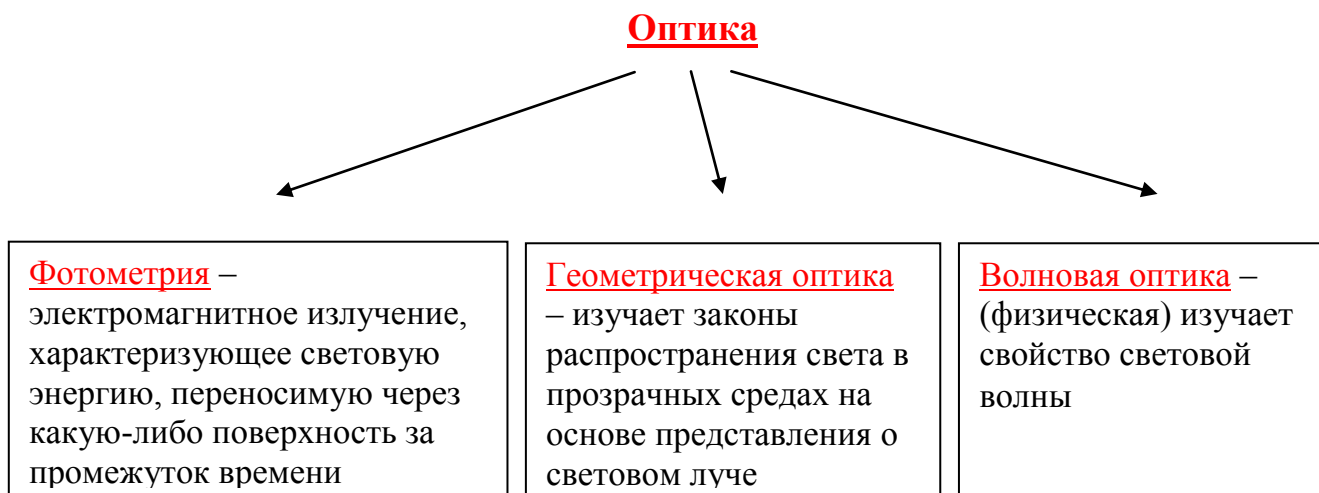


Точечный источник света. Скорость распространения света. Законы отражения и преломления света. Солнечные и лунные затмения. Принцип Гюйгенса

ОПТИКА - это раздел физики, изучающий световые явления, выясняющей природу света, устанавливающий свойства света, изучающий его излучения, распространение и взаимодействие с вещества.



Геометрическая оптика.

Основным законом является:

1) Закон о прямолинейном распространении света:

- свет распространяется прямолинейно и равномерно;
- распространение света происходит в однородной среде;
- свет распространяется лучами;

Свет – это электромагнитное излучение, которое вызывает зрительные ощущения.

Природа света достаточно сложна.

Искусственные источники света разделяют на тепловые и люминесцирующие.

Тепловые – лампа накаливания, зажженная свеча. Люминесцирующие – лампа дневного света.

Как правило, мы говорим о протяженных источниках света. То есть само тело, непосредственно излучающее свет, имеет достаточно большие размеры.

Чтобы изучать световые явления, требуется небольшой источник света.

Точечный источник света – такой источник света, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстоянием, на которое распространяется свет от него.

Еще одно важное понятие – это световой луч.

Световой луч – линия, указывающая направление распространения световой энергии.

Закон о прямолинейном распространении света

В однородной прозрачной среде свет распространяется прямолинейно.

