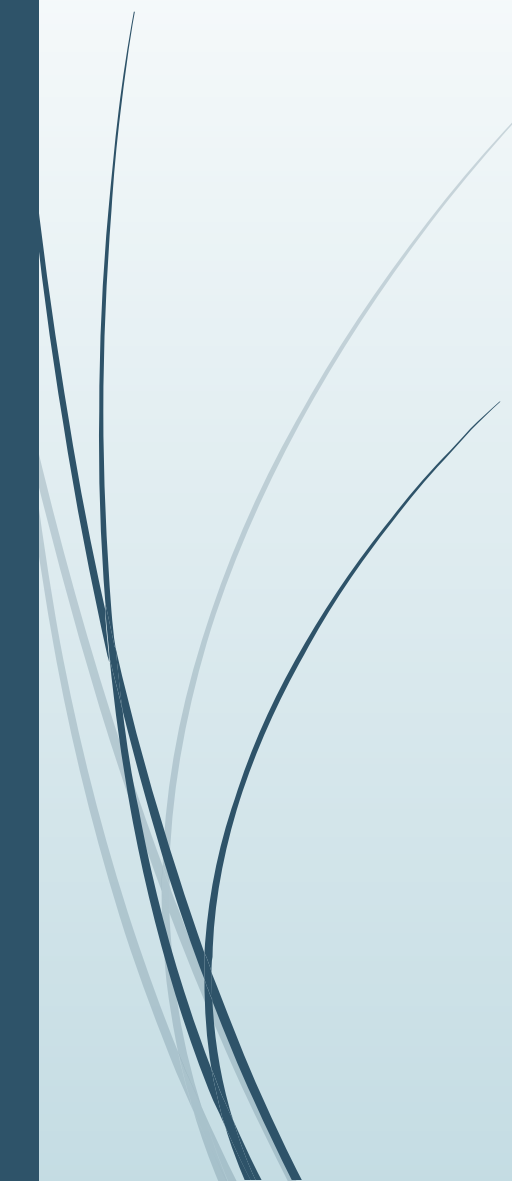


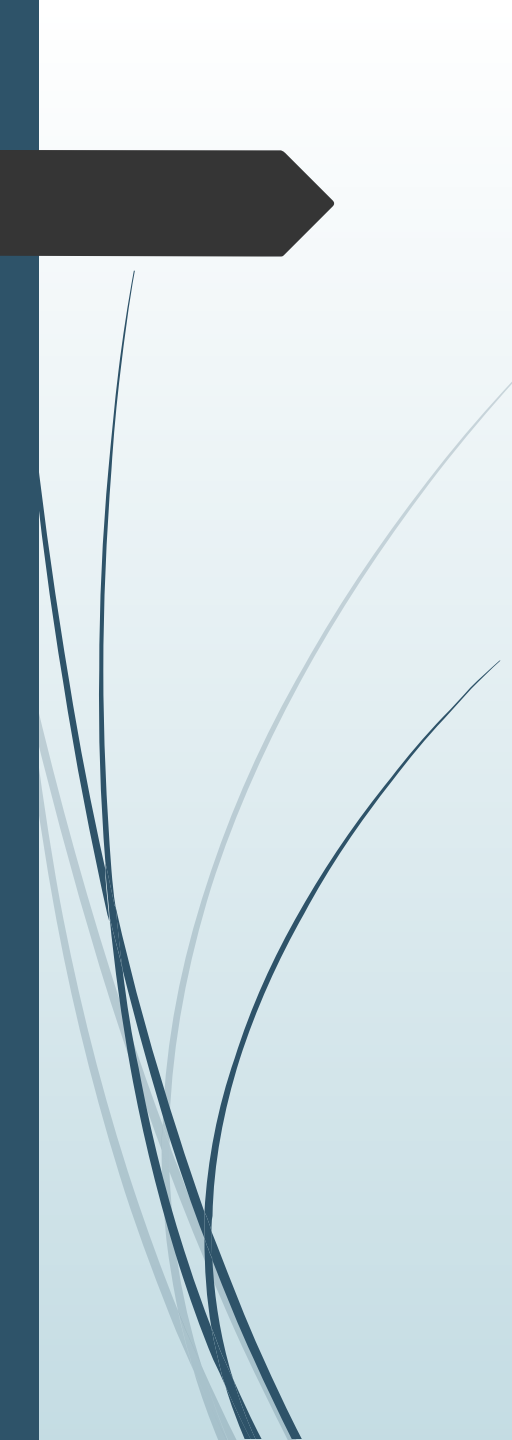


ОПТИКА



Основные законы оптики

- 1) закон прямолинейного распространения света;
 - 2) закон независимости световых лучей;
 - 3) закон отражения света;
 - 4) закон преломления света.
- 

