

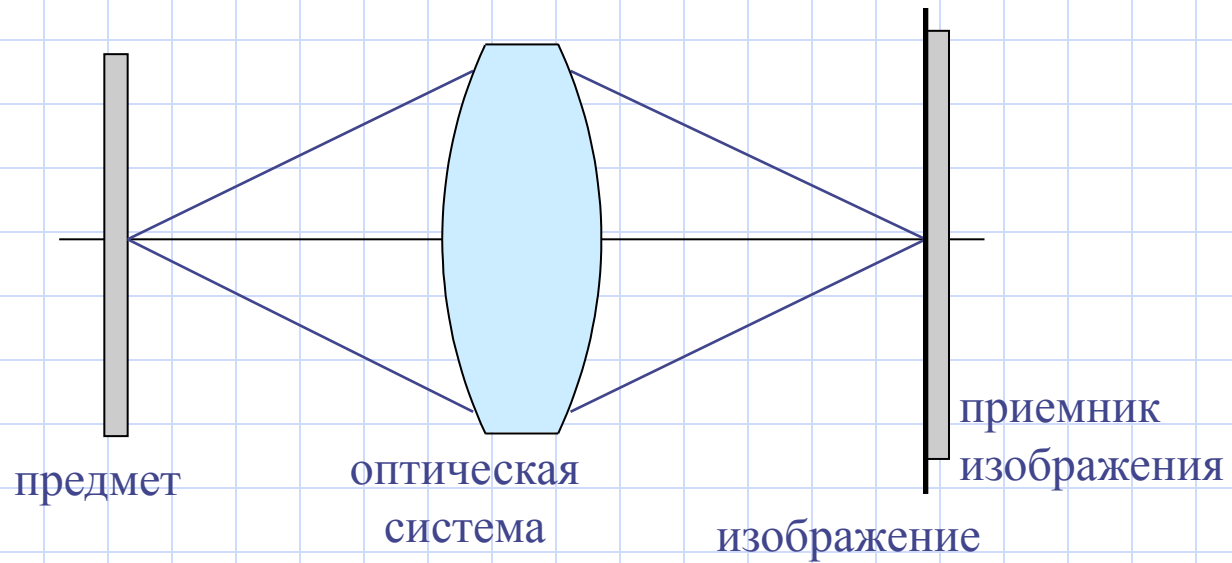
# Основные характеристики оптических систем

Введение в специальность  
кафедра  
прикладной и компьютерной оптики

# Оптическая система

- **Оптическая система** – совокупность оптических сред, разделенных оптическими поверхностями, и содержащая диафрагмы
- Оптическая система предназначена для формирования изображения посредством перераспределения электромагнитного поля, исходящего от предмета

# Оптический прибор



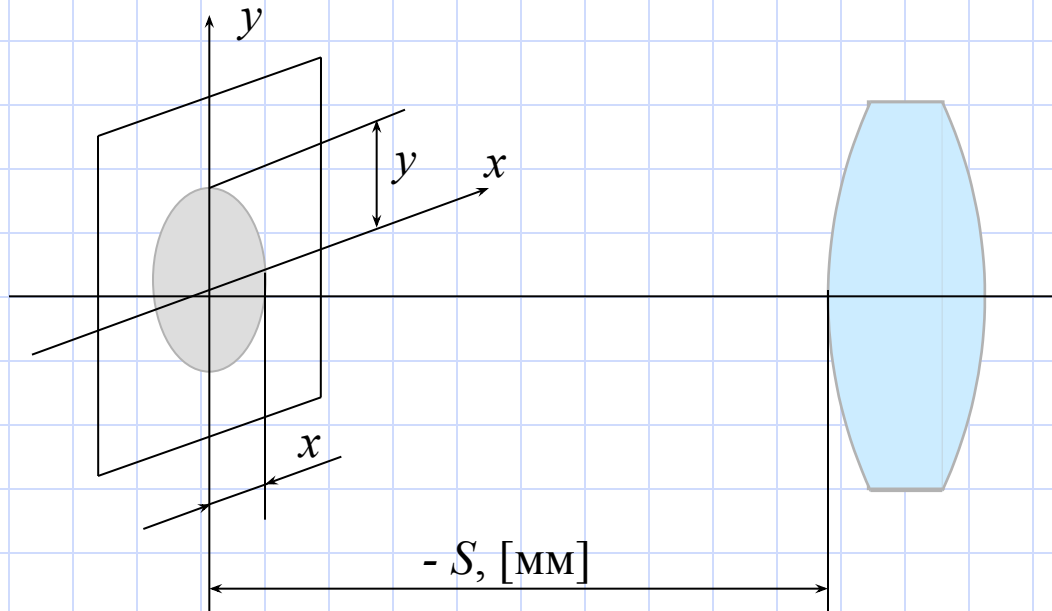
# Характеристики оптических систем

- Присоединительные характеристики
  - Характеристики предмета и изображения
  - Зрачковые характеристики
  - Спектральные характеристики

# Характеристики предмета и изображения

- **Предмет** – это совокупность точек, из которых выходят лучи, попадающие в оптическую систему
  - **Ближний тип** – предмет или изображение расположены на конечном расстоянии
  - **Дальний тип** – предмет или изображение расположены в бесконечности

