

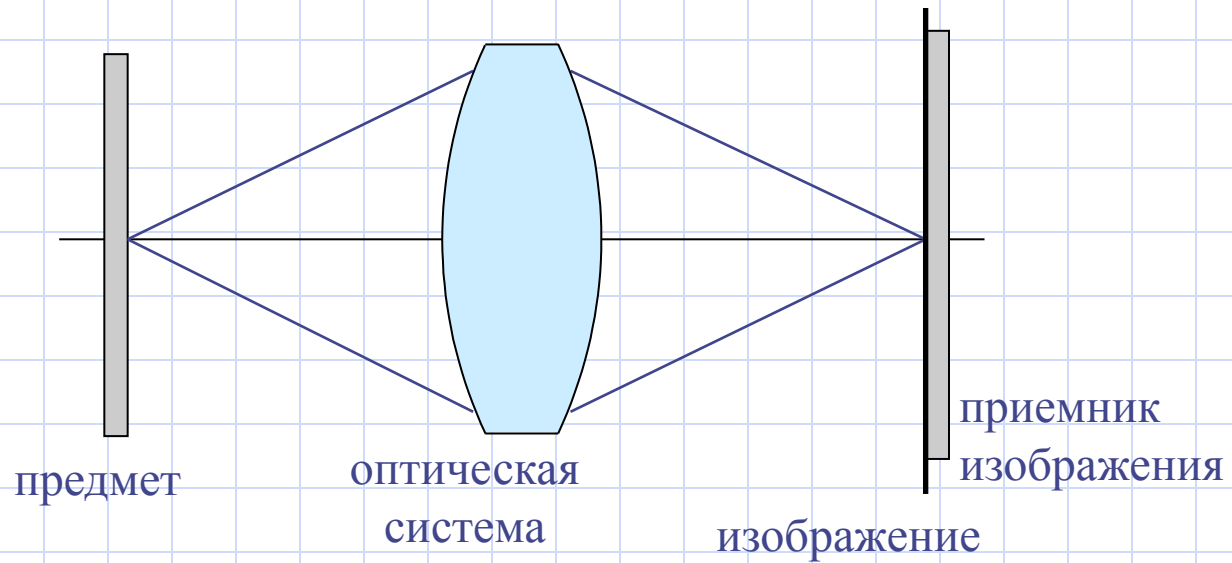
Основные характеристики оптических систем