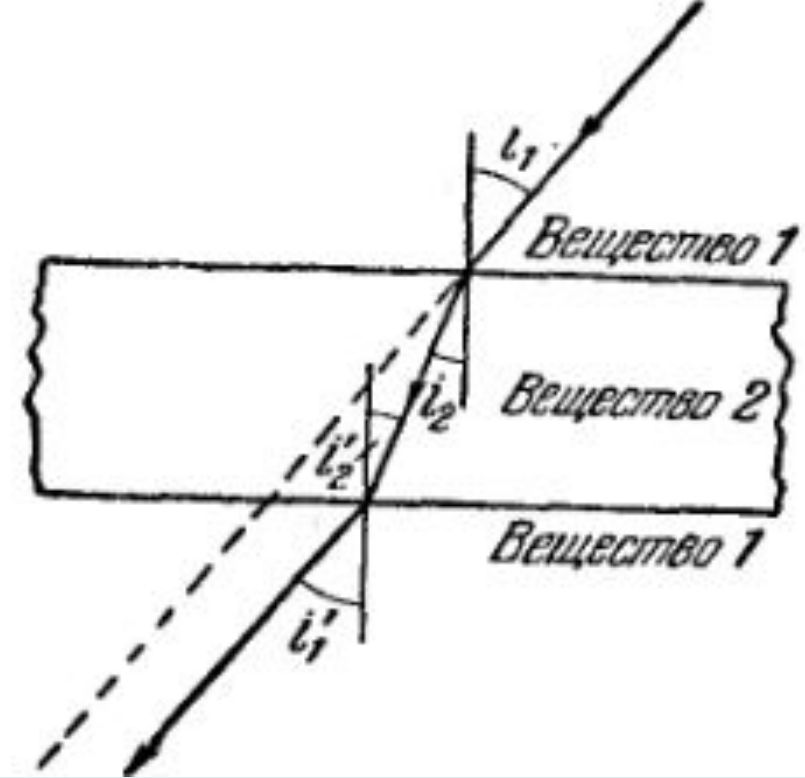


1) закон прямолинейного распространения света;

- В однородной среде свет распространяется прямолинейно.

2) закон независимости световых лучей

- Независимость световых лучей заключается в том, что они при пересечении не возмущают друг друга. Пересечения лучей не мешают каждому из них распространяться независимо друг от друга.



Закон отражения:

отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью восстановленной в точке падения. Угол отражения равен углу падения.

$$-i_1' = i_1.$$

Закон преломления света:

преломленный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью, восстановленной в точке падения. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных веществ:

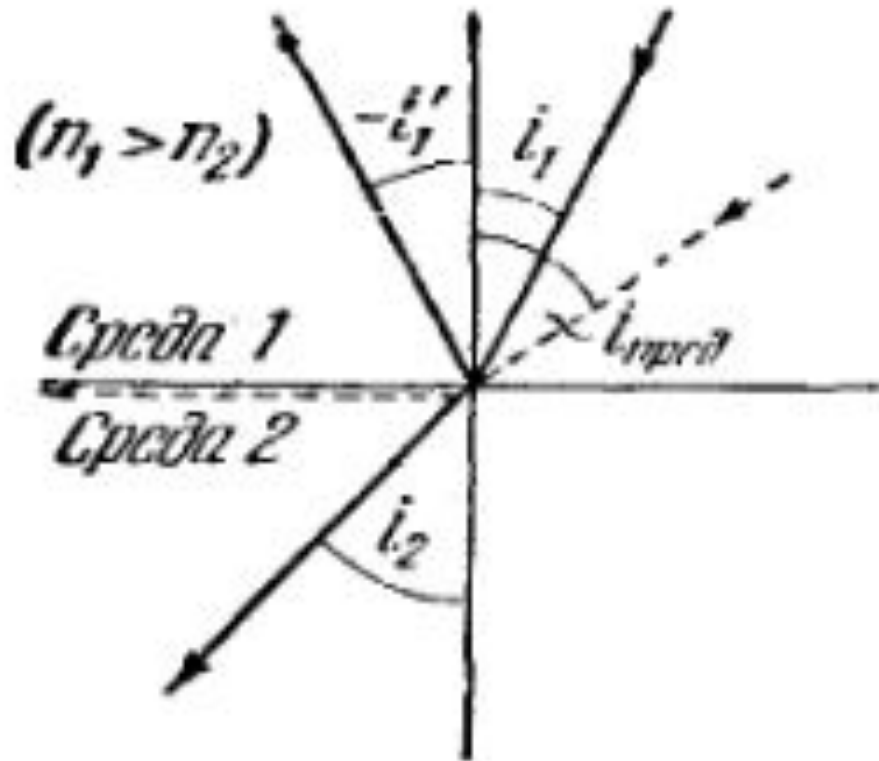
$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{12}.$$

A decorative graphic on the left side of the slide. It features a dark grey arrow pointing to the right at the top. Below it, several thin, curved lines in shades of blue and grey sweep downwards and to the right, creating a sense of movement and design.

