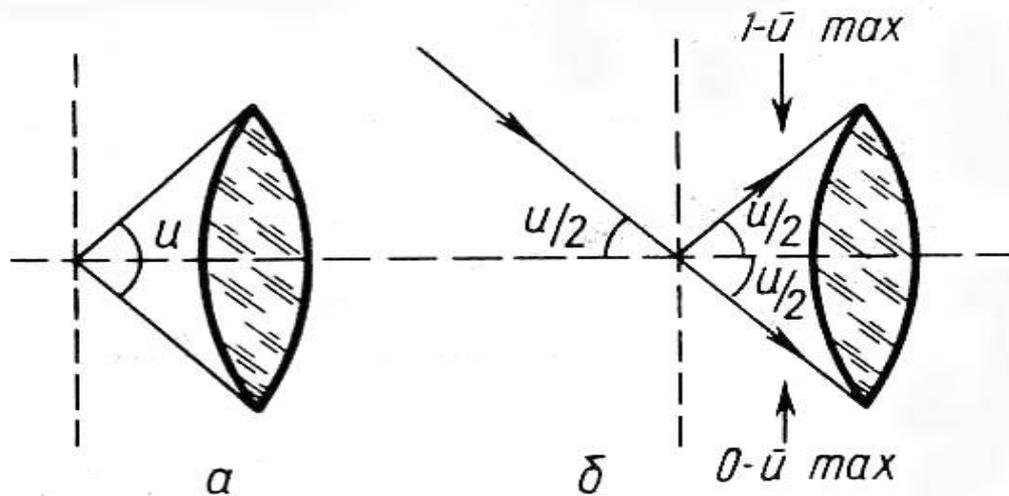


**Увеличение микроскопа** – отношение угла зрения  $\beta'$ , под которым видно изображение предмета, к углу зрения  $\beta$ , под которым предмет виден «невооруженным» глазом с расстояния наилучшего зрения.

**Предел разрешения  $z$**  – наименьшее расстояние между двумя точками предмета, при котором они различимы как отдельные объекты.

**Разрешающая способность** – величина обратная пределу разрешения ( $R=1/z$ )

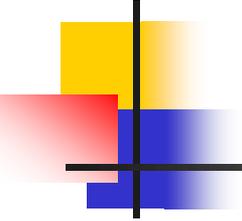
# Теория Э.Аббе



$$2d \cdot \sin(u/2) = \lambda$$

$$z = \frac{0,5\lambda}{\sin(u/2)}$$

Предел разрешения



# Полезное увеличение

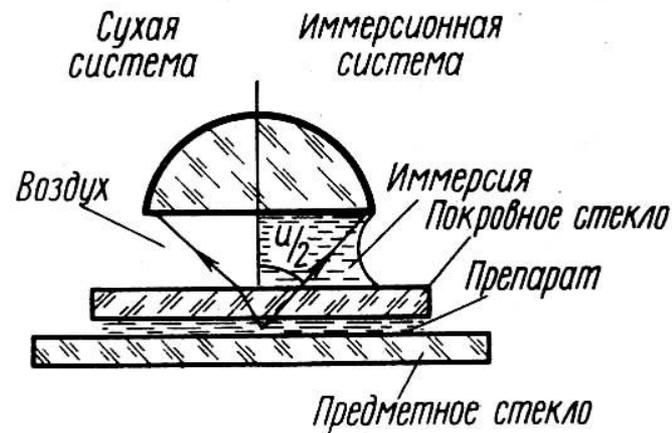
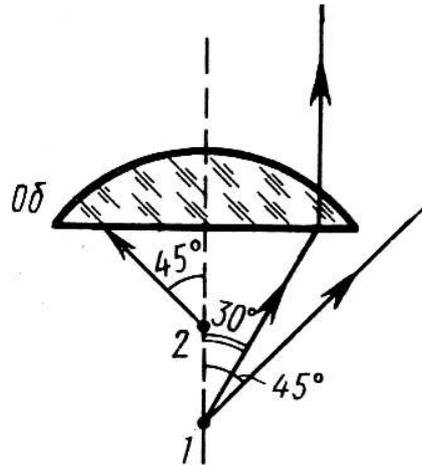
---

