ФИЗИКА, ч. III

ОПТИКА, КВАНТОВАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

ЛИТЕРАТУРА:

Иродов И.Е. Основные законы. Волновые процессы; Основные законы. Квантовая физика
Орир Дж. Физика. Полный курс.
Джанколи Д. Физика. Том 2.
Матвеев А.Н. Курс общей физики. Том 4,5.
Савельев И.А. Курс общей физики. Том 3.
Трофимова Т.И. Курс физики.
Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 4, 5.

Уравнения Максвелла

Электростатика

$$\boxed{\vec{F} = q\vec{E}}$$ – закон Кулона

$$\boxed{\begin{gathered} div\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \\ rot\vec{E} = 0 \end{gathered}}$$

Электродинамика

$$\boxed{\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}}$$ – сила Лоренца

$$\boxed{\begin{gathered} div\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \\ rot\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \\ div\vec{B} = 0 \\ rot\vec{B} = \mu_0\vec{j} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial\vec{E}}{\partial t} \end{gathered}}$$

– уравнения Максвелла (в вакууме)

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$$

В отсутствии зарядов ρ = 0, $\vec{j} = 0$

$$\boxed{\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - c^2 \Delta \vec{E} = 0} \qquad \boxed{\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} - c^2 \Delta \vec{B} = 0}$$

волновое уравнение

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$ – лапласиан

Частное решение – *плоские бегущие волны*

$$\vec{E} = \vec{E}(t - \vec{n}\vec{r}/c) \qquad \vec{B} = \vec{B}(t - \vec{n}\vec{r}/c)$$

$\vec{n}$ – единичный вектор (направление распространения бегущей волны)

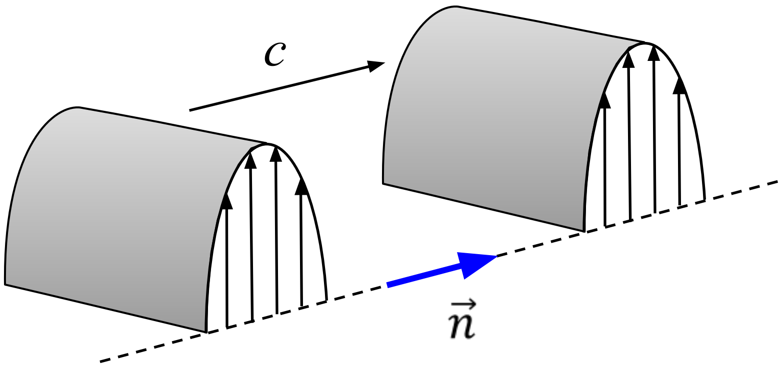
Одномерное волновое уравнение:

$$\boxed{\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = 0; \quad \frac{\partial^2 B}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} = 0}$$

- волновое уравнение плоской электромагнитной волны, распространяющейся вдоль оси *X*

$$\vec{E} = \vec{E}(t - \vec{n}\vec{r}/c) \qquad \vec{B} = \vec{B}(t - \vec{n}\vec{r}/c)$$

– волна, движущаяся в направлении вектора $\vec{n}$ со скоростью c.



Профиль $\vec{E}$ и $\vec{B}$ перемещается вдоль $\vec{n}$ со скоростью c

Существование электромагнитных волн было предсказано *Фарадеем*, а затем *Максвелл* обосновал их существование. *Герц* экспериментально подтвердил справедливость теории *Максвелла.*