закон обратимости (или взаимности) световых лучей

- если навстречу лучу, претерпевшему ряд отражений и преломлений, пустить другой луч, то он пойдет по тому же пути, что и первый (прямой) луч, но в обратном направлении.

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2.$$

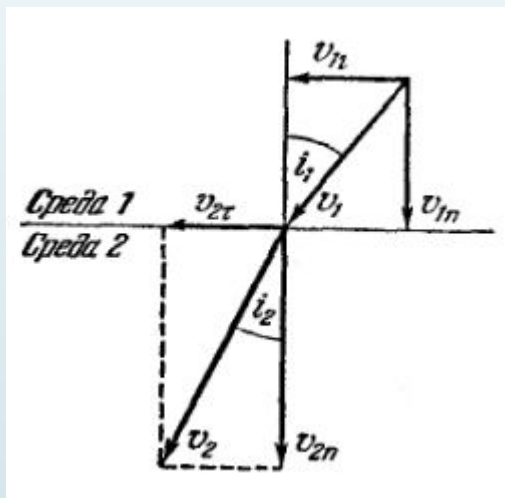


$$i_{\text{пред}} = \arcsin n_{12}$$

При углах падения, заключенных в пределах от $i_{\text{пред}}$ до $\pi/2$, свет во вторую среду не проникает¹⁾, интенсивность отраженного луча равна интенсивности падающего. Это явление называется полным внутренним отражением.

Развитие представлений о природе света

Теория истечения
(Ньютон)



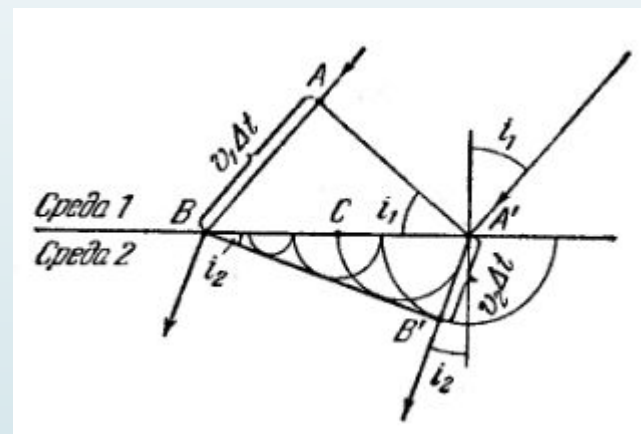
$$\sin i_1 = \frac{v_{1x}}{v_1}, \quad \sin i_2 = \frac{v_{2x}}{v_2}.$$

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{v_2}{v_1}.$$

$$n_{12} = v_2/v_1.$$

$$n = \frac{v}{c}.$$

Волновая теория
(Гюйгенс)



$$\sin i_1 = \frac{v_1 \Delta t}{BA'}, \quad \sin i_2 = \frac{v_2 \Delta t}{BA'}.$$

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{v_1}{v_2}.$$

$$n_{12} = v_1/v_2.$$

$$n = \frac{c}{v}$$

5.1.2. ЗЕРКАЛА И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

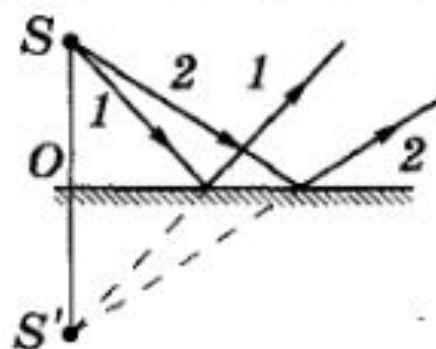
Плоское зеркало

Плоская полированная поверхность, при отражении от которой параллельный пучок света остается параллельным.