# Ближний предмет и изображение



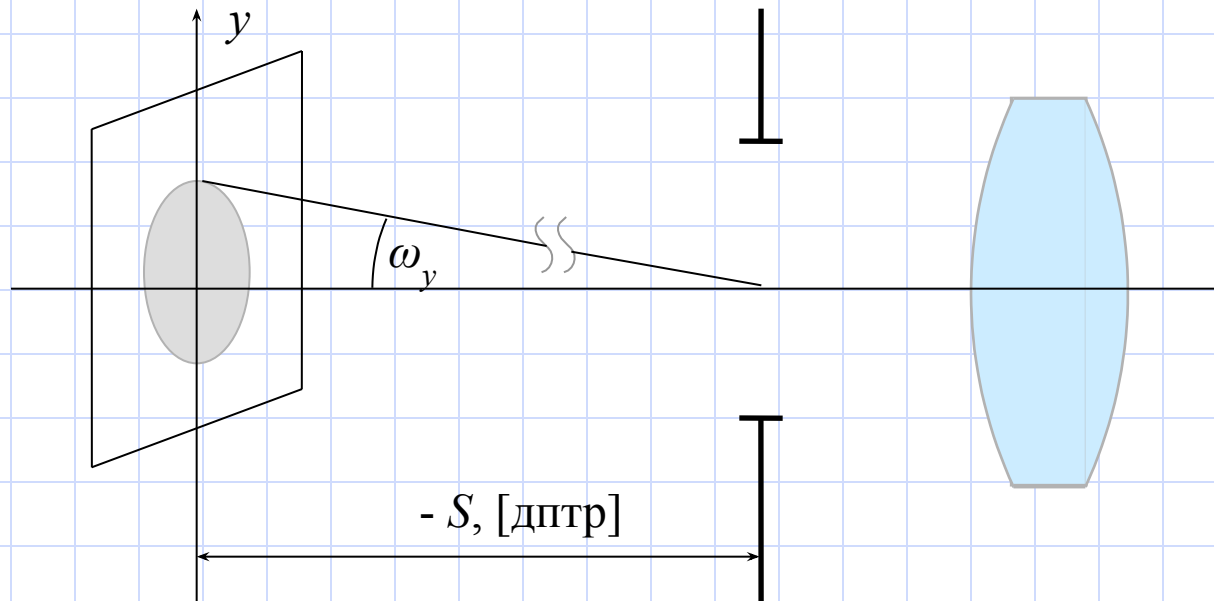
предмет

$$x = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

изображение

$$x' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix}$$

# Удаленный предмет и изображение



предмет

$$x = \begin{pmatrix} tg\omega_x \\ tg\omega_y \end{pmatrix}$$

изображение

$$x' = \begin{pmatrix} tg\omega'_x \\ tg\omega'_y \end{pmatrix}$$

# Обобщенные характеристики предмета и изображения

- Обобщенные размеры поля предмета и изображения  $(2y_{0\max}, 2y'_{0\max})$  – это удвоенные максимальные размеры предмета и изображения
- Передний и задний отрезки  $(S, S')$  – указывают положение предмета (изображения) по отношению к оптической системе

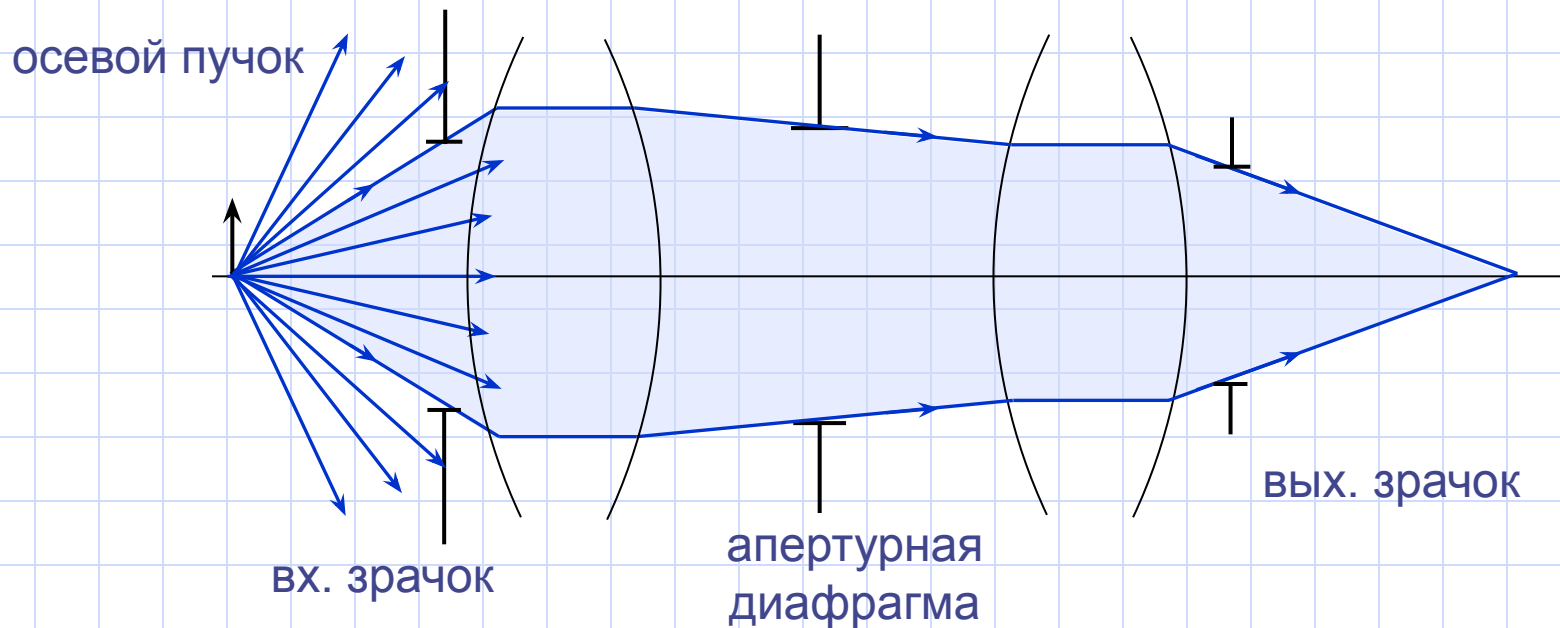


# Типы оптических систем

- **Телескопическая система:**
  - дальний предмет
  - дальнейшее изображение
- **Фотографический объектив:**
  - дальний предмет
  - ближнее изображение
- **Микроскоп:**
  - ближний предмет
  - дальнейшее изображение
- **Репродукционная система:**
  - ближний предмет
  - ближнее изображение