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



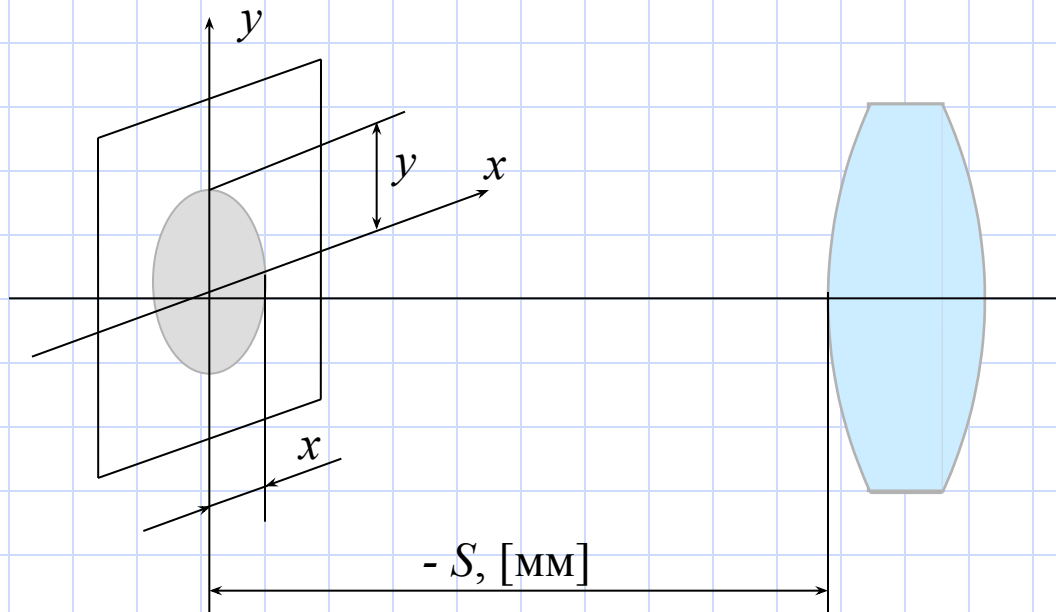
Характеристики оптических систем

- 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

Ближкий предмет и изображение



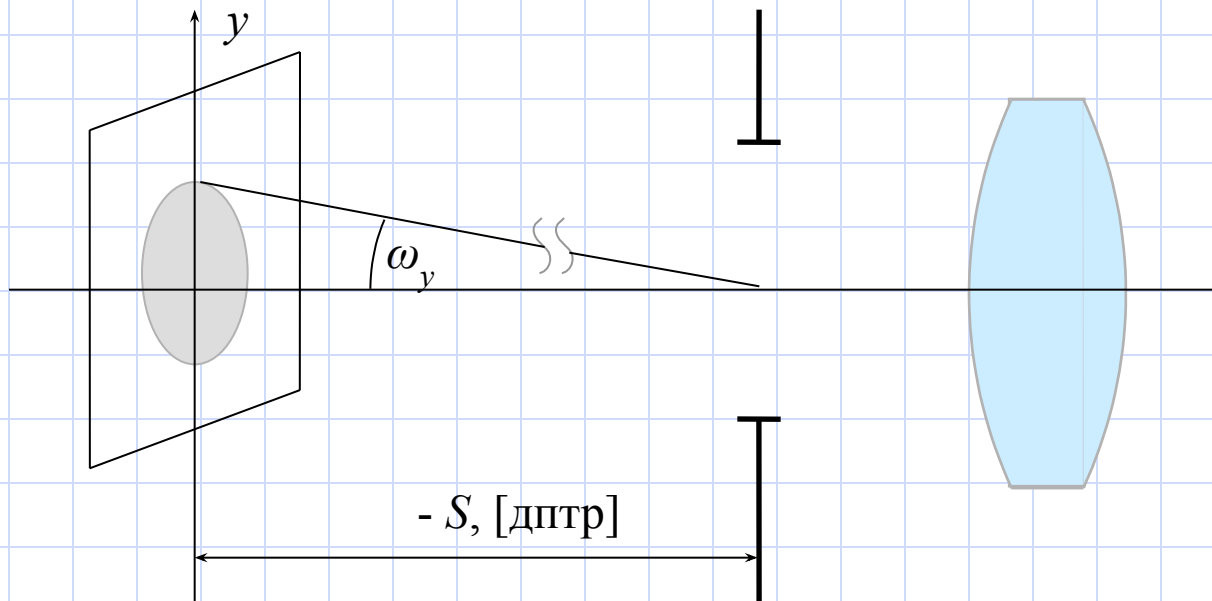
предмет

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

изображение

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

Удаленный предмет и изображение



предмет

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

изображение

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

Обобщенные характеристики предмета и изображения

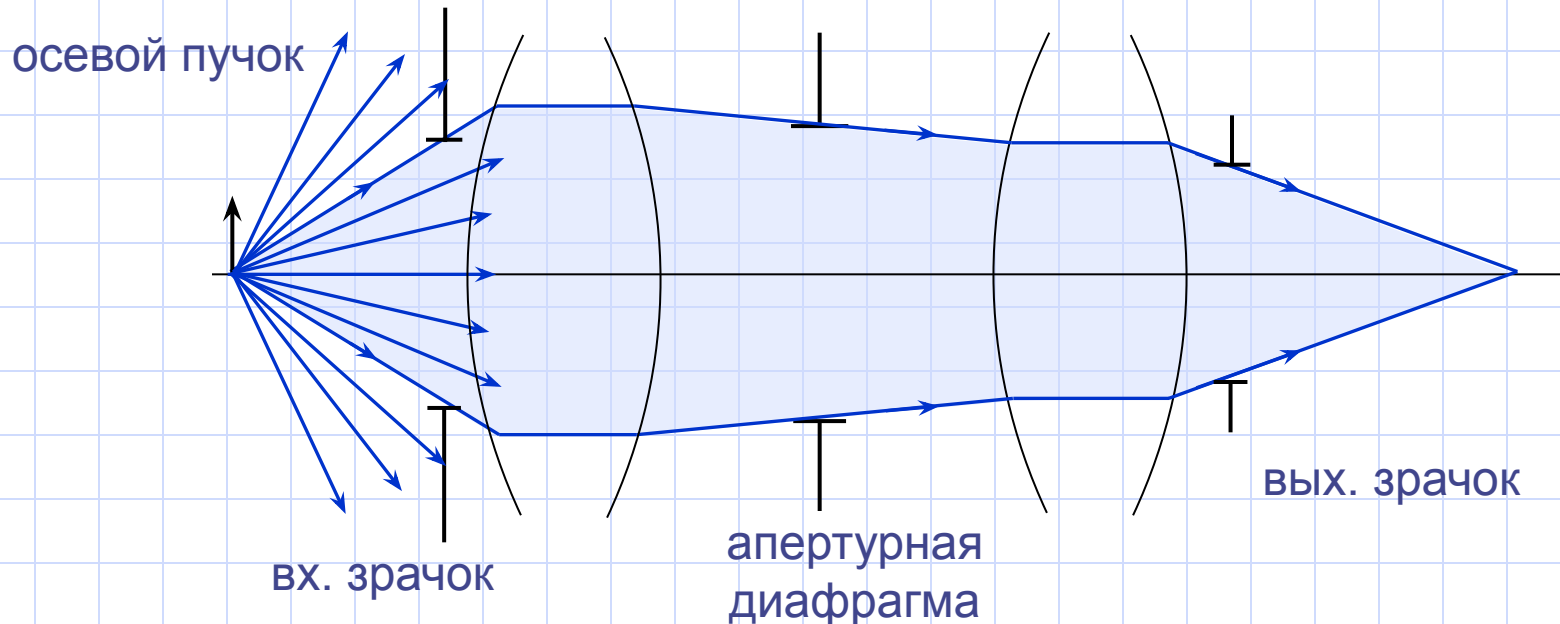
- **Обобщенные размеры поля предмета и изображения** $(2y_{0\ max}, 2y'_{0\ max})$ – это удвоенные максимальные размеры предмета и изображения
- **Передний и задний отрезки** (S, S') – указывают положение предмета (изображения) по отношению к оптической системе

