Оптика

Основные законы оптики

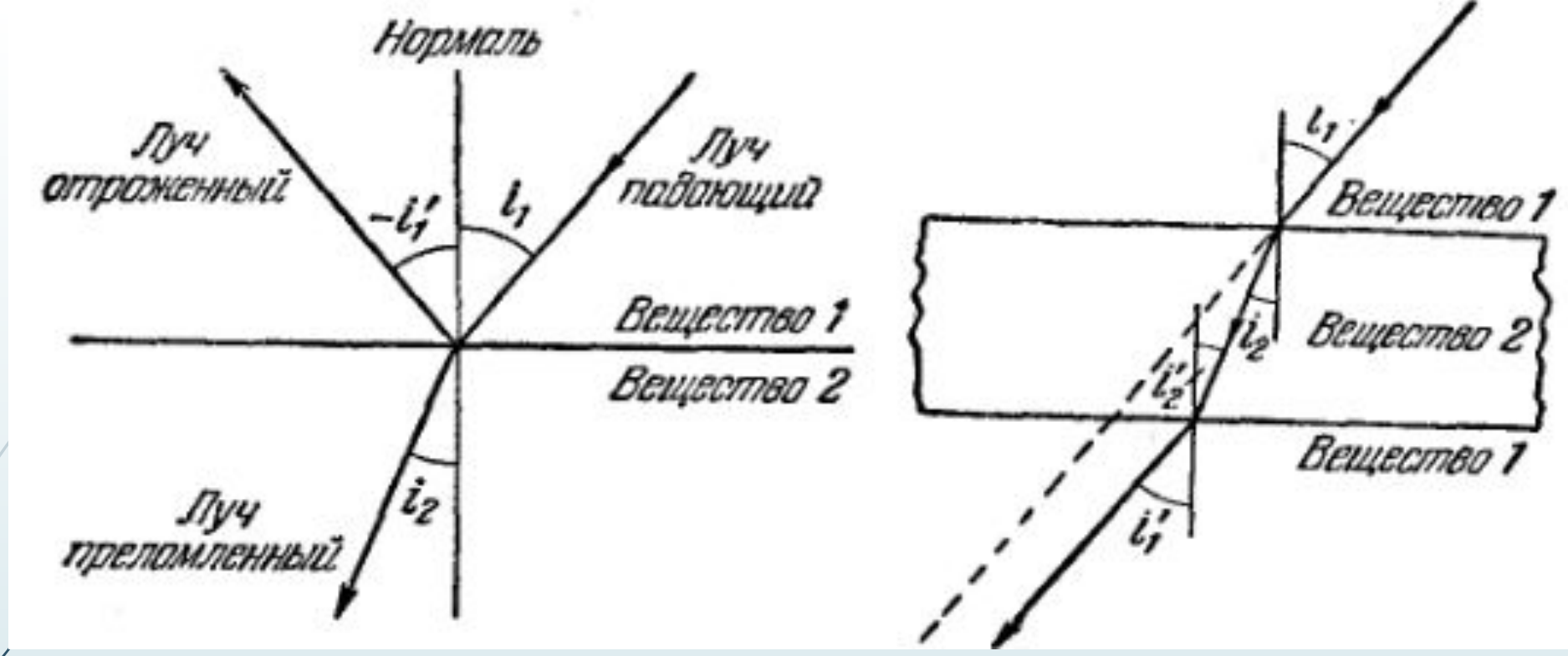
- 1) закон прямолинейного распространения света;
- 2) закон независимости световых лучей;
- 3) закон отражения света;
- 4) закон преломления света.

1) закон прямолинейного распро странения 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.