**Полезное увеличение** – такое увеличение, при котором предмет, имеющий размер, равный пределу разрешения микроскопа, имеет изображение, размер которого равен пределу разрешения глаза.

$$\Gamma = \frac{z'}{z} \quad \Gamma = \frac{Az'}{0,5\lambda} \quad 500A < \Gamma_n < 1000A$$

# 5. Специальные приемы микроскопии

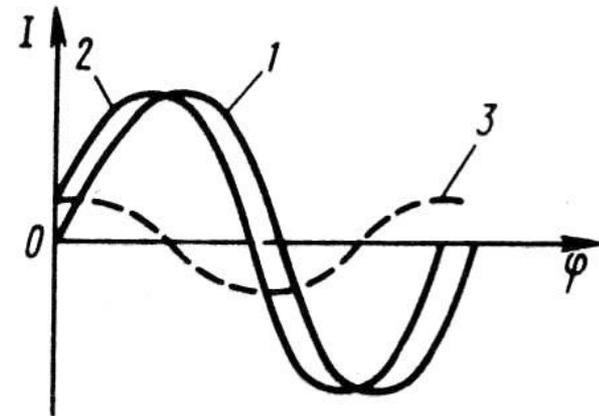
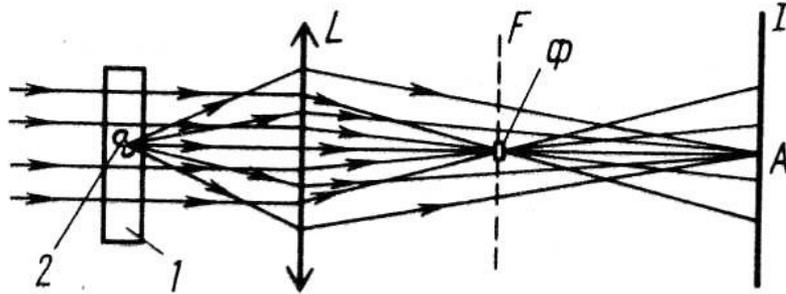
## ■ Метод иммерсии



