

Физика 9. Проекционные устройства

Лупа

Лупа – одна собирающая линза с фокусным расстоянием обычно **50–250 мм**.

Глаз рассматривает предмет на расстоянии меньше ближайшей точки ясного зрения (≈ 25 см).

Увеличение:

$$M = \frac{25 \text{ см}}{f}$$

Пример: при $f = 50$ мм, $M = 5$.

Микроскоп

Состоит из **объектива** и **окуляра**.

1. **Объектив** создаёт увеличенное действительное изображение на расстоянии l (тубусная длина $\approx 160–200$ мм).
2. **Окуляр** работает как лупа, увеличивая это изображение.

Общее увеличение:

$$M = M_{\text{об}} M_{\text{ок}} \approx \frac{l}{f_{\text{об}}} \cdot \frac{25 \text{ см}}{f_{\text{ок}}}$$

Типичные значения: $40\times$, $100\times$, $400\times$, $1000\times$.

Зрительная труба (подзорная)

Состоит из объектива и окуляра.

Классический вариант – **астрономическая труба Кеплера**:

- две собирающие линзы,
- даёт перевёрнутое изображение,
- увеличение:

$$M = -\frac{f_{\text{об}}}{f_{\text{ок}}}$$

Труба Галилея использует рассеивающий окуляр \rightarrow изображение прямое, но поле зрения меньше.

Телескоп

Фактически то же устройство, но рассчитанное на большие фокусные расстояния.

Основные типы:

- **Рефрактор** (линзовый).
- **Рефлектор** (зеркальный; главное зеркало – параболоид).
- **Катадиоптрические** (линза + зеркало).

Ограничение разрешения телескопа:

$$\theta_{\min} \approx 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

При $\lambda = 550 \text{ нм}$ и $D = 1 \text{ м}$ $\theta_{\min} \approx 0.13''$.

Фотоаппарат

Основные элементы:

- **Объектив** (обычно многолинзовый).
- **Диафрагма** – регулирует световой поток.
- **Матрица** (или плёнка) – формирует изображение.

Фокусировка: перемещение линз или матрицы.

Глубина резкости растёт при меньшем диаметре диафрагмы (большем F-number).

Проекционные устройства

Проектор создаёт **увеличенное действительное изображение** на экране.
Работает как обратный фотоаппарат:

- источник света,
- объектив,
- матрица/слайд,
- экран.

Фокусировка – перемещение линз относительно матрицы.

Аберрации оптических систем

Любая реальная оптика отклоняется от идеальной геометрической модели.

Сферическая аберрация

Причина: сферическая поверхность линзы не фокусирует лучи одинаково. Луч, проходящий ближе к краю линзы, имеет **другое фокусное расстояние**, чем центральный.

Следствия:

- размытый фокус,
- ореол вокруг ярких точек.

Минимизируют:

- диафрагмой (сужают лучи),
 - асферическими линзами,
 - комбинациями линз.
-

Кома

Аберрация для **внеосевых точек**.

Точечный объект на краю поля превращается в светлую «комету» – отсюда название.

Причина: разные уровни увеличения для разных зон линзы при косом ходе лучей.

Кома важна в:

- телескопах,
 - широкоугольной фотосъёмке.
-

Хроматические aberrации

Упомяну только коротко:

- продольная – разные цвета фокусируются на разных расстояниях;
- поперечная – сдвиг изображения разных цветов.

Уменьшают ахроматическими и апохроматическими линзами.

Ограничения построения изображений

1. **Дифракция** ограничивает максимальное разрешение: $\sim \lambda/D$.
 2. **Аберрации** формируют « пятно рассеяния ».
 3. **Поле зрения** ограничено механикой линз и диафрагм.
 4. **Глубина резкости** зависит от *F-number*: $DOF \propto F^2$.
 5. **Светосила** ограничена диаметром входного зрачка.
-

Входной и выходной зрачок

- **Входной зрачок** – видимый наблюдателю образ диафрагмы, просмотренной через линзы до него.
- **Выходной зрачок** – образ диафрагмы, видимый после линз.

Они задают:

- яркость,
 - поле зрения,
 - виньетирование.
-

Входное и выходное окно

Это соответствующие области пространства, из которых лучи **могут попасть** в оптическую систему (входное) или **выйти** из неё (выходное).

Они задают:

- допустимый угол зрения,
- геометрию лучей,
- ограничение полевого диафрагмирования.