5.6 Построение изображения в плоском зеркале

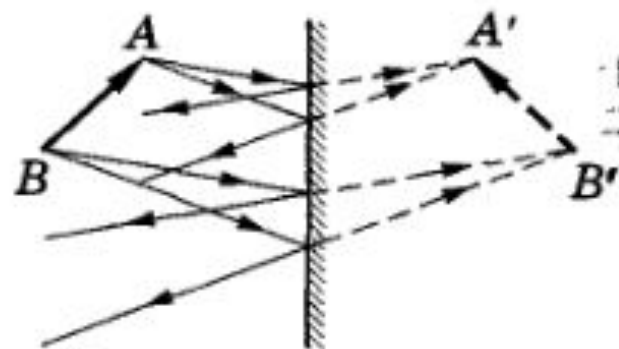
Изображение точечного источника

Два произвольных луча 1 и 2 , исходящие из точки S , отражаясь от зеркала в соответствии с законом отражения, расходятся. Продолжения этих лучей пересекаются в точке S' , находящейся по другую сторону зеркала относительно S ; S' — мнимое изображение. Линия SS' перпендикулярна плоскости зеркала; $SO = SO'$.



Изображение предмета

Плоское зеркало отражает свет, приходящий из точек A и B . Обе произвольные пары отраженных лучей от точек A и B продолжены за зеркало, причем отраженная пара лучей из точки A сходится в A' , из B — в точке B' . Изображение $A'B'$ — мнимое, его размеры такие же, как у предмета.

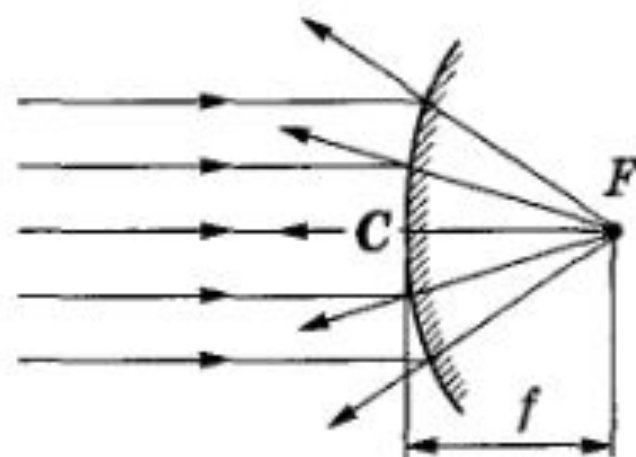


5.7 Деление сферических зеркал по внешней форме и оптическим свойствам

Сферическое зеркало

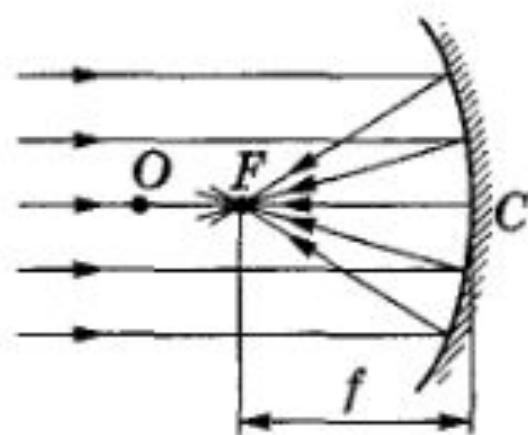
Зеркало, отражающая поверхность которого представляет собой часть сферы.

Выпуклое сферическое зеркало



Отражающее покрытие нанесено на внешнюю поверхность сферы

Вогнутое сферическое зеркало



Отражающее покрытие нанесено на внутреннюю поверхность сферы

[O — оптический центр зеркала; C — полюс зеркала; F — главный фокус (фокус зеркала); f — главное фокусное расстояние]

5.8 Основные элементы сферического зеркала

Оптический центр зеркала

Центр O сферической поверхности, из которой вырезан сегмент.

Полюс зеркала

Вершина C сферического сегмента.

Главная оптическая ось

Прямая, проходящая через оптический центр O зеркала и его полюс C .



Выпуклое зеркало



Вогнутое зеркало

Оптическая ось зеркала

Любая прямая, проходящая через оптический центр O зеркала.

Главный фокус (фокус) зеркала

Точка F на главной оптической оси, через которую проходит после отражения от зеркала луч или его продолжение, падающий параллельно главной оптической оси.

5.9 Формула сферического зеркала, оптическая сила зеркала

Главное фокусное расстояние

$$f = \frac{R}{2}$$

Эта формула — для *параксиальных* (приосевых) лучей. У выпуклого зеркала — фокус мнимый.

Формула сферического зеркала (для параксиальных световых пучков)

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{R} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$$

Фокусное расстояние вогнутого зеркала — величина положительная, выпуклого — отрицательная.

Оптическая сила зеркала

$$\Phi = \frac{1}{f} = \frac{2}{R}$$

Величина, обратная главному фокусному расстоянию.