$$z = \frac{0,5\lambda}{n \sin(u/2)} = \frac{0,5\lambda}{A}$$

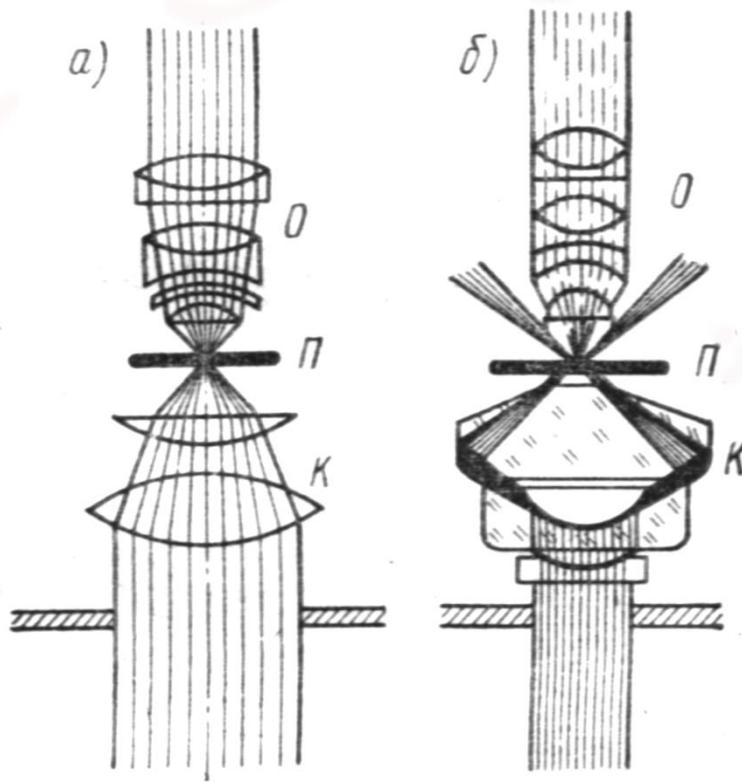
A – числовая апертура

# ■ Метод фазового контраста



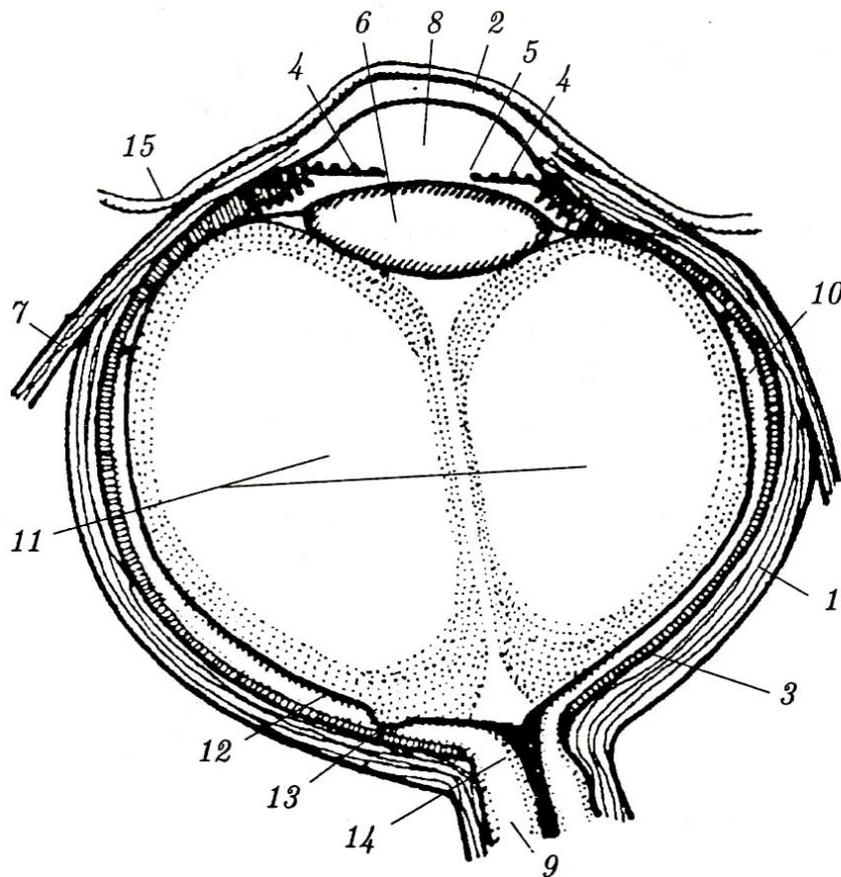
предложен Ф.Цернике

# ■ Метод темного поля



а) – без конденсора  
б) – с конденсором

# 6. Оптическая система глаза

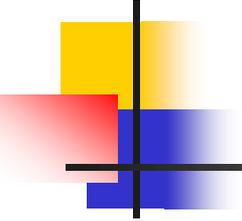


- 1- склера
- 2- роговица
- 3- сосудистая оболочка
- 4- радужная оболочка
- 5-зрачок
- 6-хрусталик
- 7-кольцевая мышца
- 8- передняя камера
- 9-зрительный нерв
- 10- сетчатка
- 11-стекловидное тнло
- 12- желтое пятно
- 13- центральная ямка
- 14- «слепое пятно»
- 15- конъюктива

# Светопроводящая часть глаза

---

- Роговица ( $D = 42 - 43$  дптр)
  - Хрусталик ( $D = 19 - 33$  дптр)
  - Жидкость передней камеры  
( $D = 2 - 4$  дптр)
  - Стекловидное тело ( $D = 5 - 6$  дптр)
- В покое оптическая сила всего глаза  
около **60** дптр.