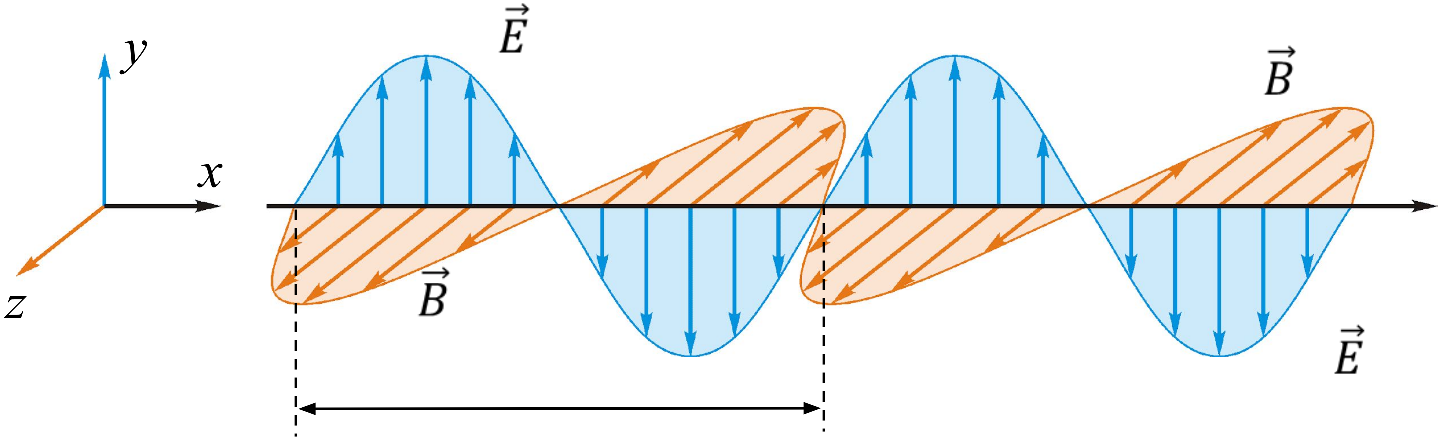
Если возбудить с помощью колеблющейся системы переменное электромагнитное поле, то в окружающем пространстве возникнет последовательность взаимно превращающихся друг в друга переменных электрических и магнитных полей, распространяющихся от точки к точке в виде электромагнитных волн.

Гармоническая (монохроматическая) волна

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \vec{k}\vec{r}) \qquad \vec{B} = \vec{B}_0 \cos(\omega t - \vec{k}\vec{r})$$

$\vec{k}$ *– волновой вектор, k=ω/c – волновое число*

c - *ф*азовая скорость



направление распростра-нения волны

$\lambda = cT = 2\pi/k$ – длина волны

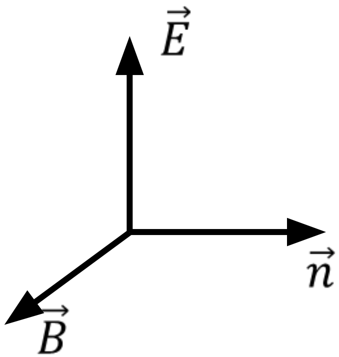
уравнение плоской электромагнитной волны, распространяющейся вдоль оси *X*

$$E = E_0 \cos(\omega t - kx); \quad B = B_0 \cos(\omega t - kx)$$

Свойства гармонических волн

$$\boxed{\vec{n}\vec{E} = \vec{n}\vec{B} = 0}$$

$$\boxed{\vec{n} \times \vec{E} = c\vec{B}}$$



$\vec{E}, \vec{B}, \vec{n}$ – правая тройка векторов

$E = cB$

В любой момент времени магнитная энергия равняется электрической (W_E = W_H)

Электрический и магнитный вектора всегда колеблются в одинаковых фазах. Поэтому для описания электромагнитной волны берут только одно уравнение с вектором $\vec{E}$.

Поток энергии

Плотность потока энергии - энергия, переносимая волной в 1 с через единичную площадку, перпендикулярную скорости волны.

$$\boxed{\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} = \vec{n}EH = \vec{n}c\,\frac{\varepsilon_0 E^2 + B^2/\mu_0}{2}}$$

- вектор Пойнтинга (вектор Умова — Пойнтинга)

$$\boxed{w = \frac{\varepsilon_0 E^2 + B^2/\mu_0}{2}}$$

– объемная плотность электромагнитной энергии

$$\boxed{\vec{S} = \vec{n}cw}$$

скорость переноса энергии плоской гармонической волной в вакууме равна скорости света

Электромагнитные волны в диэлектриках

$$div\vec{D} = \rho$$
$$rot\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$
$$div\vec{B} = 0$$
$$rot\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

– уравнения Максвелла в среде

$$\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E}, \quad \vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$$

– материальные уравнения

$$D_{1n} = D_{2n}\,, \quad E_{1\tau} = E_{2\tau}\,,$$
$$B_{1n} = B_{2n}\,, \quad H_{1\tau} = H_{2\tau}$$