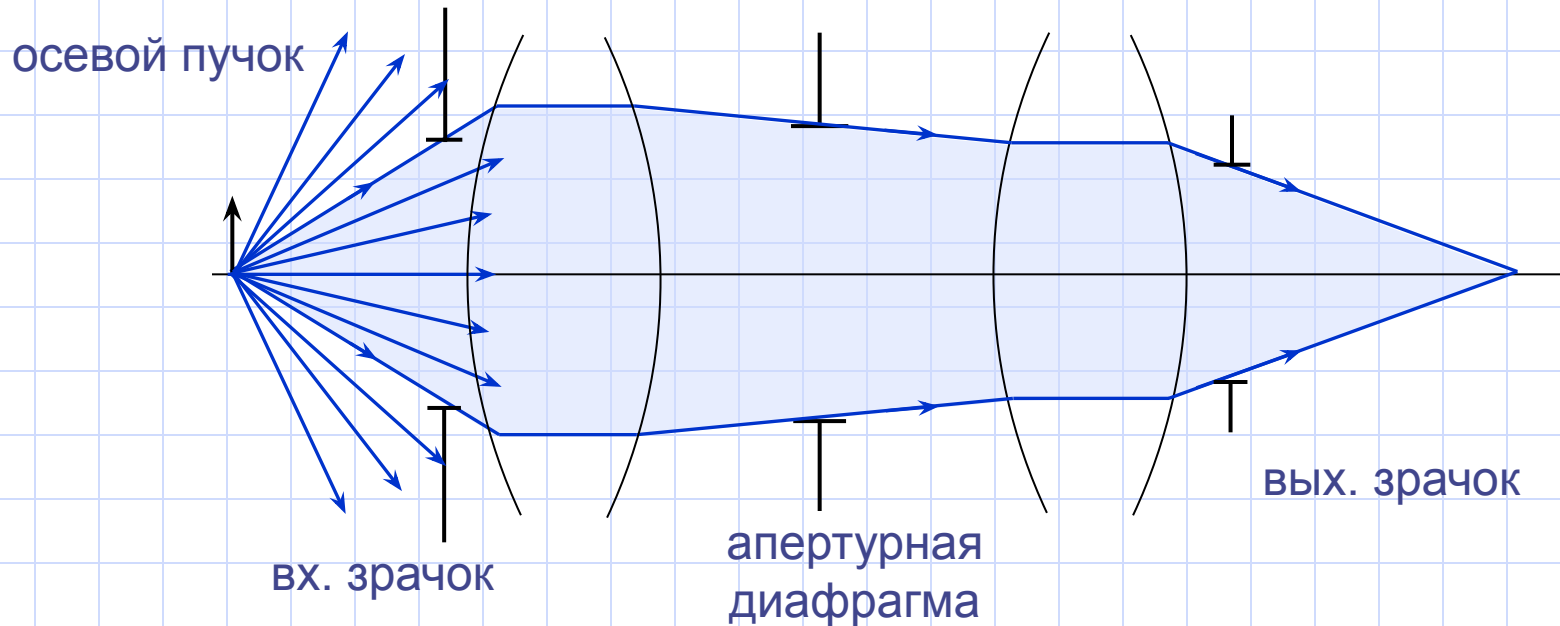
# Зрачковые характеристики

- **Апертурная диафрагма** – это диафрагма, которая ограничивает размер осевого пучка, то есть пучка, идущего из осевой точки предмета