# Характеристики

---

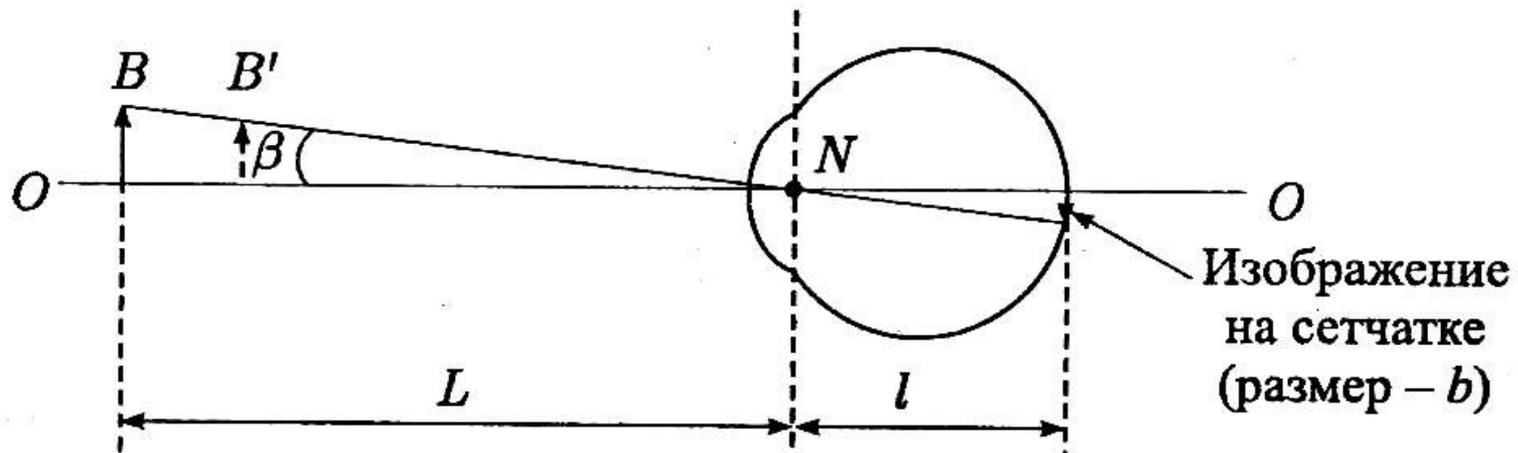
**Аккомодация** – приспособление глаза к четкому видению различно удаленных предметов.

**Расстояние наилучшего зрения** –

$$a_0 = 25 \text{ см}$$

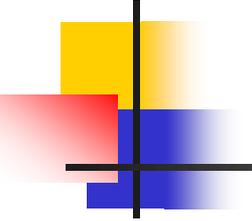
**Ближняя точка глаза** – наиболее близкое расположение предмета от глаза, при котором еще возможно четкое изображение на сетчатке

**Угол зрения** – это угол между лучами, идущими от крайних точек предмета через оптический центр глаза



$$B/L = b/l \text{ следовательно } b = Bl/L$$

и  $l = 17 \text{ мм}$



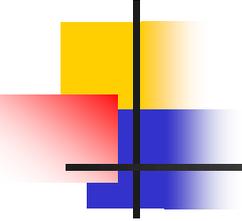
**Разрешающая способность** – это способность различать две близкие точки предмета отдельно.

---

**Предел разрешения** – наименьшее расстояние между двумя точками предмета, рассматриваемого с расстояния наилучшего зрения, при котором они различимы как отдельные объекты.

$$Z = a_0 \beta \quad a_0 = 0,25 \text{ м}; \beta = 3 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

$$Z = 75 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 75 \text{ мкм}$$



# Острота зрения

---

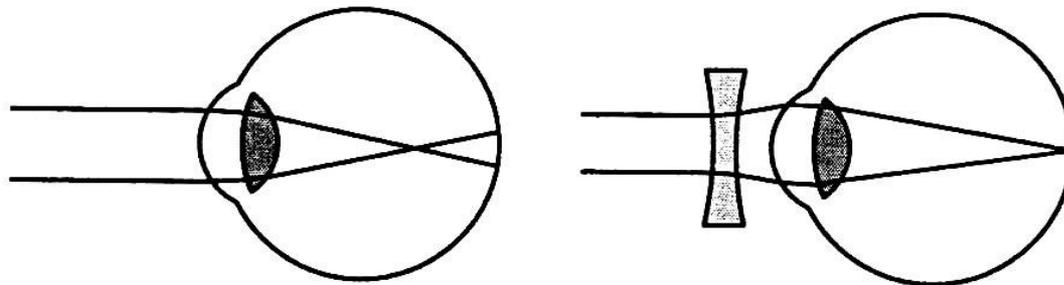
**Острота зрения** – величина, обратная  
наименьшему углу зрения ( $V = 1/\beta$ )