– граничные условия (в отсутствии сторонних зарядов и токов проводимости)

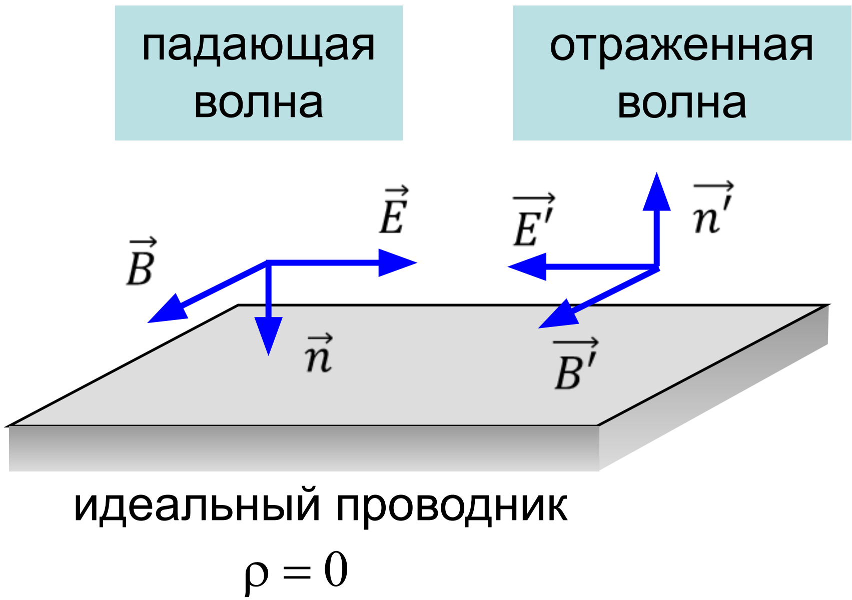
Среда ε = const, μ = const, σ = 0.
В отсутствии сторонних зарядов и токов проводимости

$$\boxed{\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - v^2 \Delta \vec{E} = 0}$$

$$\boxed{\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} - v^2 \Delta \vec{B} = 0}$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{c}{n} < c$$ – скорость распространения электромагнитной волны в диэлектрике

Давление и импульс электромагнитных волн

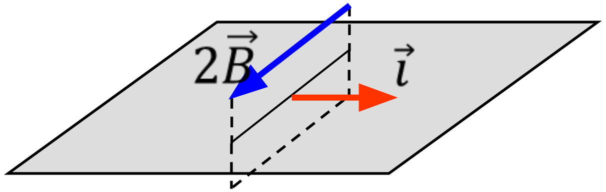


Внутри проводника электрическое поле отсутствует

на границе

$$\vec{E} + \vec{E'} = 0$$

$$\vec{B'} = \vec{B}$$



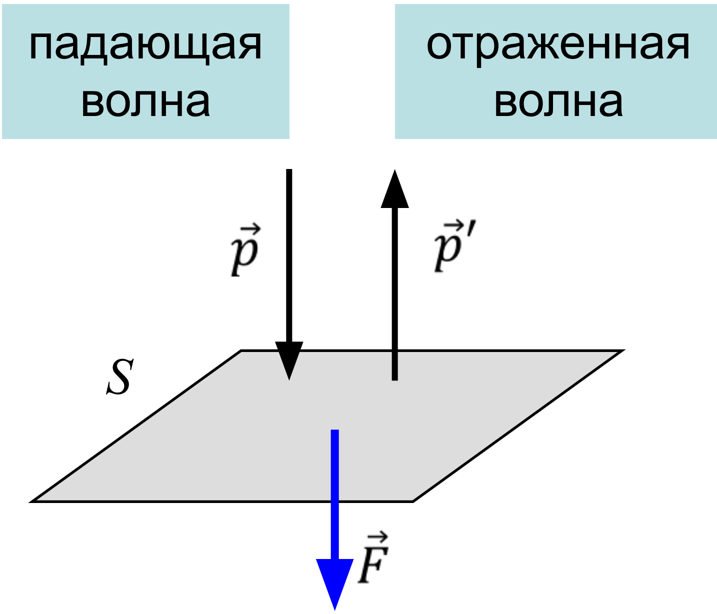
Давление оказывает магнитное поле

$$P = \frac{(2B)^2}{2\mu_0} \overset{(E=cB)}{=} \frac{B^2}{\mu_0} + \varepsilon_0 E^2 = 2w$$