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

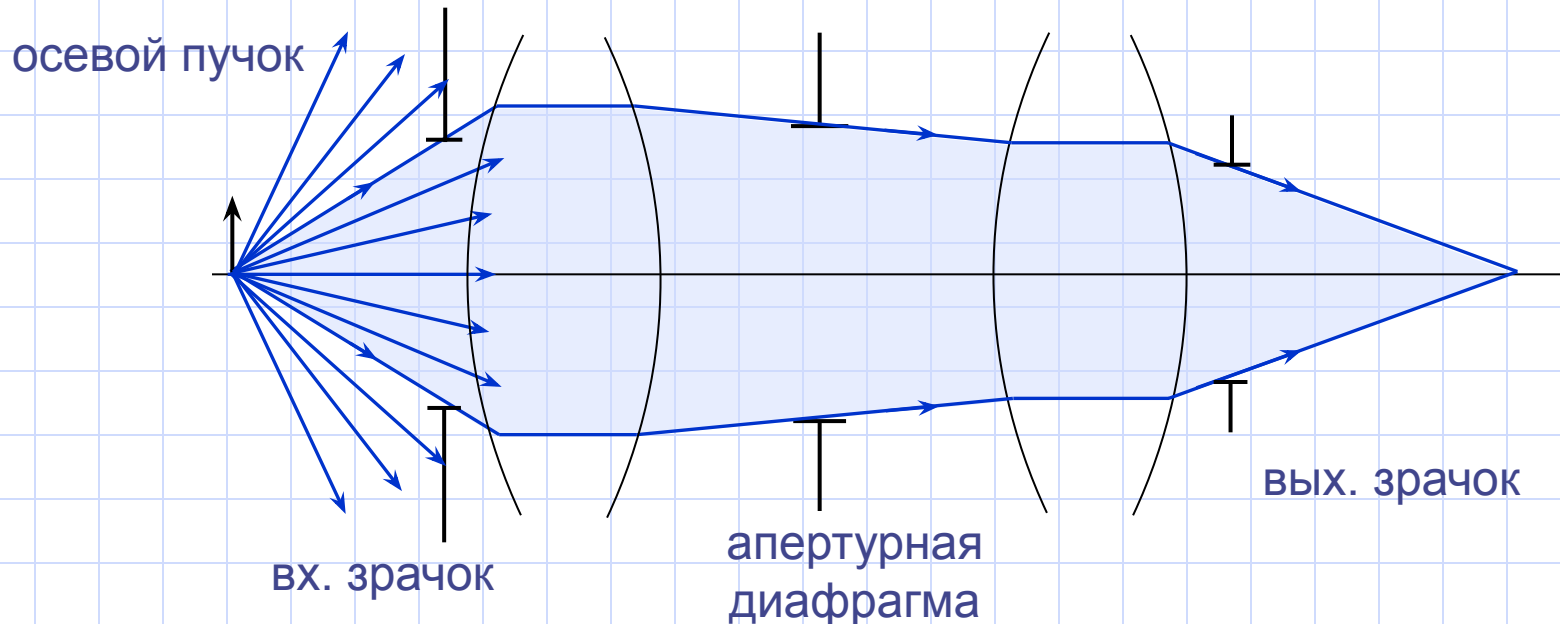
Зрачковые характеристики

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



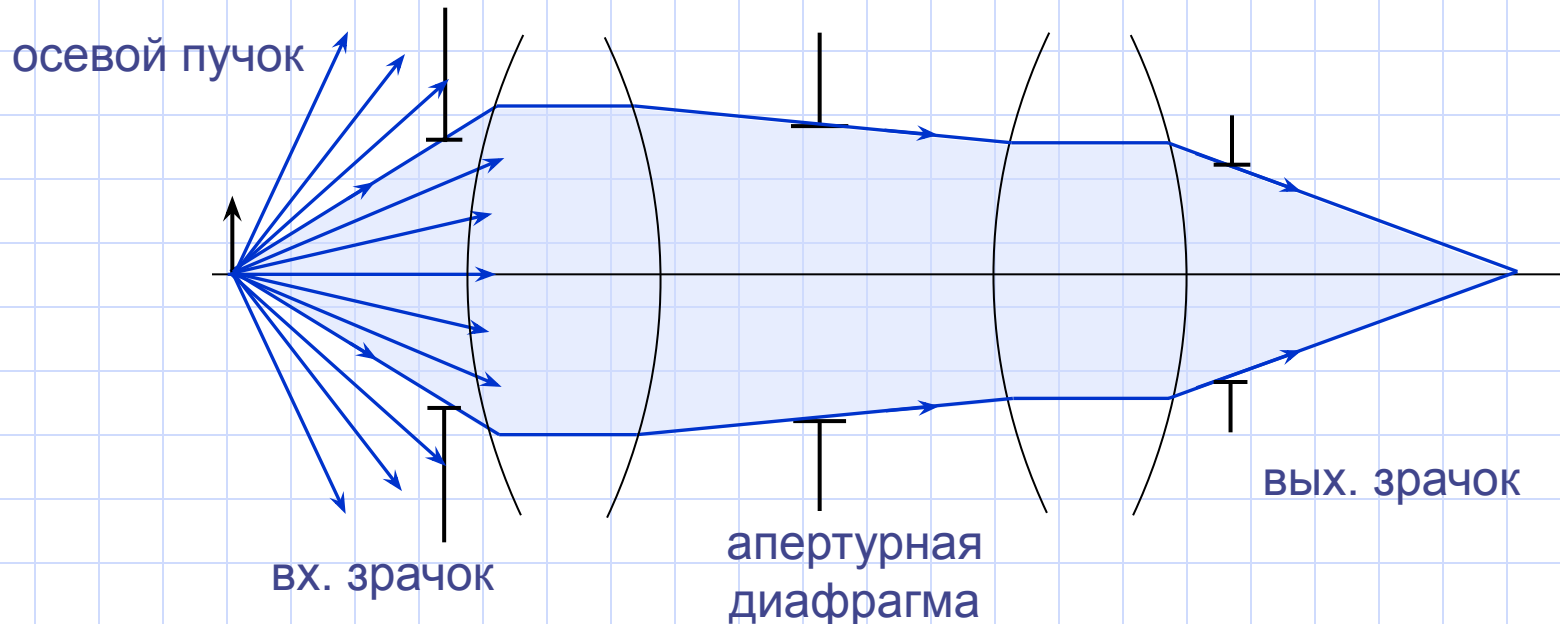
Входной и выходной зрачок

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



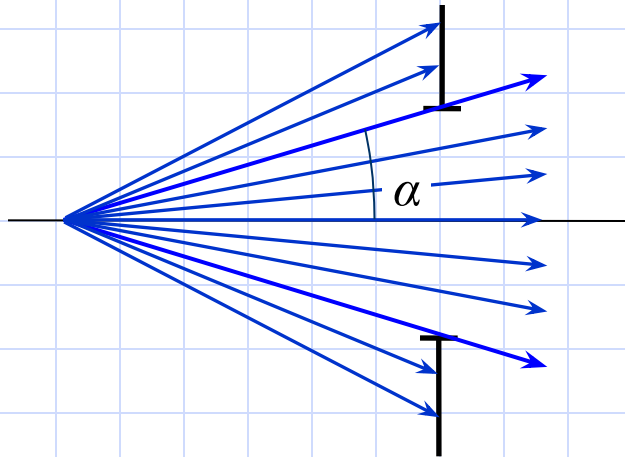
Входной и выходной зрачок

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



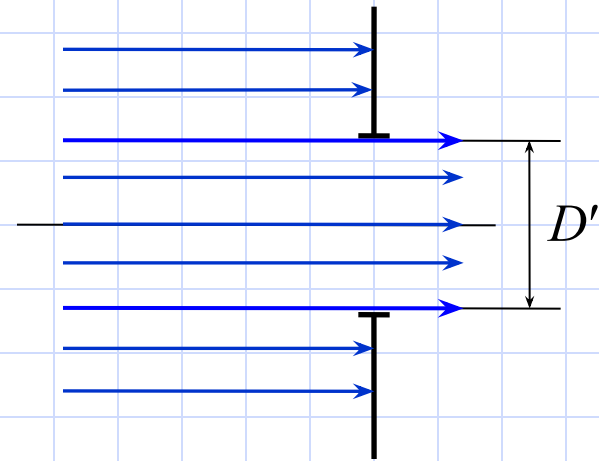
Апертура

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



близкий предмет:

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



удаленный предмет:

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

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

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
- λ_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:

$$A = V \cdot A'$$

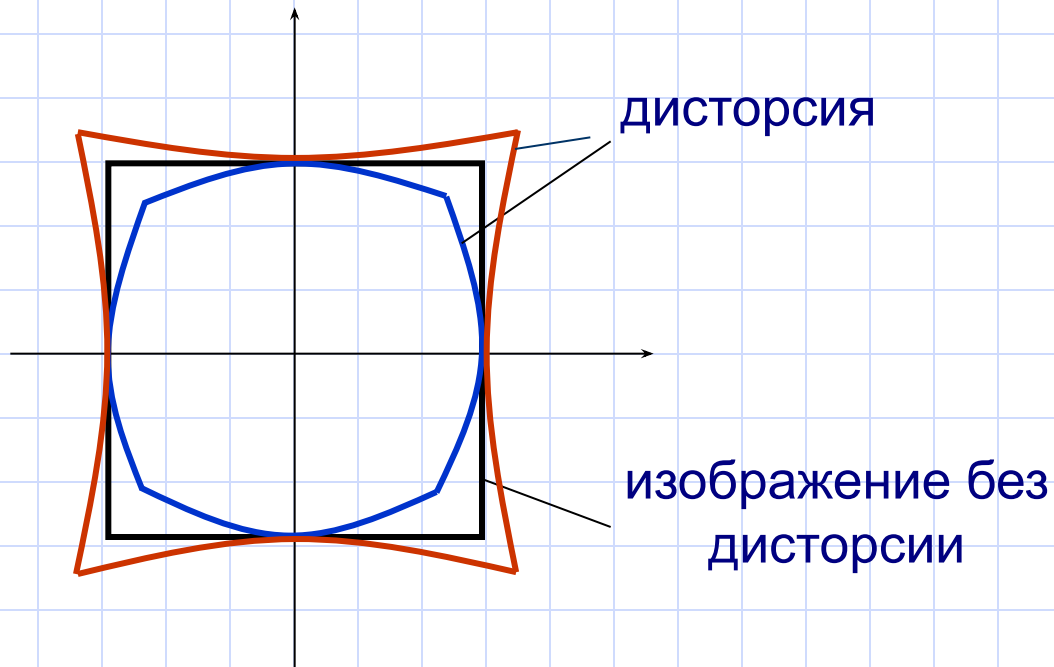
- **Видимое увеличение** – это отношение тангенса угла, под которым предмет наблюдается через оптическую систему, к тангенсу угла, под которым предмет наблюдается невооруженным глазом

Обобщенное увеличение

Тип	Предмет	Изображение	Обобщенное увеличение	Размерность
телескопическая система	угловой	угловое	угловое увеличение β	—
фотографический объектив	угловой	линейное	переднее фокусное расстояние f	мм
микроскоп	линейный	угловое	обратное заднее фокусное расстояние $1/f'$	мм ⁻¹
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

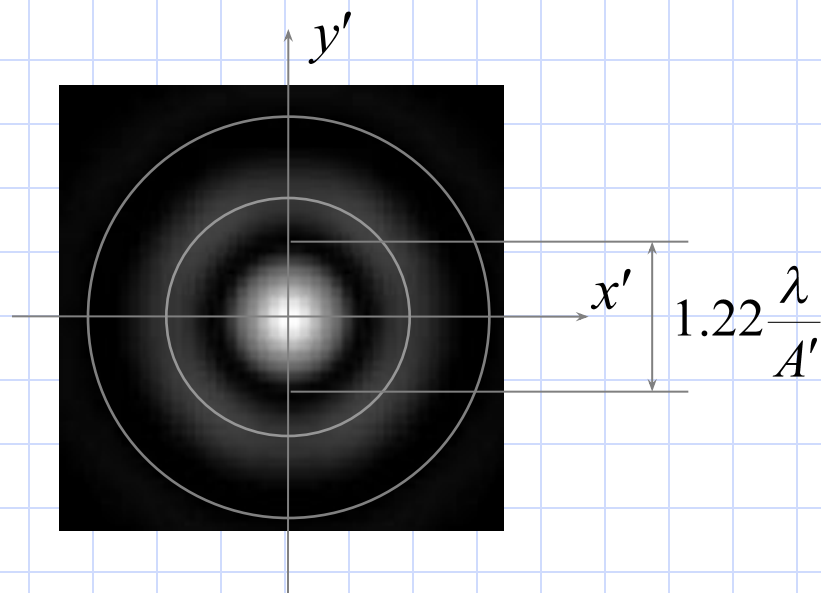
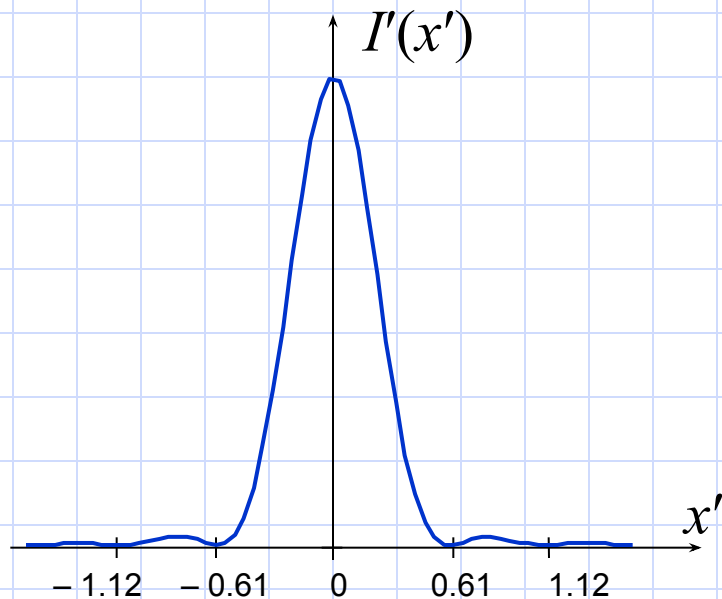
- **Функция светораспределения по полю Φ** характеризует равномерность изображения:

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

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

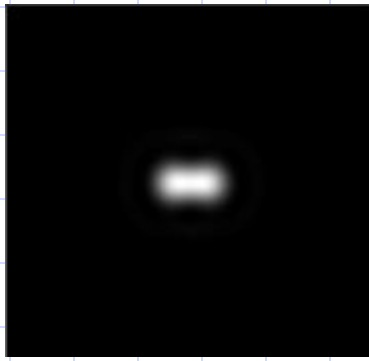
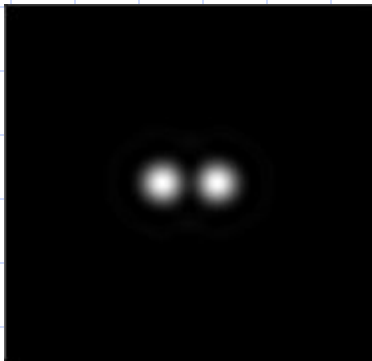
Структурные передаточные характеристики

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



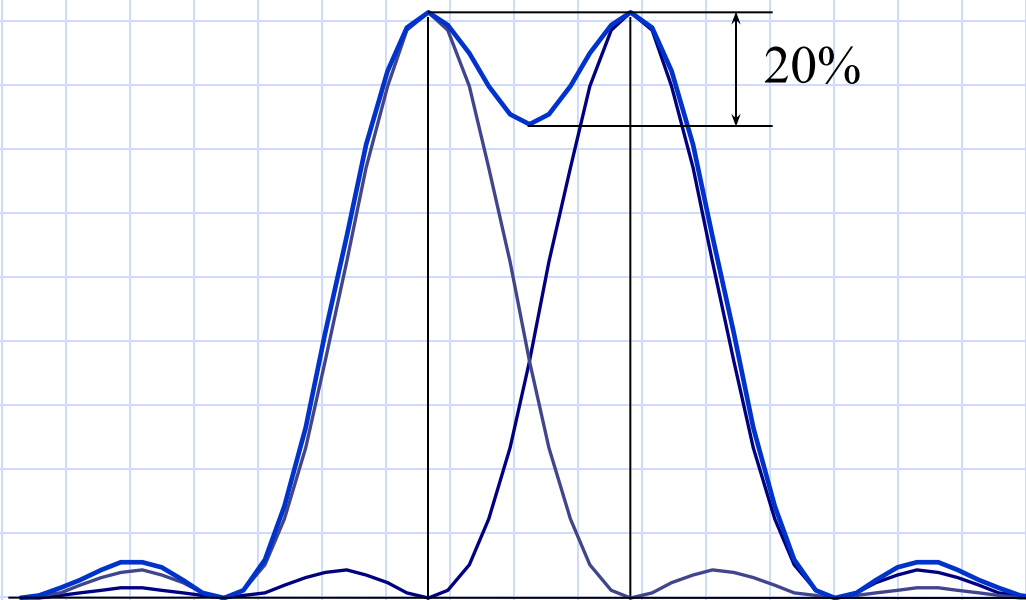
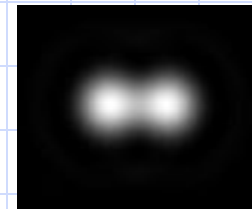
Разрешающая способность