[f — главное фокусное расстояние; R — радиус кривизны сферического зеркала; a — расстояние от зеркала до светящейся точки, расположенной на главной оптической оси; b — расстояние от зеркала до изображения; Φ — оптическая сила зеркала. В формуле сферического зеркала расстояния от зеркала до действительных точек следует брать со знаком плюс, а расстояния от зеркала до мнимых точек — со знаком минус]

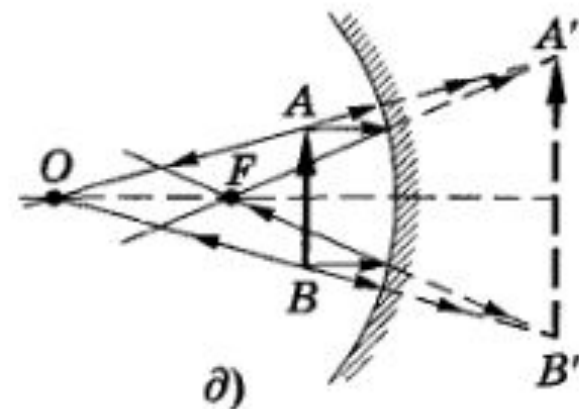
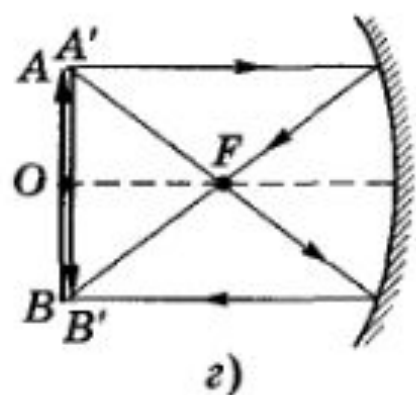
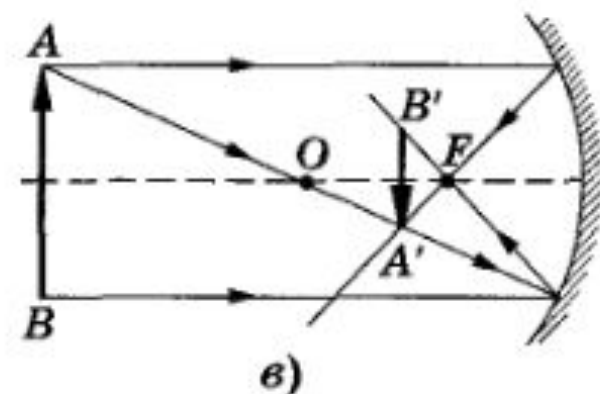
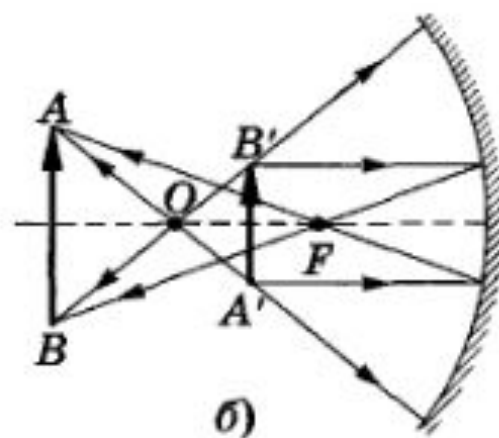
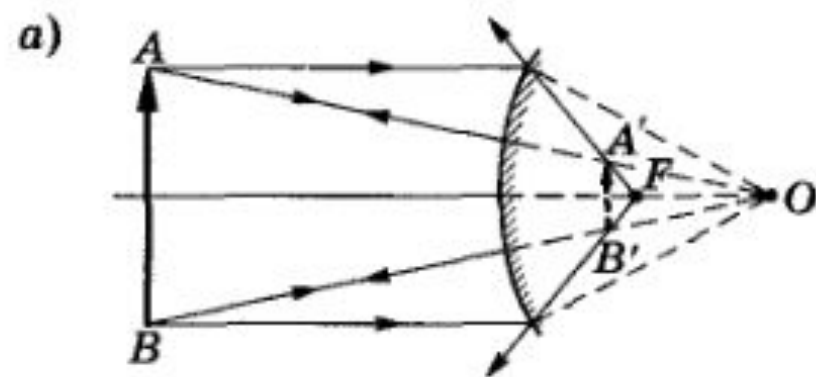
5.10 Построение изображения предмета в сферических зеркалах

Построение изображения предмета в сферических зеркалах осуществляется с помощью следующих лучей:

1) луча, проходящего через оптический центр зеркала; отраженный луч идет назад вдоль первоначального направления;

2) луча (или его продолжения), проходящего через главный фокус сферического зеркала; отраженный луч параллелен главной оптической оси;

3) луча, идущего параллельно главной оптической оси, после отражения этот луч (или его продолжение) проходит через главный фокус сферического зеркала.