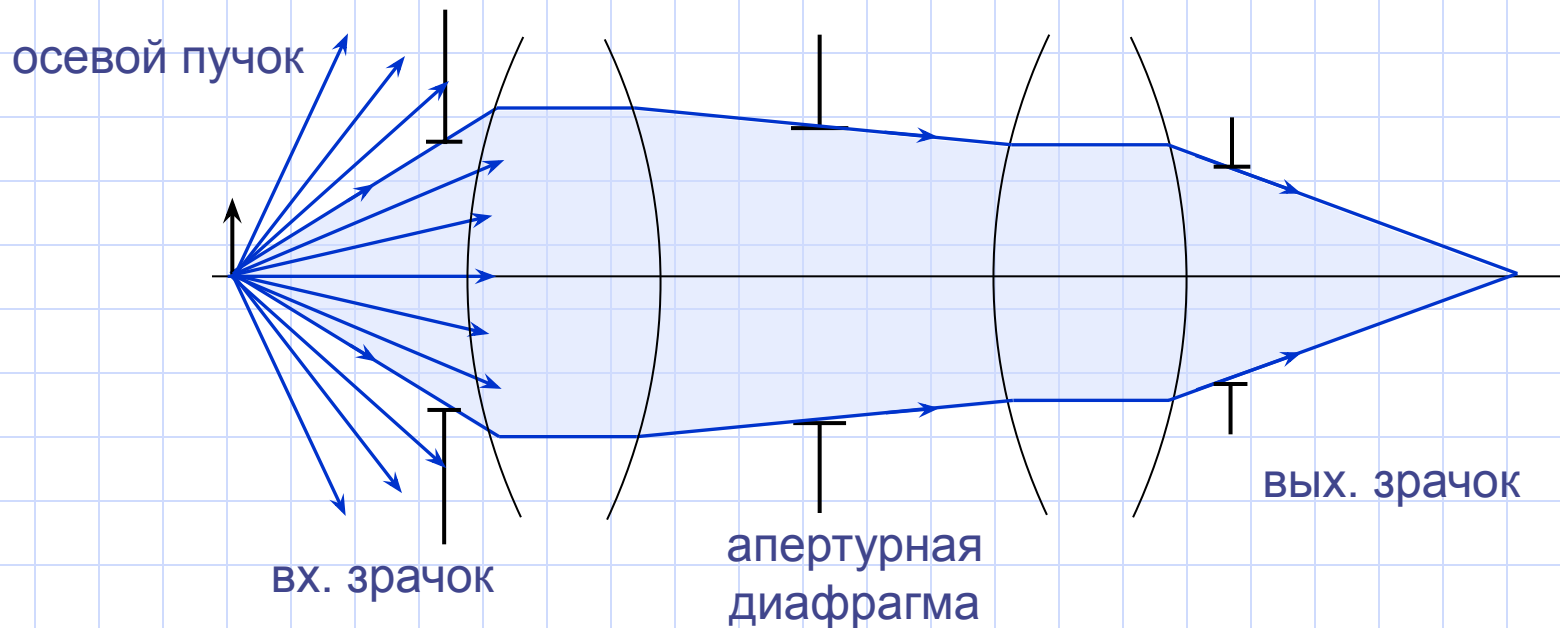
# Входной и выходной зрачок

- **Входной зрачок оптической системы** – это изображение апертурной диафрагмы в пространстве предметов, сформированное предшествующей частью оптической системы в обратном ходе лучей



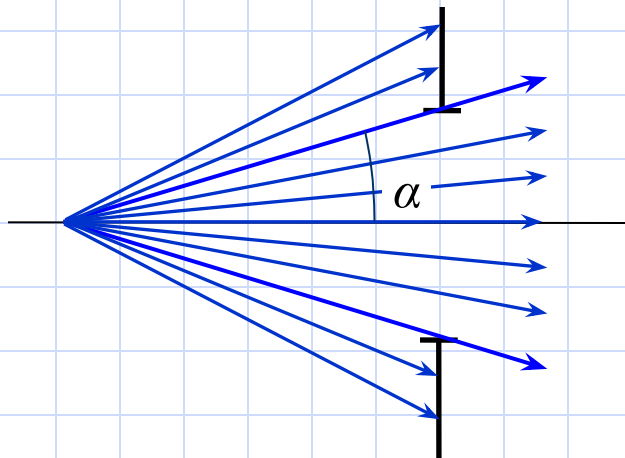
# Входной и выходной зрачок

- **Выходной зрачок** – это изображение апертурной диафрагмы в пространстве изображений, сформированное последующей частью оптической системы в прямом ходе лучей



# Апертура

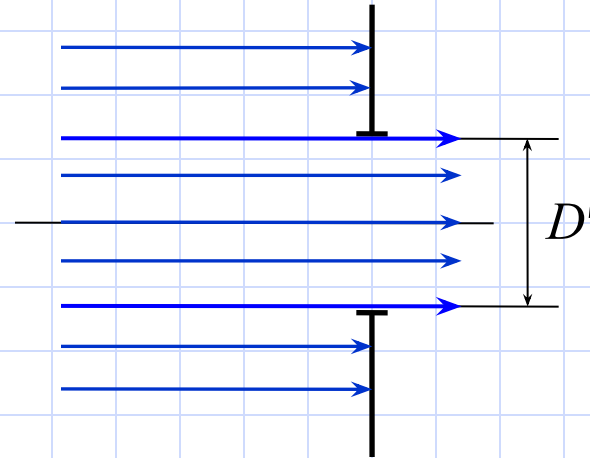
- **Передняя (задняя) апертура** – это размер входного (выходного) зрачка
- **Числовая апертура** – это произведение размера зрачка на показатель преломления



близкий предмет:

$$A = n \cdot \sin \alpha$$

близкое изображение:  $A' = n' \cdot \sin \alpha'$



удаленный предмет:  $A = n \cdot \frac{D'}{2}$

удаленное изображение:  $A' = n' \cdot \frac{D'}{2}$

# Положение зрачков

- Для удаленного предмета или изображения:
  - **положение зрачка** ( $S_p$  или  $S'_p$ ) измеряется относительно оптической системы в обратных миллиметрах, то есть в килодиоптриях
- Для близкого предмета или изображения:
  - **положение зрачка** ( $S_p$  или  $S'_p$ ) измеряется в миллиметрах от предмета (изображения)

# Спектральные характеристики

- $\lambda_{\text{н}}$ ,  $\lambda_{\text{в}}$  – нижняя и верхняя границы спектрального интервала
- $\lambda_0$  – центральная (основная) длина волны
- **Функция относительного спектрального пропускания  $\tau(\lambda)$**  показывает, какое количество света пропускает оптическая система по отношению к падающему свету

# Характеристики оптических систем

- Воздействие оптической системы:
  - преобразование расходящегося пучка лучей, исходящего от предмета, в сходящиеся пучки (**изменение масштаба**)
  - ограничение размеров пучка лучей и ослабление интенсивности света (**передача энергии**)
  - искажение структуры предмета вследствие нарушения формы пучка лучей (**передача структуры**)
- Передаточные характеристики:
  - масштабные передаточные характеристики
  - энергетические передаточные характеристики
  - структурные передаточные характеристики