Таблица 1. Острота зрения для некоторых значений  $\beta$

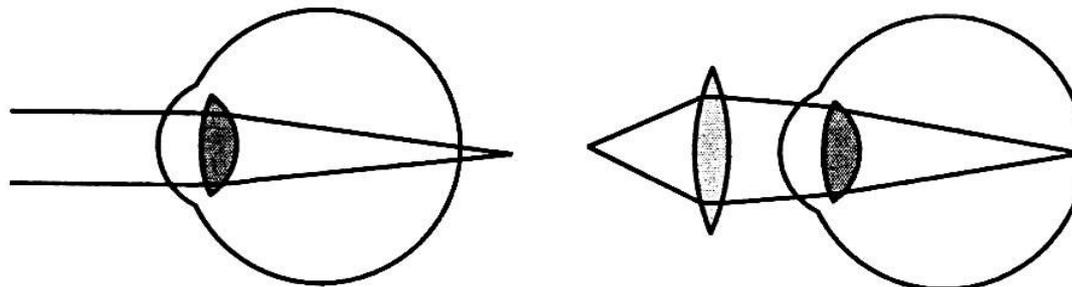
$\beta$	1	2	4	10
$V$	1	0,5	0,25	0,1

В норме  $V=1$

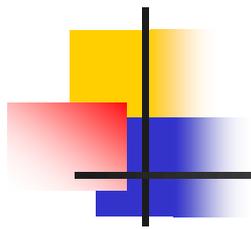
# Недостатки оптической системы глаза



а) Близорукий глаз



б) Дальнозоркий глаз



Близорукость

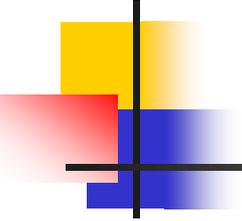


Дальнозоркость



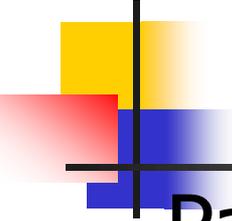
Астигматизм

# Световоспринимающая часть глаза



---

- Сетчатка
- Палочки (более светочувствительны)  
– аппарат зрения сумеречного  
ахроматического (130 млн.)
- Колбочки – аппарат зрения дневного  
и цветового (7 млн.)

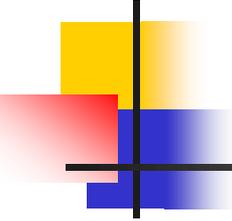


# Заключение:

---

## Рассмотрены:

1. основные волновые процессы (интерференция, дифракция)
2. основные характеристики и недостатки линз
3. устройство микроскопа
4. оптическая система глаза, недостатки зрения и способы их устранения



# Тест-контроль

---

Недостаток оптической системы глаза – дальнозоркость – устраняется с помощью линз:

1. рассеивающей
2. собирающей
3. цилиндрической.

# РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

## Обязательная:

- Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник. -М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012..-

## Дополнительная:

- Федорова В.Н., Е. В. Фаустов. Краткий курс медицинской и биологической физики с элементами реабилитологии: учебное пособие. -М.:ГЭОТАР-Медиа,2010 .-
- Антонов В.Ф., А. М. Черныш, Е. К. Козлова [и др.] Физика и биофизика. Курс лекций: учебное пособие. -М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008.-
- Ремизов А.Н., Максина А.Г. Сборник задач по медицинской и биологической физике: учеб. пособие для вузов. М. : Дрофа, 2010.
- Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике для самост. работы студентов /сост. О.Д. Барцева и др. Красноярск: Литера-принт, 2009.-
- Сборник задач по медицинской и биологической физике: учебное пособие для самост. работы студентов / сост. О.П.Квашнина и др. -Красноярск: тип.КрасГМА, 2007.-
- Физика. Физические методы исследования в биологии и медицине: метод. указания к внеаудит. работе студентов по спец. – педиатрия / сост. О.П.Квашнина и др. -Красноярск: тип.КрасГМУ, 2009.-

## Электронные ресурсы:

- ЭБС КрасГМУ
- Ресурсы интернет
- Эдельман Е.Д. Физика с элементами биофизики. [Электронный ресурс] : учебник. - Режим доступа: <http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425244.h>



Красноярский  
Государственный  
Медицинский  
Университет  
им. проф.  
В.Ф.Войно-Ясенецкого



**БЛАГОДАРЮ  
ЗА ВНИМАНИЕ**