

## 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 ( $\approx 25$  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 → 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:

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

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

---

## 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 аберрации

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:  $\text{DOF} \propto F^2$ .
  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.