$$-i_1' = i_1.$$

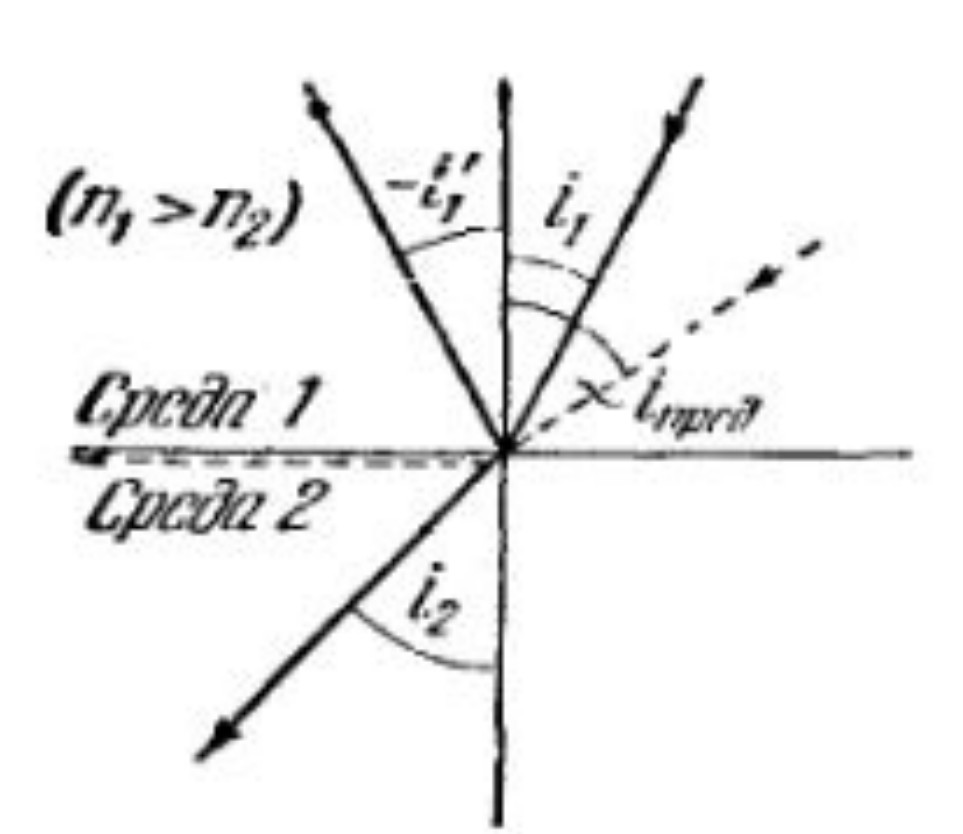
Закон преломления света:
преломленный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью, восстановленной в точке падения. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных веществ:

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

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.

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

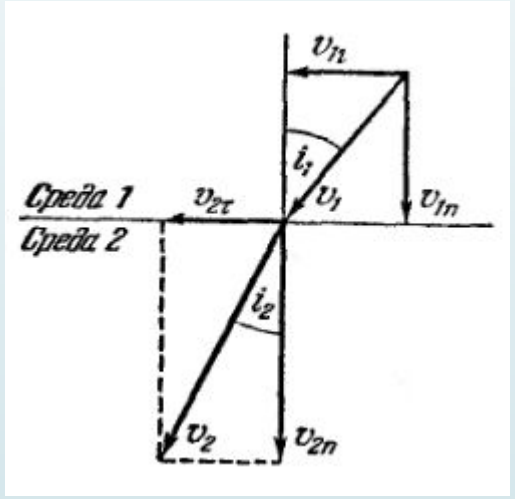


$$i_{пред} = \arcsin n_{12}$$

При углах падения, заключенных в пределах от $i_{пред}$ до π/2, свет во вторую среду не проникает[1]), интенсивность отраженного луча равна интенсивности падающего. Это явление называется полным внутренним отражением.

Развитие представлений о природе света

Теория истечения
(Ньютон)



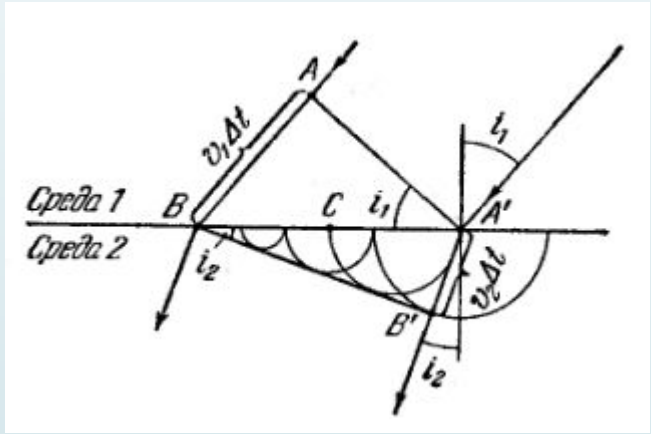
$$\sin i_1 = \frac{v_{1\tau}}{v_1}, \quad \sin i_2 = \frac{v_{2\tau}}{v_2}.$$