$P = 2w$, w – объемная плотность энергии падающей волны

электромагнитная волна обладает импульсом

$\vec{g}$ – объемная плотность импульса



импульс, переданный проводнику за Δt

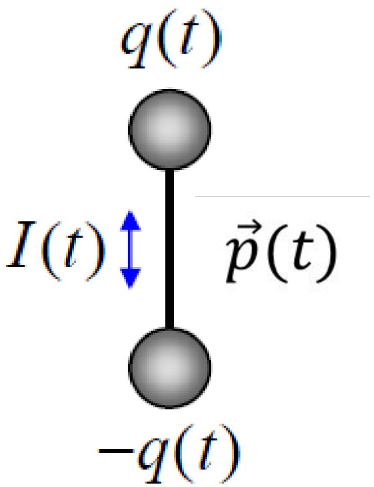
$$\Delta\vec{p} = \vec{g}Sc\Delta t - \vec{g}'Sc\Delta t$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = 2gcS$$

$$\left.\begin{aligned} P &= \frac{F}{S} = 2gc \\ P &= 2w \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad g = \frac{w}{c}$$

$$\boxed{\vec{g} = \frac{w}{c}\vec{n} = \frac{\vec{S}}{c^2}}$$

Излучение электромагнитных волн. Вибратор Герца



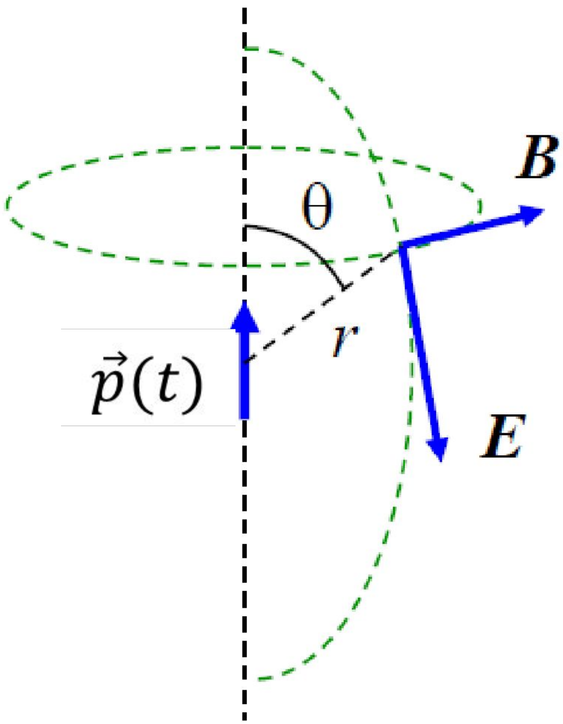
– *вибратор Герца* (электрический диполь, момент которого изменяется со временем)

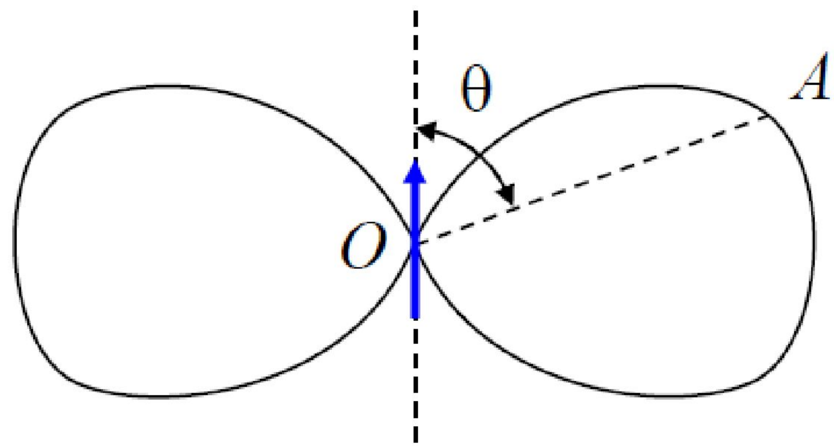
Поле, создаваемое вибратором:

1) $r < \lambda = cT$ – поле, совпадающее с полем статического диполя (электрического и магнитного)

2) $r > \lambda = cT$ – волновая зона, $\vec{B}$ лежит в широтных плоскостях, $\vec{E}$ – в меридиальных

Диаграмма
направленности
излучения диполя





$$\vec{E},\vec{B} \sim \frac{sin\theta}{r}$$

$$S \sim OA$$

$$S \sim \frac{sin^2\theta}{r^2}$$

Основные законы геометрической оптики

Закон прямолинейного распространения света

В однородной среде свет распространяется по прямым линиям.