# Масштабные передаточные характеристики

- **Обобщенное увеличение** – это отношение величины изображения к величине предмета:

$$y' = V \cdot y$$

обобщенное увеличение также связывает между собой входные и выходные апертуры:

$$A = V \cdot A'$$

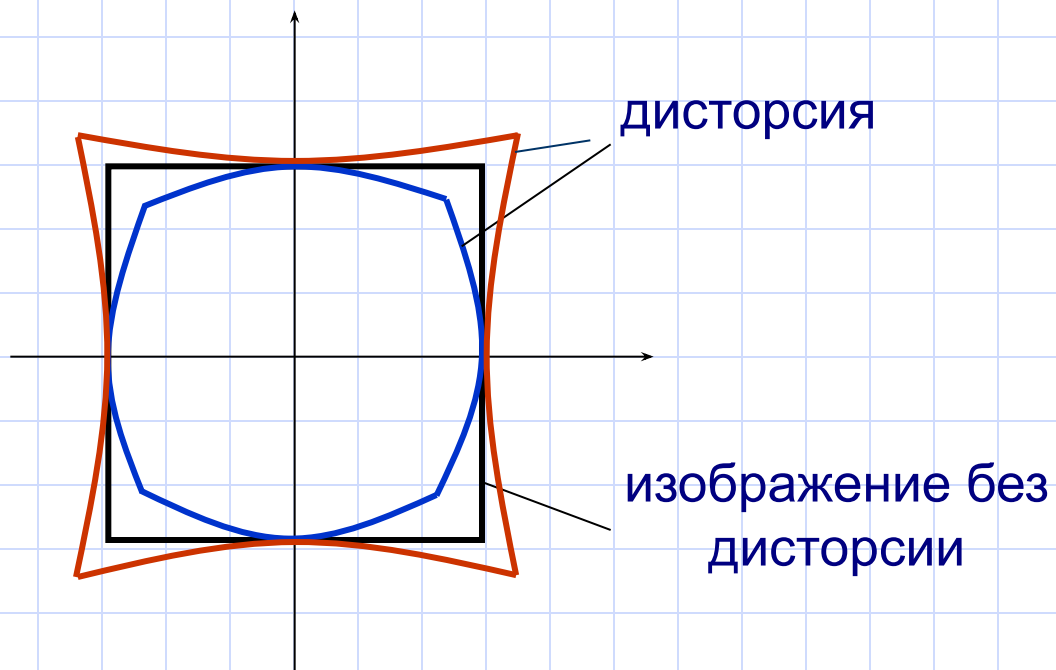
- **Видимое увеличение** – это отношение тангенса угла, под которым предмет наблюдается через оптическую систему, к тангенсу угла, под которым предмет наблюдается невооруженным глазом

# Обобщенное увеличение

| Тип                      | Предмет  | Изображение | Обобщенное увеличение                        | Размерность      |
|--------------------------|----------|-------------|----------------------------------------------|------------------|
| телескопическая система  | угловой  | угловое     | угловое увеличение $\beta$                   | —                |
| фотографический объектив | угловой  | линейное    | переднее фокусное расстояние $f$             | мм               |
| микроскоп                | линейный | угловое     | обратное заднее фокусное расстояние $1 / f'$ | мм <sup>-1</sup> |
| репродукционная система  | линейный | линейное    | поперечное увеличение $U$                    | —                |

# Дисторсия

- **Дисторсия** – увеличение в различных точках поля не одинаковое



# Энергетические передаточные характеристики

- **Светосила  $H$**  характеризует способность прибора давать более или менее яркие изображения:

$$H = \frac{E'}{E}$$

- где  $E$  – освещенность предмета,  $E'$  – освещенность изображения

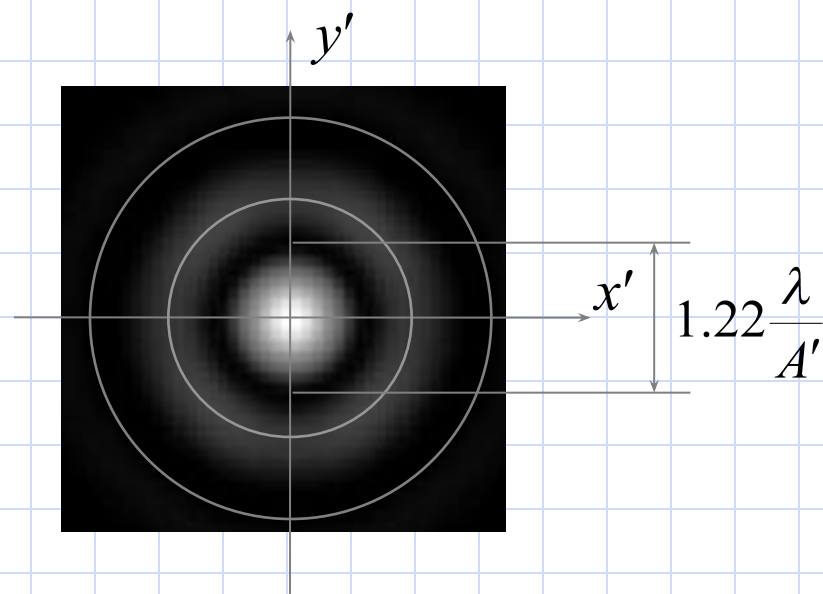
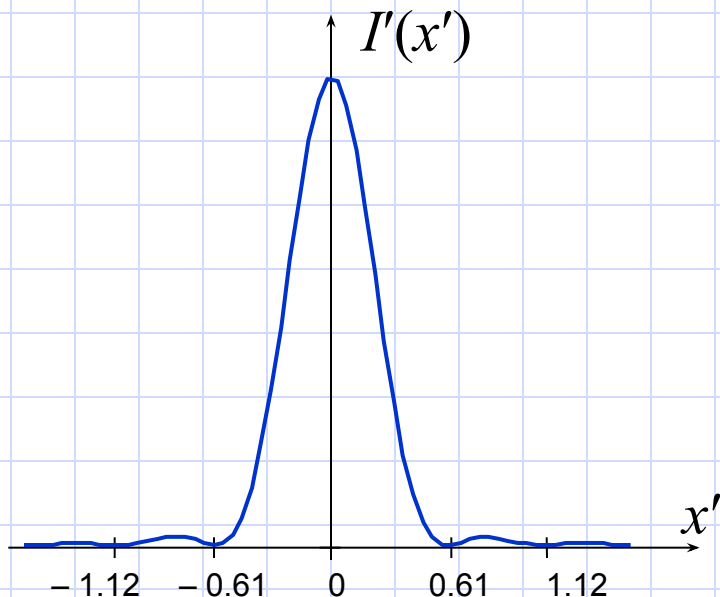
- **Функция светораспределения по полю  $\Phi$**  характеризует равномерность изображения:

$$\Phi = \frac{H}{H_0}$$

- где  $H_0$  – светосила в центре поля,  $H$  – светосила на краю поля

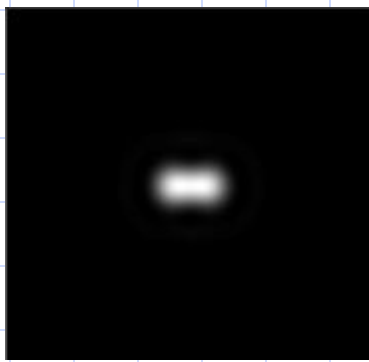
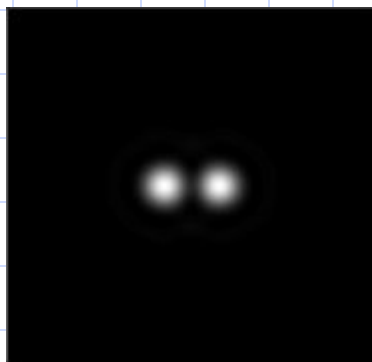
# Структурные передаточные характеристики

- **Функция рассеяния точки (ФРТ)** описывает распределение интенсивности в изображении светящейся точки. Изображение светящейся точки называют **пятном рассеяния**



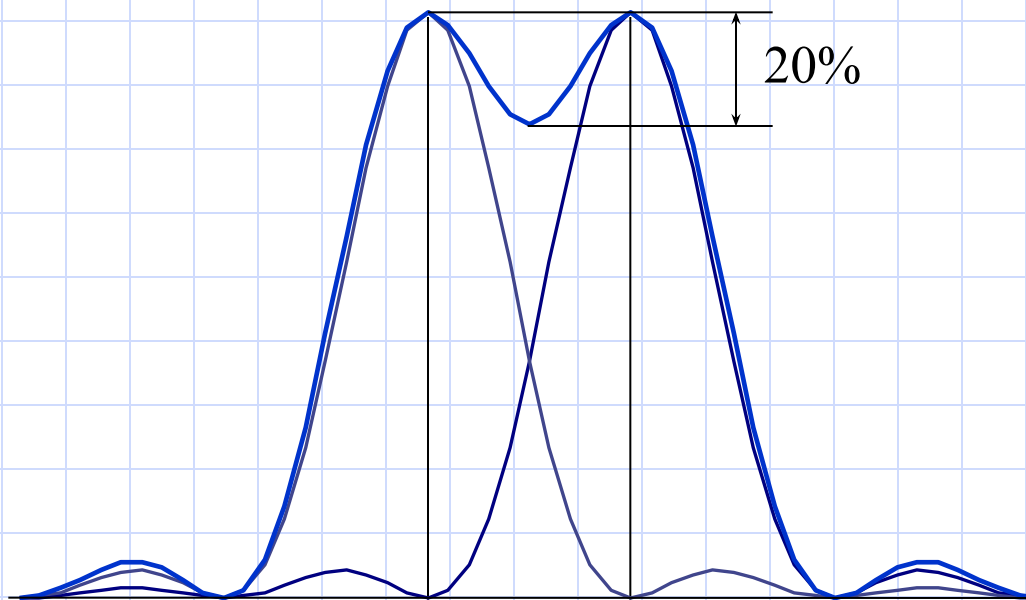
# Разрешающая способность

- **Разрешающая способность оптической системы** – это способность изображать раздельно два близко расположенных точечных предмета



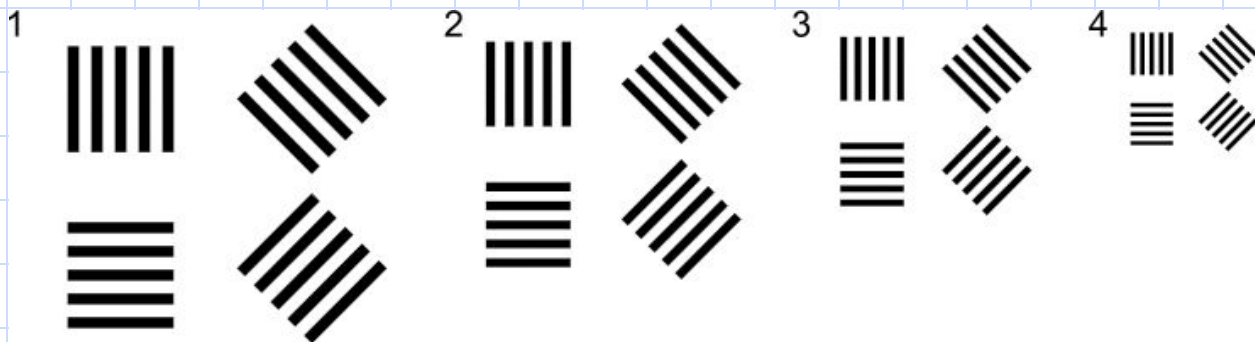
# Разрешающая способность по Рэлею

- **Предел разрешения** – минимальное расстояние, при котором два близко расположенных точечных предмета будут изображаться как раздельные