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

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

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

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

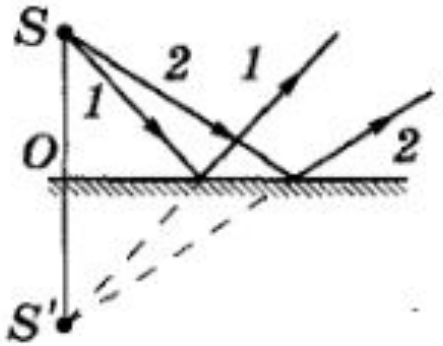
Плоское зеркало

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

5.6 Построение изображения в плоском зеркале

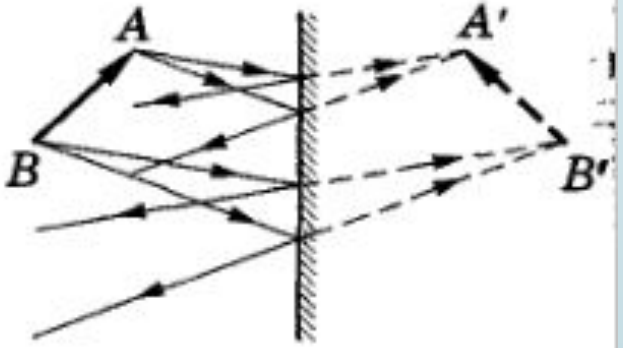
Изображение точечного источника

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

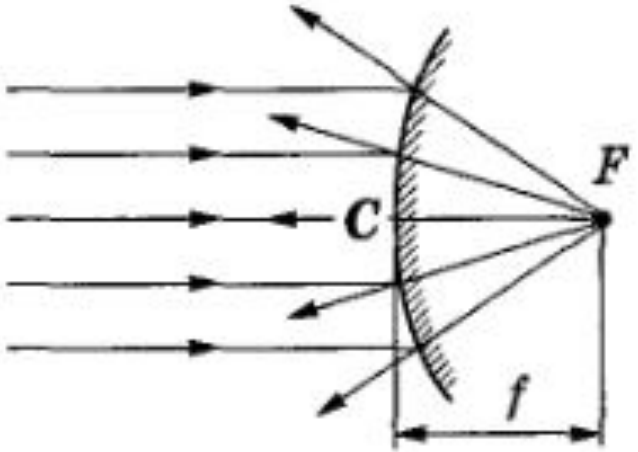
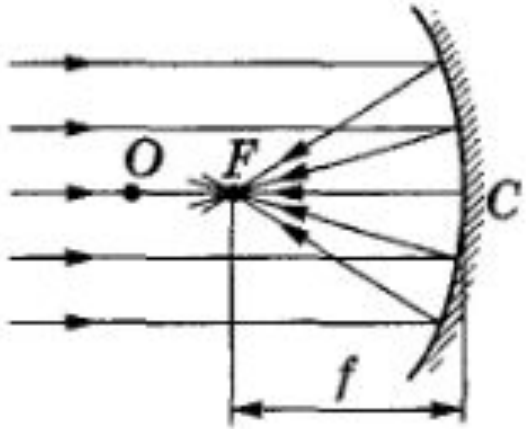
Плоское зеркало отражает свет, приходящий из точек A и B. Обе произвольные пары отраженных лучей от точек A и B продолжены за зеркало, причем отраженная пара лучей из точки A сходится в A', из B — в точке B'. Изображение $A'B'$ — мнимое, его размеры такие же, как у предмета.



5.7 Деление сферических зеркал по внешней форме и оптическим свойствам

Сферическое зеркало

Зеркало, отражающая поверхность которого представляет собой часть сферы.

Выпуклое сферическое зеркало	*Вогнутое сферическое зеркало*
	
Отражающее покрытие нанесено на внешнюю поверхность сферы	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]