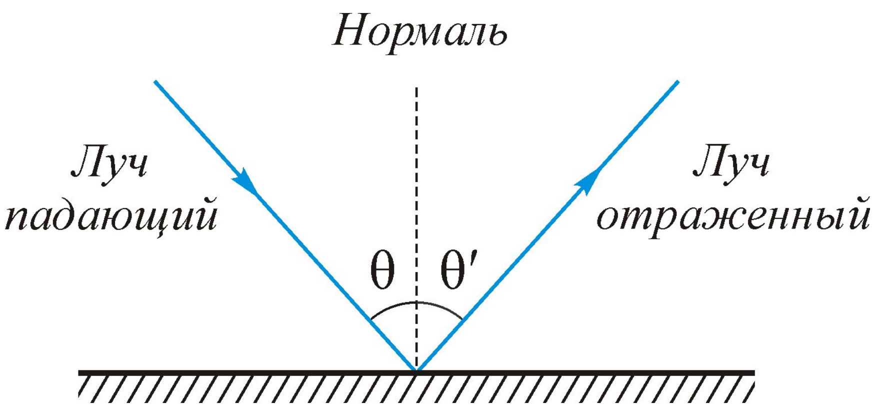
Закон теряет силу в явлениях дифракции света.

Закон независимости световых пучков

Действие световых пучков является независимым, т.е. суммарный эффект представляет собой сумму вкладов каждого светового пучка в отдельности.

Закон теряет силу в явлениях интерференции света.

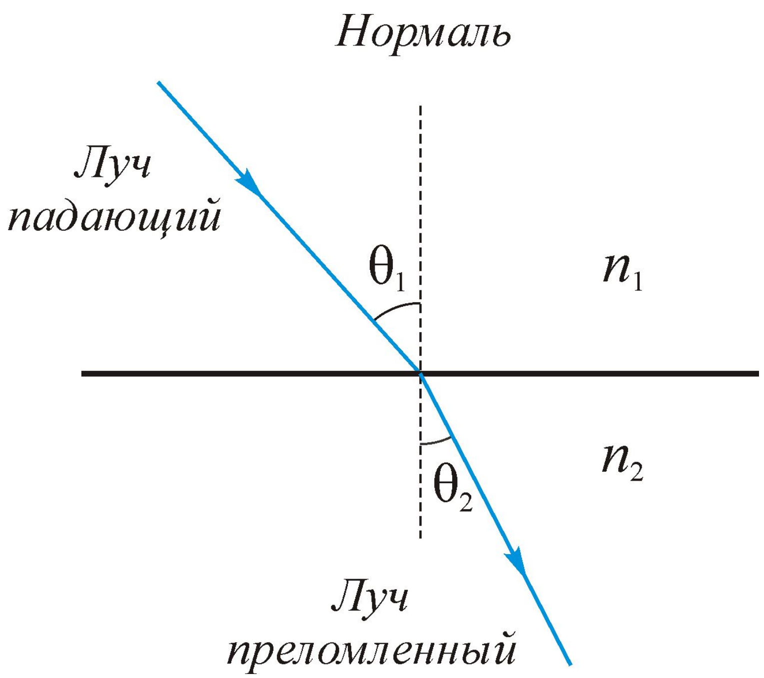
Закон отражения света



$$\theta = \theta'$$

Луч падающий, нормаль к отражающей поверхности и луч отраженный лежат в одной плоскости, углы между лучами и нормалью равны между собой.