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



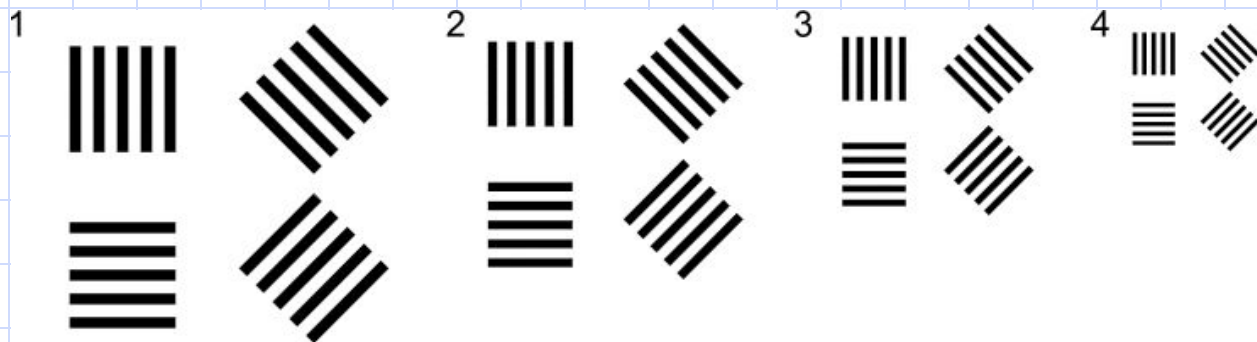
Разрешающая способность по Рэлею

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

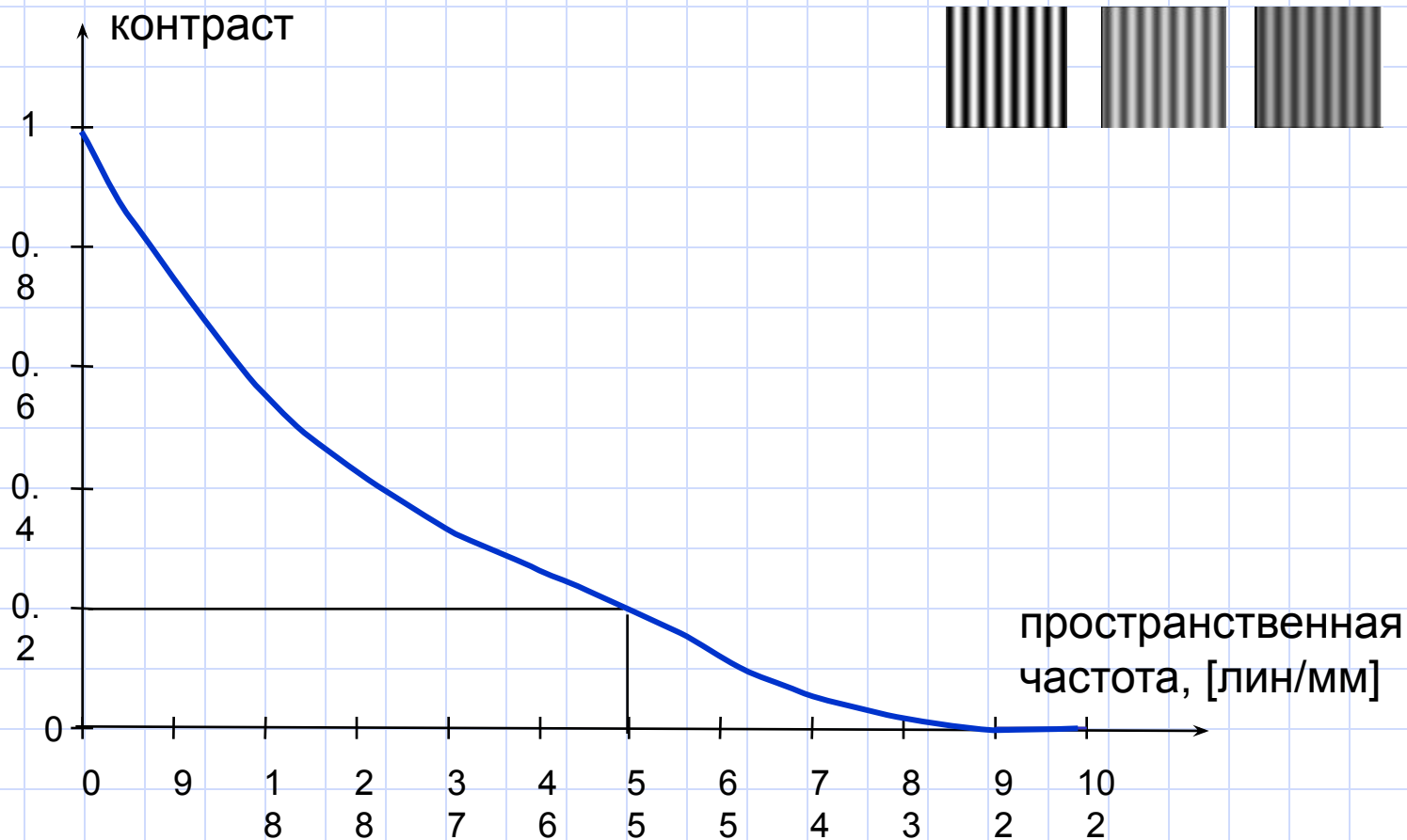


Разрешающая способность по Фуко

- 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



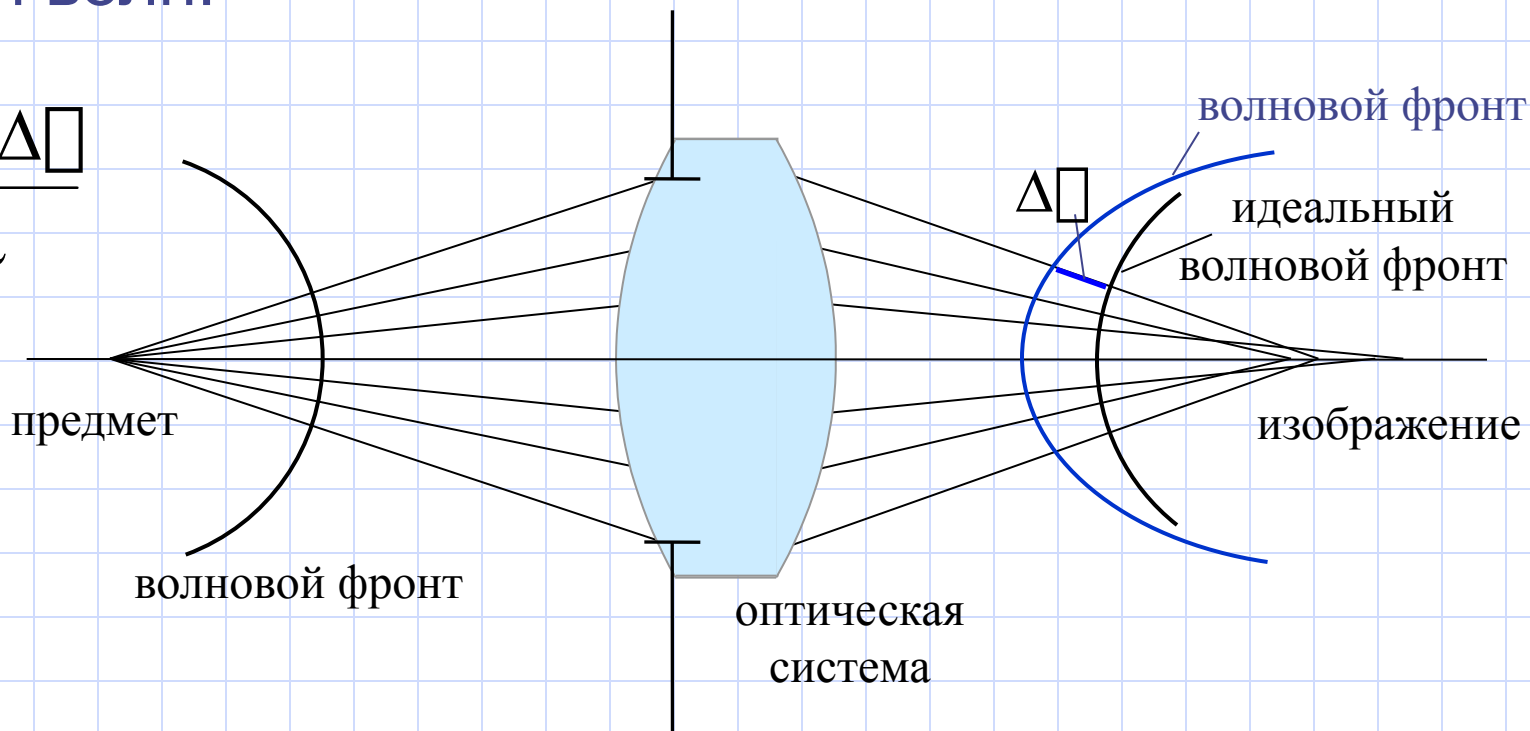
Аберрации

- **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 абберация

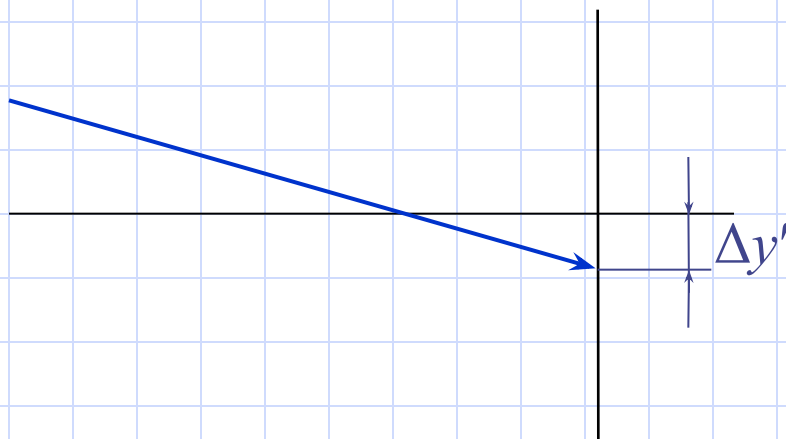