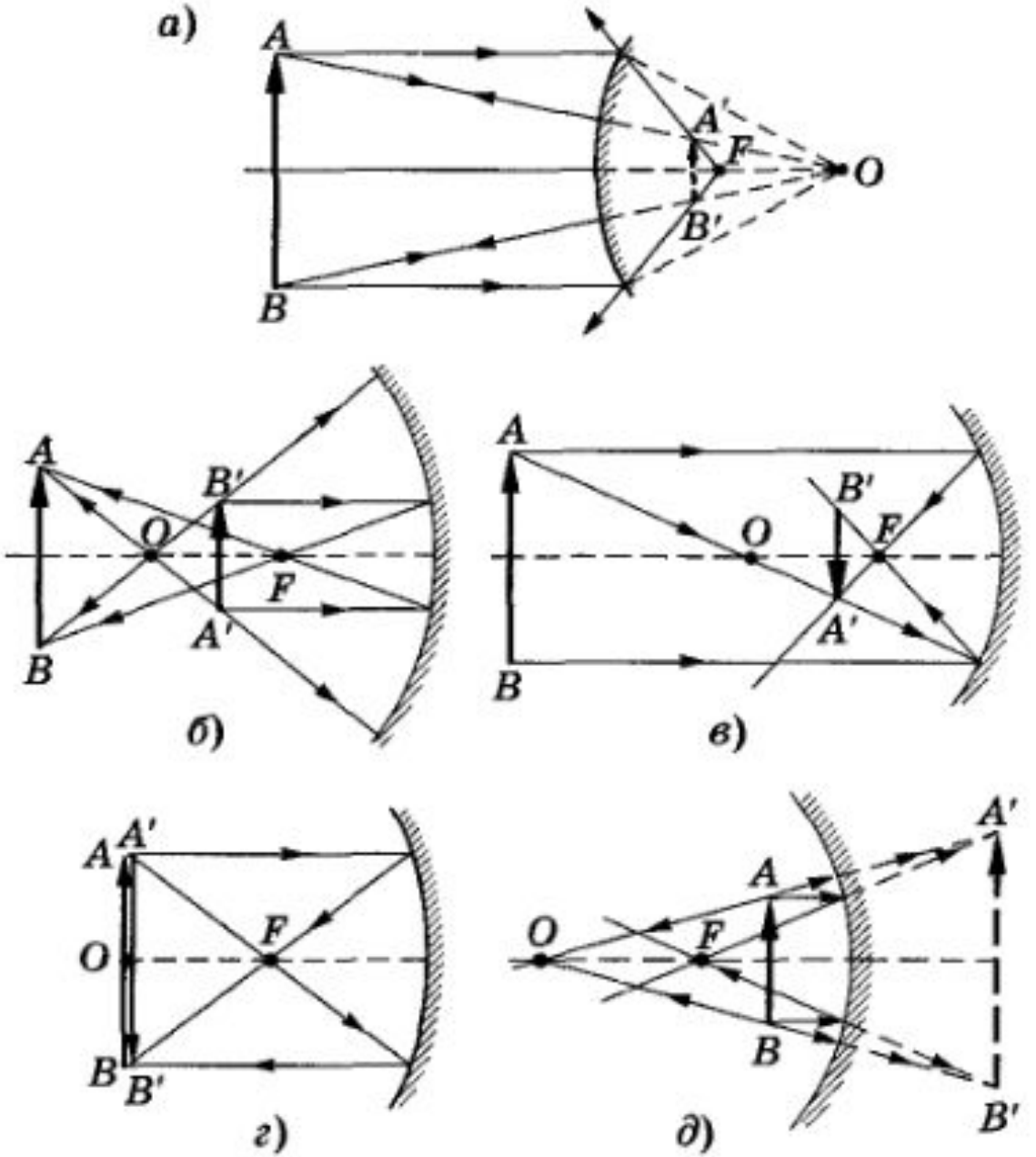
5.10 Построение изображения предмета в сферических зеркалах

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

Зеркало	*Расположение предмета*	*Расположение изображения*	*Особенности изображения*
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

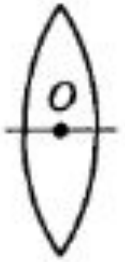
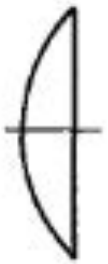
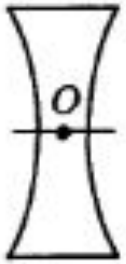
5.12 Деление линз по внешней форме и оптическим свойствам

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	двояко-выпуклые	плоско-выпуклые	двояко-вогнутые	плоско-вогнутые	выпукло-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	$f > 0$	$f > 0$	$f > 0$	$f < 0$	$f < 0$	$f < 0$