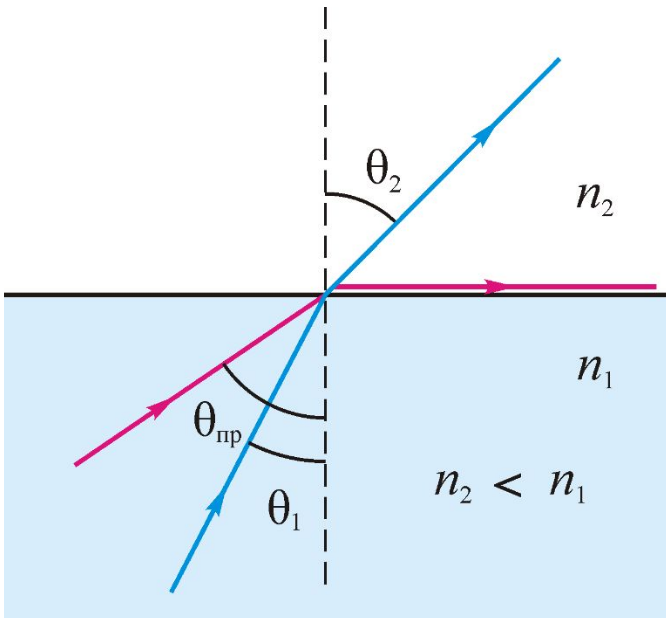
Закон преломления света



Падающий и преломленный лучи лежат в одной плоскости с нормалью к границе раздела и связаны между собой соотношением:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Полное внутреннее отражение



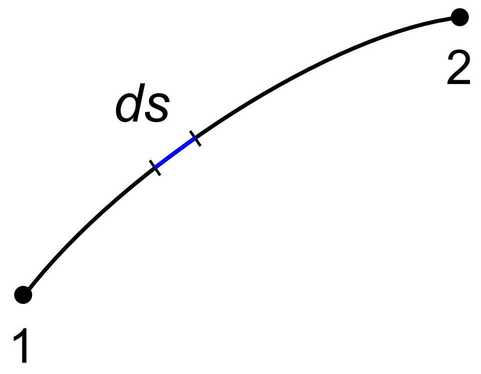
$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{n_1}{n_2} > 1 \quad \Rightarrow \quad \theta_2 > \theta_1$$

$$\sin\theta_{пр} = \frac{n_2}{n_1}$$

$\theta_{пр}$ – *предельный угол*

При $\theta_1 > \theta_{пр}$ весь падающий свет полностью отражается

Принцип Ферма



$$L = \int_1^2 n\, ds$$ – *оптическая длина пути*

Принцип Ферма:

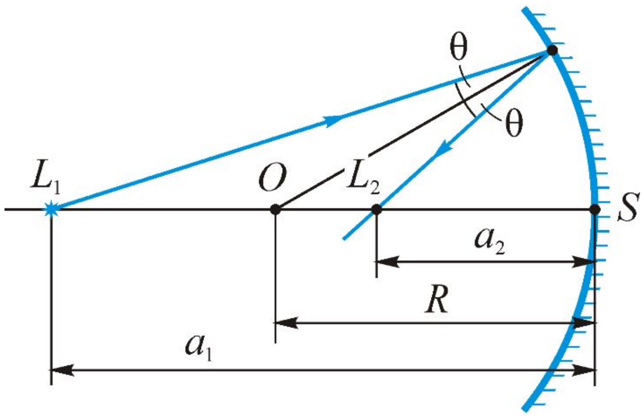
Свет распространяется по наименьшему оптическому пути.

Принцип Ферма $\Rightarrow$

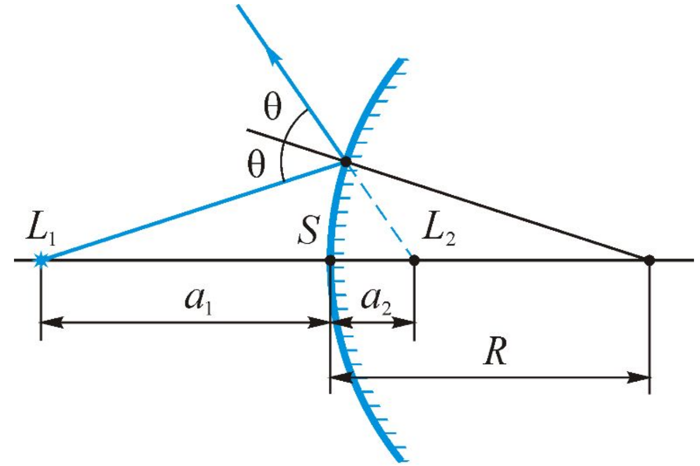
- Обратимость световых лучей
- Закона отражения света
- Закон преломления света