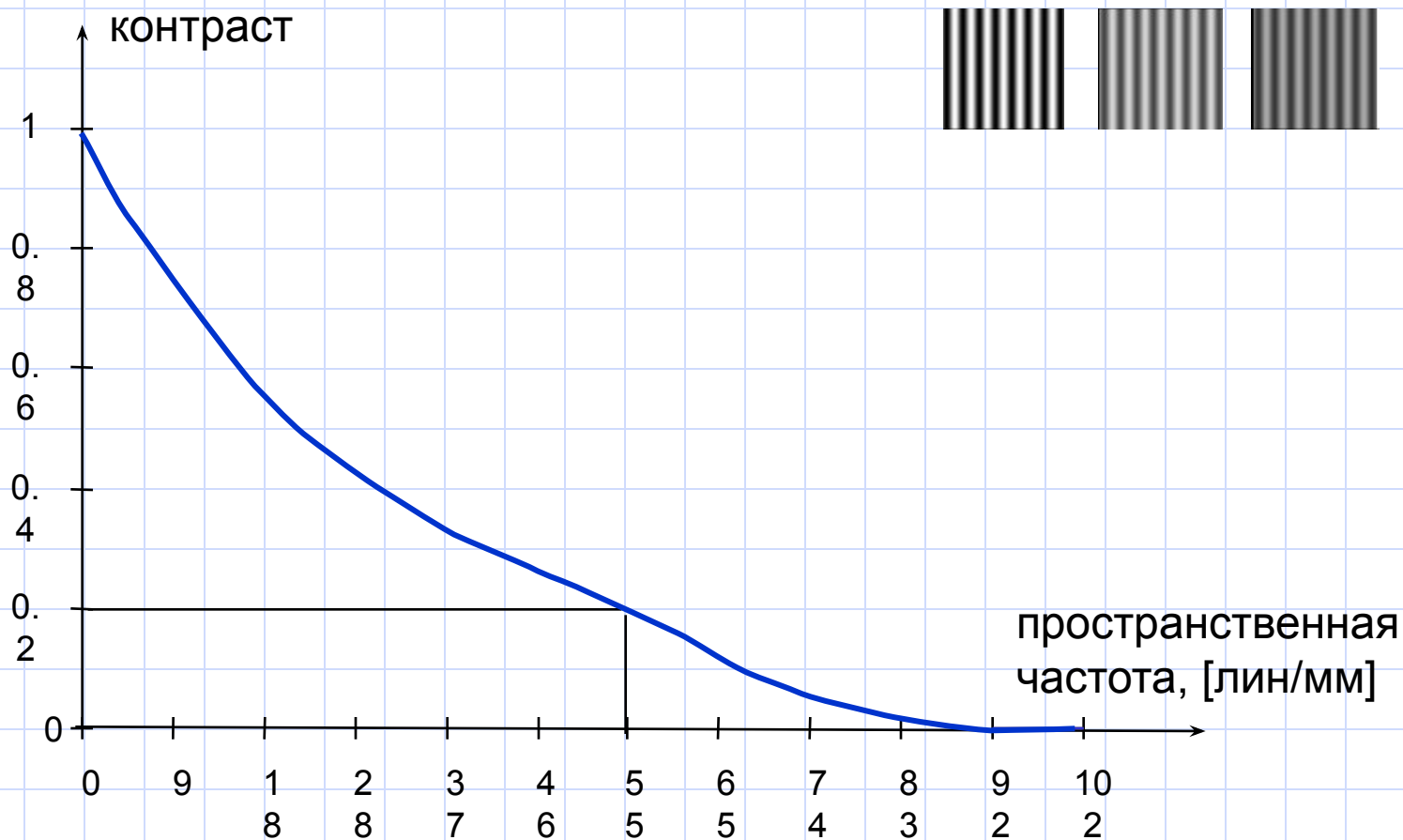
# Разрешающая способность по Фуко

- Разрешающая способность определяется как максимальная пространственная частота периодического тест-объекта, в изображении которого еще различимы штрихи
- Пространственная частота измеряется:
  - для удаленного изображения [лин/рад]
  - для близкого изображения [лин/мм]