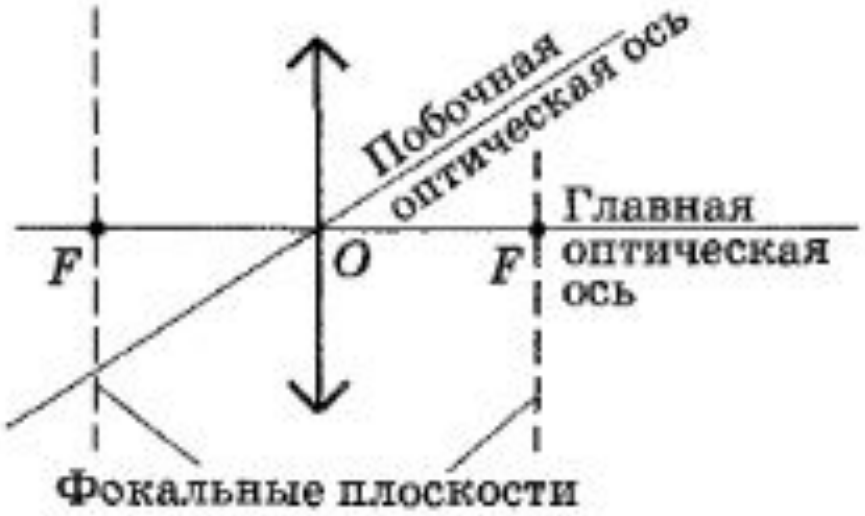
5.13 Основные элементы линзы

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

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

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

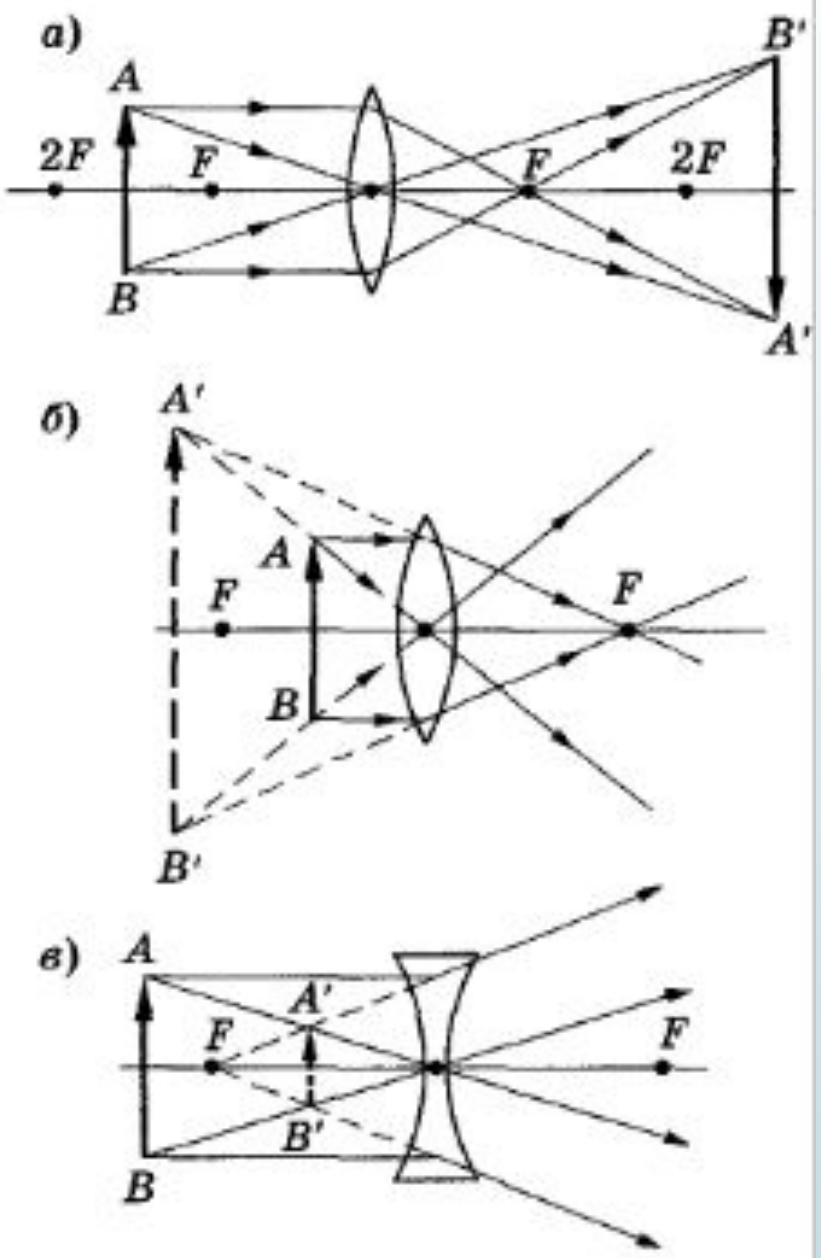
Радиус кривизны выпуклой поверхности линзы считается положительным, вогнутой — отрицательным. Для рассеивающей линзы f и b надо считать отрицательными.
[Φ — оптическая сила линзы, $[\Phi] = 1\ м^{-1} = 1$ дптр — *диоптрия* — оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м; f — фокусное расстояние; $N = n/n_1$ — 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

Линза	*Расположение предмета*	*Расположение изображения*	*Особенности изображения*
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)