5.11 Особенности изображений в зеркалах

| <i>Зеркало</i> | <i>Расположение предмета</i> | <i>Расположение изображения</i> | <i>Особенности изображения</i> |
|----------------------|--|--|---|
| Плоское | Любое | За зеркалом, на том же расстоянии, что и предмет | Мнимое, прямое, обращенное, по величине равно самому предмету |
| Выпуклое сферическое | Любое | Между главным фокусом и зеркалом | Мнимое, прямое, уменьшенное |
| Вогнутое сферическое | В бесконечности | В главном фокусе | Действительное, перевернутое, уменьшенное |
| | За оптическим центром (на конечном расстоянии) | Между главным фокусом и оптическим центром | Действительное, перевернутое, уменьшенное |
| | В оптическом центре | В оптическом центре | Действительное, перевернутое, по величине равно самому предмету |
| | Между оптическим центром и главным фокусом | За оптическим центром | Действительное, перевернутое, увеличенное |
| | Между главным фокусом и зеркалом | За зеркалом | Мнимое, прямое, увеличенное |

5.1.3. ЛИНЗЫ И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

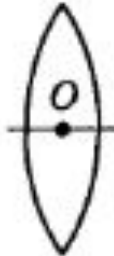
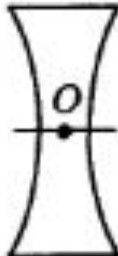


5.12 Деление линз по внешней форме и оптическим свойствам

Линзы

Прозрачные тела, ограниченные двумя поверхностями (одна из них обычно сферическая, иногда цилиндрическая, а вторая — сферическая или плоская), преломляющими световые лучи, способные формировать оптические изображения предметов.

Тонкая линза

Линза, если ее толщина (расстояние между ограничивающими поверхностями) значительно меньше по сравнению с радиусами поверхностей, ограничивающих линзу.

| | | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|--|--|
| Форма линзы |  |  |  |  |  |  |
| Название | двойково-выпуклые | плосково-выпуклые | двойково-вогнутые | плосково-вогнутые | выпуклово-вогнутые | вогнуто-выпуклые |
| Радиусы | $R_1 > 0$ $R_2 < 0$ | $R_1 > 0$ $R_2 = \infty$ | $R_1 < 0$ $R_2 > 0$ | $R_1 < 0$ $R_2 = \infty$ | $R_1 > R_2 > 0$ | $R_1 > R_2 < 0$ |
| Фокусное расстояние | $f > 0$ | $f > 0$ | $f > 0$ | $f < 0$ | $f < 0$ | $f < 0$ |

5.13 Основные элементы линзы

Главная оптическая ось

Прямая, проходящая через центры кривизны поверхностей линзы.

Оптический центр линзы

Точка O , лежащая на главной оптической оси и обладающая тем свойством, что лучи проходят сквозь нее не преломляясь.

Фокус линзы

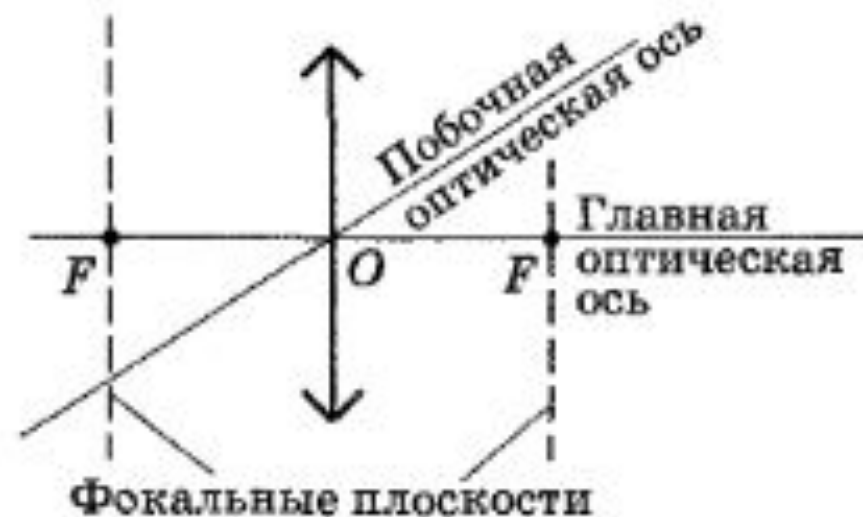
Точка F , лежащая на главной оптической оси, в которой пересекаются лучи параксиального (приосевого) светового пучка, распространяющиеся параллельно главной оптической оси.