Отражение на сферической поверхности

Вогнутое зеркало



Выпуклое зеркало



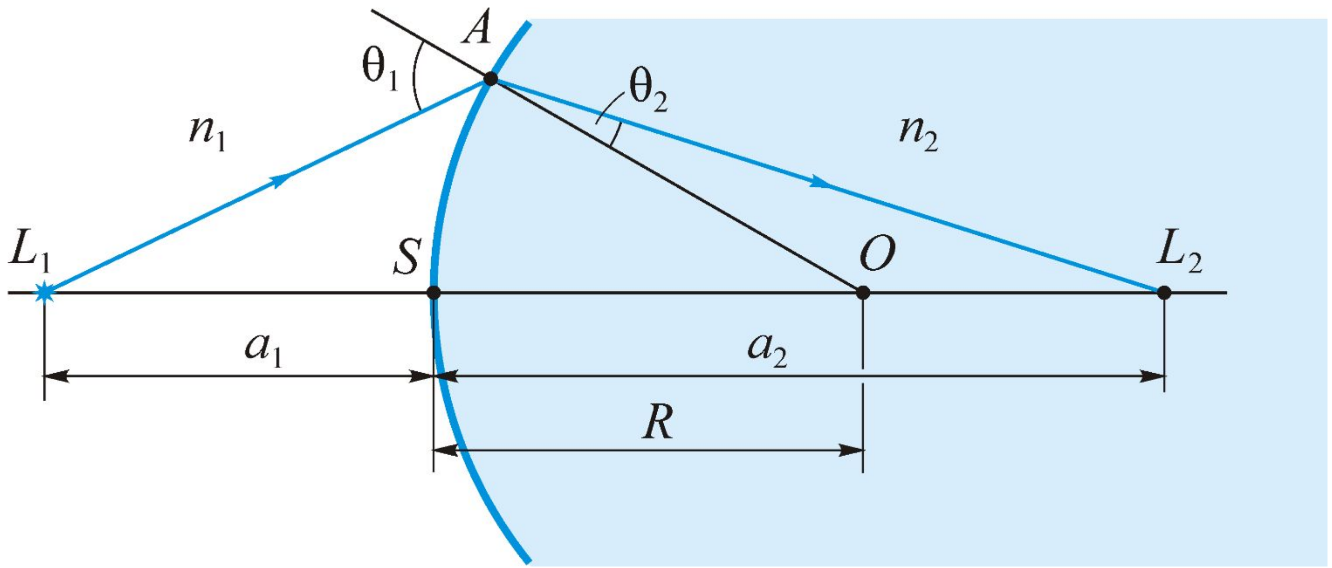
$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{f}$$

– формула сферического зеркала

$f = R/2$ – *фокусное расстояние*

<u>Правило знаков</u>: отрезки, отсчитываемые в направлении распространения света от точки *S*, считаются положительными отрицательными в обратном .