- **Волновая абберация** – это отклонение выходящего волнового фронта от идеального, измеренное вдоль данного луча в количестве длин волн:

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



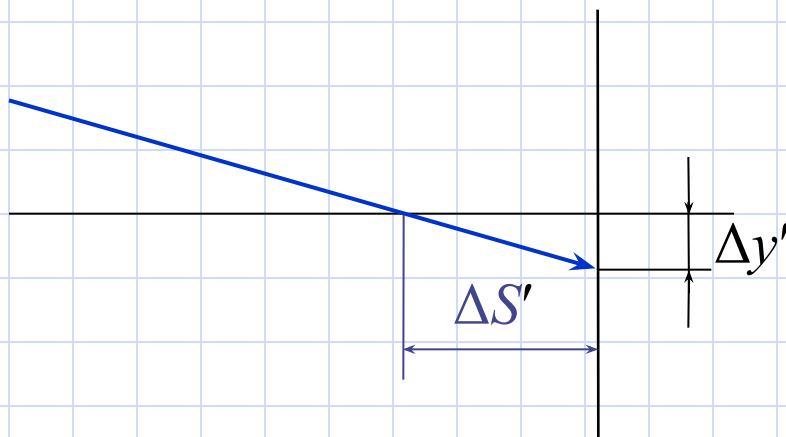
Поперечные аберрации

- **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 абберация

- **Продольная абберация $\Delta S'$** – 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⁻¹]



Хроматические аберрации

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