Фокусное расстояние f

Расстояние между оптическим центром линзы и ее фокусом.

Побочная оптическая ось

Любая прямая, проходящая через оптический центр линзы и не совпадающая с главной оптической осью.



5.14 Оптическая сила и формула тонкой линзы

Оптическая сила линзы

$$\Phi = \frac{1}{f} = (N - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

При $\Phi > 0$ — линза собирающая;
при $\Phi < 0$ — линза рассеивающая.

Формула тонкой линзы

$$(N - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{a} + \frac{1}{b},$$
$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

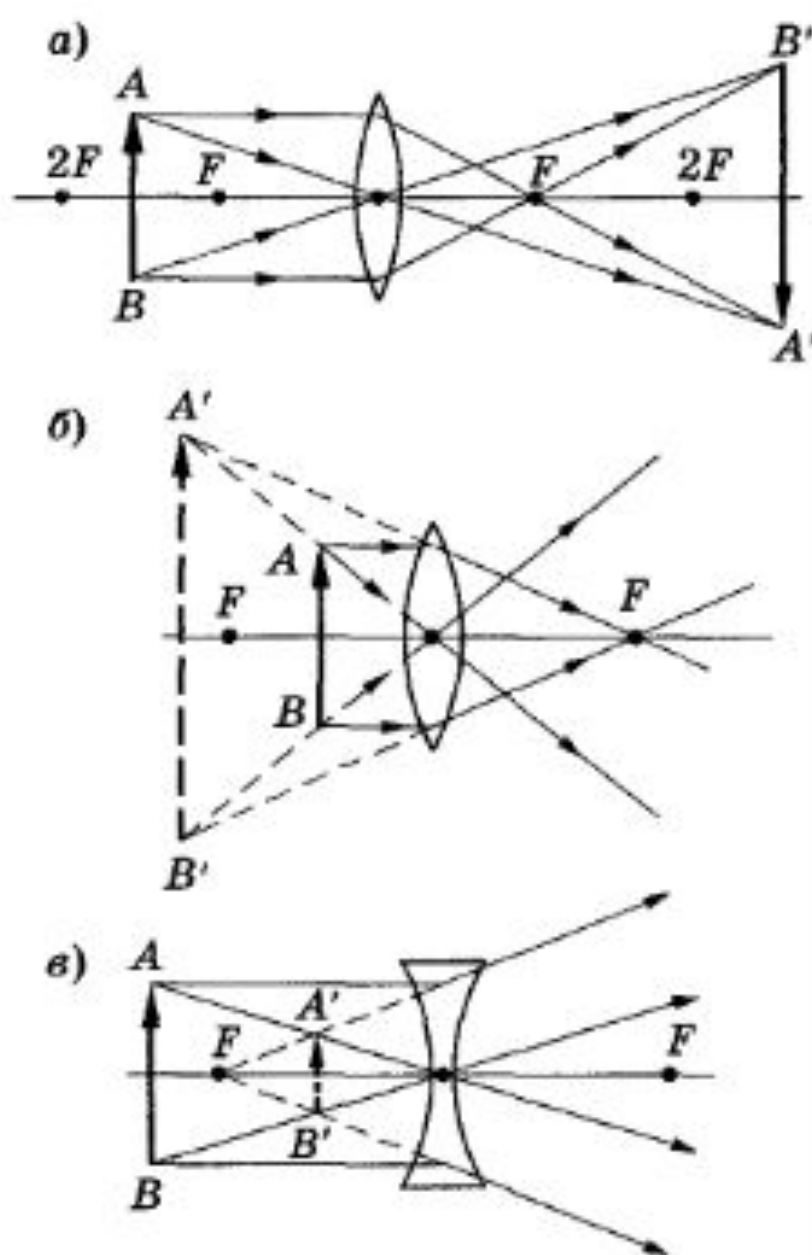
Радиус кривизны выпуклой поверхности линзы считается положительным, вогнутой — отрицательным. Для рассеивающей линзы f и b надо считать отрицательными. [Φ — оптическая сила линзы, $[\Phi] = 1 \text{ м}^{-1} = 1 \text{ дптр}$ — *диоптрия* — оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м; f — фокусное расстояние; $N = n/n_1$ — относительный показатель преломления (n и n_1 — соответственно абсолютные показатели преломления линзы и окружающей среды); R_1 и R_2 — радиусы кривизны поверхностей линз; a — расстояние от линзы до предмета; b — расстояние от линзы до изображения предмета]

5.15 Построение изображения предмета в линзах

Построение изображения предмета в линзах осуществляется с помощью следующих лучей:

- ◆ луча, проходящего через оптический центр линзы и не изменяющего своего направления;
- ◆ луча, идущего параллельно главной оптической оси; после преломления в линзе этот луч (или его продолжение) проходит через второй фокус линзы;
- ◆ луча (или его продолжения), проходящего через первый фокус линзы; после преломления в ней он выходит из линзы параллельно ее главной оптической оси.