# Частотно-контрастная характеристика



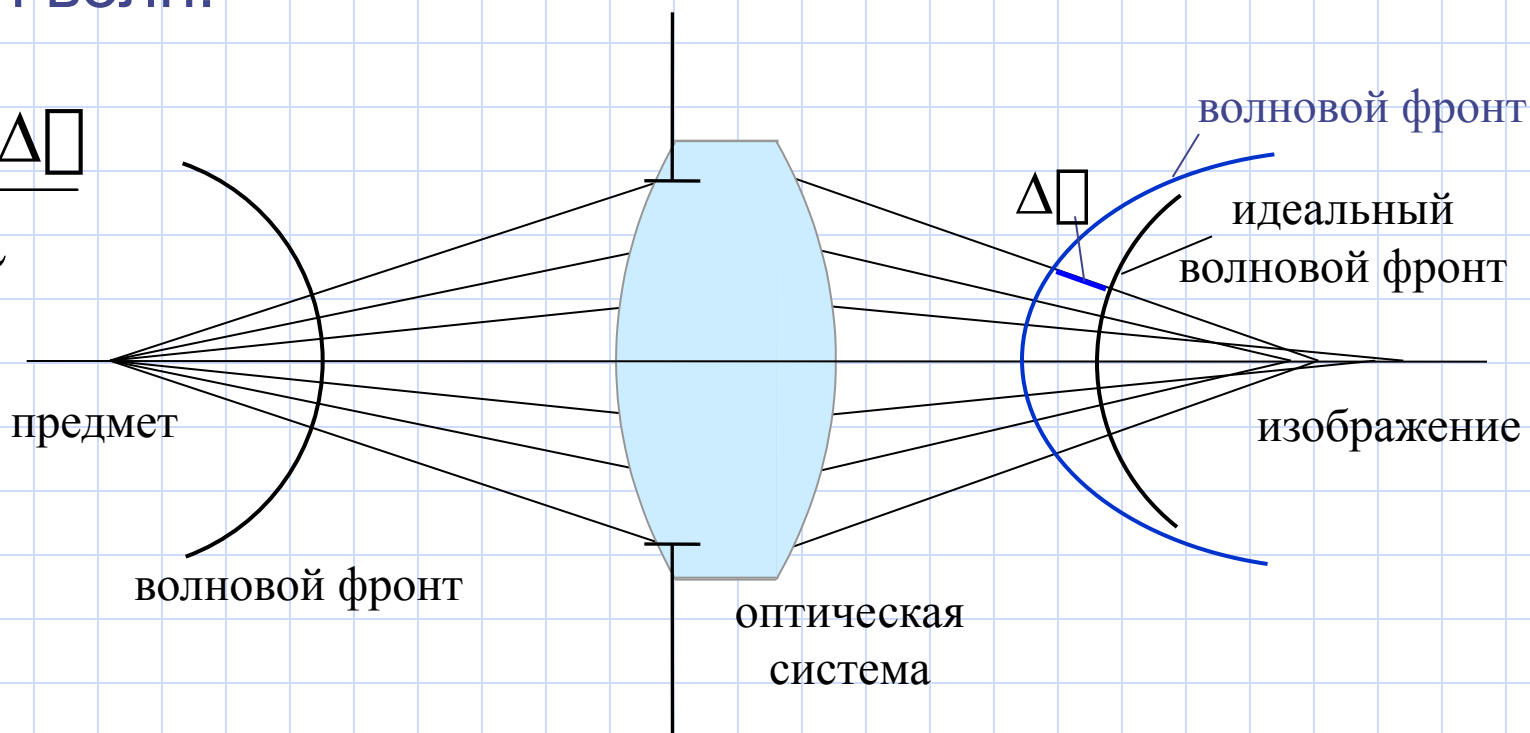
# Аберрации

- **Аберрация** – это отклонение хода реального луча от идеального. Аберрации приводят к ухудшению качества изображения
  - если аберрации малы и преобладает дифракция, то такие системы называются **дифракционно-ограниченными**
  - если аберрации велики, и дифракция теряется на фоне аберраций, то такие системы называются **геометрически-ограниченными**

# Волновая аберрация

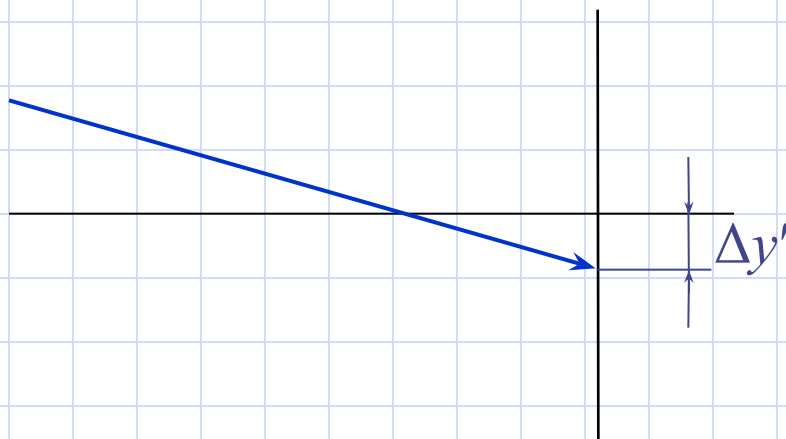
- **Волновая аберрация** – это отклонение выходящего волнового фронта от идеального, измеренное вдоль данного луча в количестве длин волн:

$$W = \frac{n' \cdot \Delta \varphi}{\lambda}$$



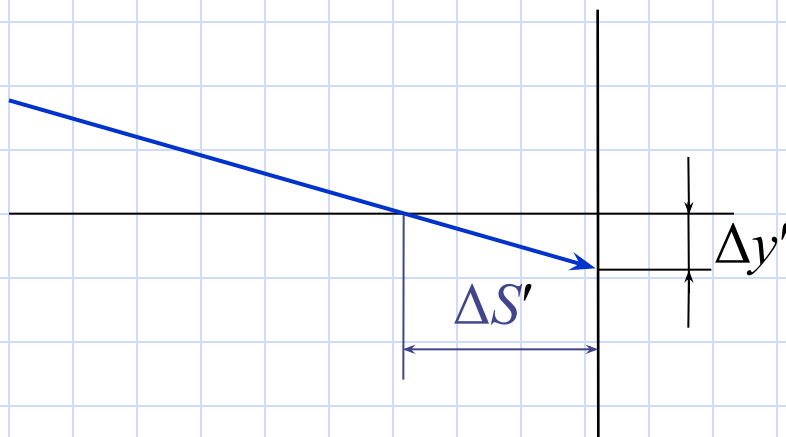
# Поперечные аберрации

- **Поперечные аберрации**  $\Delta x'$ ,  $\Delta y'$  – это отклонения координат точки пересечения реального луча с плоскостью изображения от координат точки идеального изображения:
  - для изображения ближнего типа – [мм]
  - для изображения дальнего типа – [рад]



# Продольная абберрация

- **Продольная абберрация  $\Delta S'$**  – это отклонение координаты точки пересечения реального луча с осью от координаты точки идеального изображения вдоль оси:
  - для изображения ближнего типа – [мм]
  - для изображения дальнего типа – [мм<sup>-1</sup>]



# Хроматические aberrации

- **Монохроматические aberrации** не зависят от длины волны
- **Хроматические aberrации** – это проявление зависимости характеристик оптической системы от длины волны света:
  - **хроматизм положения** – это aberrация, при которой изображения одной точки предмета расположены на разном расстоянии от оптической системы для разных длин волн
  - **хроматизм увеличения** – это aberrация, при которой увеличение оптической системы зависит от длины волны