Преломление на сферической поверхности



$$\boxed{\frac{f_1}{a_1} + \frac{f_2}{a_2} = 1}$$

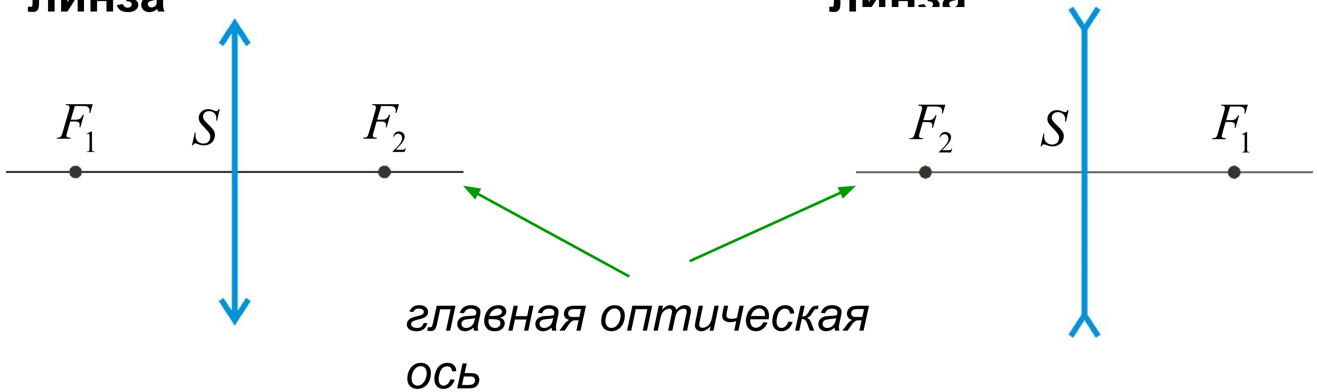
$$f_1 = -\frac{n_1 R}{n_2 - n_1}, \quad f_2 = \frac{n_2 R}{n_2 - n_1}, \quad \frac{f_2}{f_1} = -\frac{n_2}{n_1}$$

f_1, f_2 – фокусные расстояния

Преломление в линзе. Формула линзы

Тонкая линза − система из двух сферических поверхностей малой толщины.

Собирающая линза **Рассеивающая линза**



S − оптический центр

F_1 *− передний фокус* $(a_1 = F_1 \leftrightarrow a_2 = \infty)$

F_2 *− задний фокус* $(a_1 = -\infty_1 \leftrightarrow a_2 = F_2)$

$$\frac{1}{a_2} - \frac{1}{a_1} = \frac{1}{f}$$

− формула линзы

a_1 − расстояние до источника, a_2 − расстояние до изображения

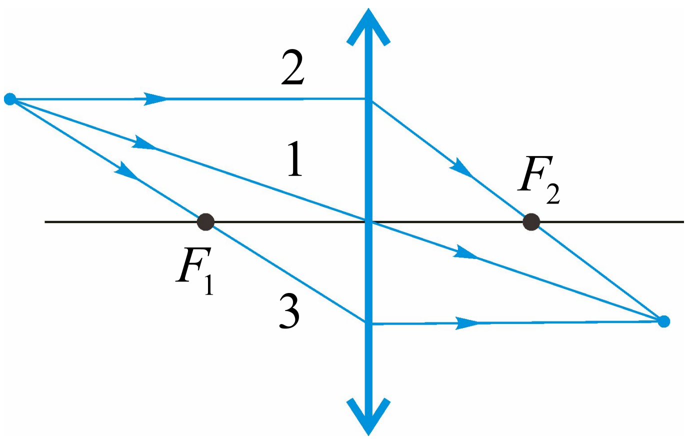
$$f = f_2 = -f_1$$

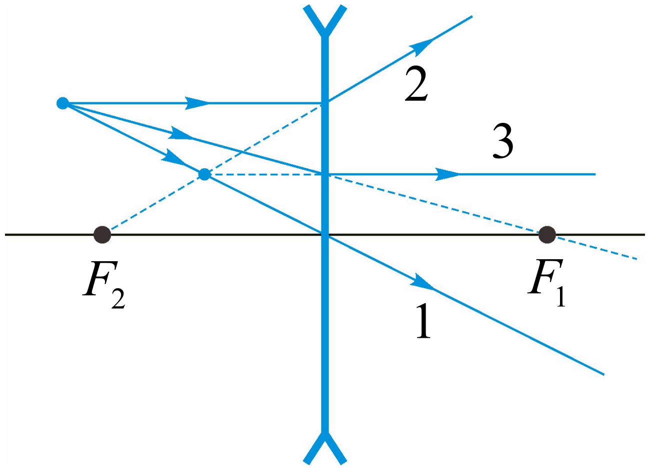
− *фокусное расстояние* линзы

$f > 0$ − *собирающая линза*, $f < 0$ − *рассеивающая линза*

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

Изображение в тонкой линзе





1) луч, проходящий через оптический центр линзы; после преломления в линзе луч не меняет своё направление;
2) луч, идущий параллельно главной оптической оси; после преломления в линзе луч (или его продолжение) проходит через задний фокус линзы;
3) луч (или его продолжения), проходящий через передний фокус линзы; после преломления в ней он выходит параллельно ее главной оптической оси.