Пример. Построим изображения в собирающей и в рассеивающей линзах: действительное (рисунок а) и мнимое (рисунок б) изображения — в собирающей линзе, мнимое — в рассеивающей (рисунок в).



5.16 Особенности изображений в линзах

| <i>Линза</i> | <i>Расположение предмета</i> | <i>Расположение изображения</i> | <i>Особенности изображения</i> |
|--------------|--|---|---|
| Собирающая | За двойным фокусным расстоянием | Между фокусом и двойным фокусом по другую сторону линзы | Действительное, перевернутое, уменьшенное |
| | В двойном фокусе | В двойном фокусе по другую сторону линзы | Действительное, перевернутое, по величине равно самому предмету |
| | Между двойным фокусным расстоянием и фокусом | За двойным фокусным расстоянием по другую сторону линзы | Действительное, перевернутое, увеличенное |
| | В фокусе | Видимого изображения нет (изображение в бесконечности) | |
| | Между фокусом и линзой | За предметом, по ту же сторону линзы, что и предмет | Мнимое, прямое, увеличенное |
| Рассеивающая | Любое | Между предметом и линзой, по ту же сторону линзы, что и предмет | Мнимое, прямое, уменьшенное |

5.1.4. ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ЕДИНИЦЫ

Фотометрия

Раздел оптики, занимающийся вопросами измерения интенсивности света и его источников. В фотометрии используются:

Энергетические величины

Характеризуют энергетические параметры оптического излучения безотносительно к его действию на приемники излучения.

Световые величины

Характеризуют физиологические действия света и оцениваются по воздействию на глаз (исходят из так называемой средней чувствительности глаза) или другие приемники излучения.

5.18 Энергетические величины

| Величина | Обозначение | Определение | Формула | Единица |
|---|-------------|--|-------------------------------------|---|
| Поток излучения | Φ_e | Величина, равная отношению энергии W излучения ко времени t , за которое излучение произошло | $\Phi_e = \frac{W}{t}$ | Ватт (Вт) |
| Энергетическая светимость (излучательность) | R_e | Величина, равная отношению потока излучения Φ_e , испускаемого поверхностью, к площади S сечения, сквозь которое этот поток проходит | $R_e = \frac{\Phi_e}{S}$ | Ватт на метр в квадрате (Вт/м ²) |
| Энергетическая сила света (сила излучения) | I_e | Величина, равная отношению потока излучения Φ_e источника к телесному углу ω , в пределах которого это излучение распространяется | $I_e = \frac{\Phi_e}{\omega}$ | Ватт на стерадиан (Вт/ср) |
| Энергетическая яркость (лучистость) | B_e | Величина, равная отношению энергетической силы света ΔI_e элемента излучающей поверхности к площади ΔS проекции этого элемента на плоскость, перпендикулярную направлению наблюдения | $B_e = \frac{\Delta I_e}{\Delta S}$ | Ватт на стерадиан-метр в квадрате (Вт/(ср · м ²)) |

5.18 Энергетические величины

| Величина | Обозначение | Определение | Формула | Единица |
|---|-------------|--|-------------------------------------|---|
| Поток излучения | Φ_e | Величина, равная отношению энергии W излучения ко времени t , за которое излучение произошло | $\Phi_e = \frac{W}{t}$ | Ватт (Вт) |
| Энергетическая светимость (излучательность) | R_e | Величина, равная отношению потока излучения Φ_e , испускаемого поверхностью, к площади S сечения, сквозь которое этот поток проходит | $R_e = \frac{\Phi_e}{S}$ | Ватт на метр в квадрате (Вт/м ²) |
| Энергетическая сила света (сила излучения) | I_e | Величина, равная отношению потока излучения Φ_e источника к телесному углу ω , в пределах которого это излучение распространяется | $I_e = \frac{\Phi_e}{\omega}$ | Ватт на стерадиан (Вт/ср) |
| Энергетическая яркость (лучистость) | B_e | Величина, равная отношению энергетической силы света ΔI_e элемента излучающей поверхности к площади ΔS проекции этого элемента на плоскость, перпендикулярную направлению наблюдения | $B_e = \frac{\Delta I_e}{\Delta S}$ | Ватт на стерадиан-метр в квадрате (Вт/(ср · м ²)) |