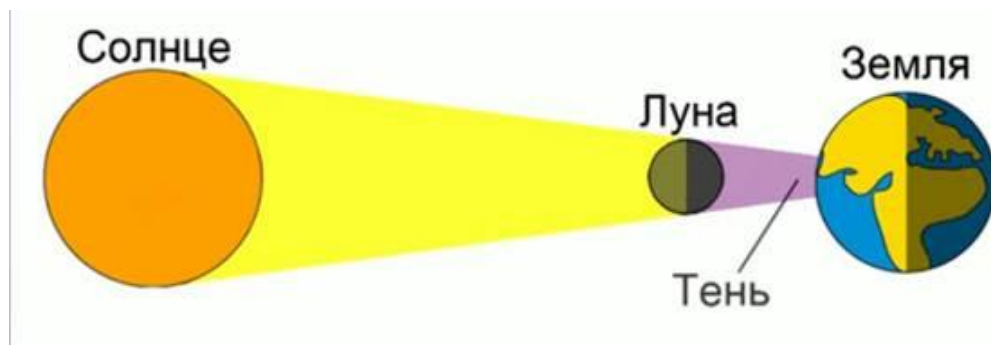
Если среда не прозрачная, то свет не будет распространяться.

Закон о прямолинейном распространении света используется для объяснения таких явлений, как затмение.

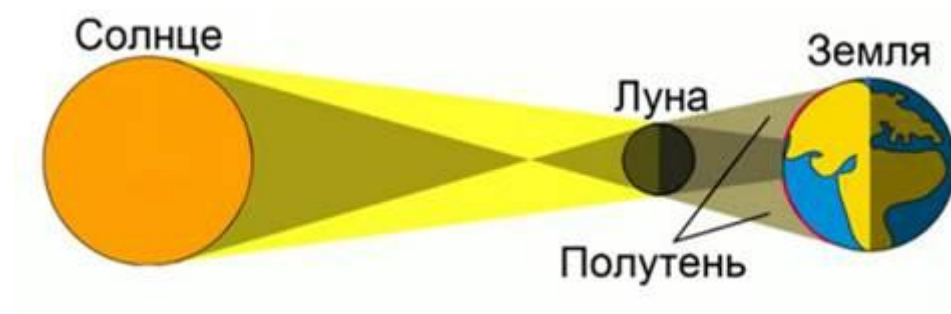


Затмения бывают двух видов: солнечное (рис. 1) и лунное.

Солнечным затмением называют такое явление, когда Луна встает между Солнцем и Землей, и на Землю падает тень от Луны.



Если мы проведем луч от края Солнца к Луне и к Земле, то область, которая заштрихована, будет областью лунной тени, которая располагается на Земле. В тех местах, куда упала тень, будет наблюдаться полное затмение.



В местах полутени только часть Солнца будет закрыта Луной, то есть произойдет частичное затмение Солнца.

Тенью мы называем ту часть пространства, куда свет от источника света не попадает.

Полутень – это та часть пространства, которая освещается частично или только частью источника света.

Лунное затмение



Лунным затмением называют такое явление, когда Луна попадает в тень от Земли. Лунные затмения происходят чаще, чем солнечные.

Первые представления о природе света возникли у древних греков и египтян. По мере изобретения и совершенствования различных оптических приборов (параболических зеркал, микроскопа, зрительной трубы) эти представления развивались и трансформировались. В конце XVII века возникли две теории света: **корпускулярная** (И. Ньютон) и **волновая** (Р. Гук и Х. Гюйгенс).

Согласно корпускулярной теории, свет представляет собой поток частиц (корпускул), испускаемых светящимися телами. Ньютон считал, что движение световых корпускул подчиняется законам механики. Так, отражение света понималось аналогично отражению упругого шарика от плоскости. Преломление света объяснялось изменением скорости корпускул при переходе из одной среды в другую. Для случая преломления света на границе вакуум–среда корпускулярная теория приводила к следующему виду закона преломления:

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \psi} = \frac{v}{c} = n$$

где c – скорость света в вакууме, v – скорость распространения света в среде. Так как $n > 1$, из корпускулярной теории следовало, что скорость света в средах должна быть больше скорости света в вакууме. Ньютон пытался также объяснить появление интерференционных полос, допуская определенную

периодичность световых процессов. Таким образом, корпускулярная теория Ньютона содержала в себе элементы волновых представлений.

Принцип Гюйгенса

Мы говорили выше, что распространение волн удобно представлять себе как движение волновых поверхностей. Но как, зная положение волновой поверхности в данный момент времени, определить её положение в следующий момент?

Ответ на этот вопрос даёт принцип Гюйгенса - основной постулат волновой теории. Принцип Гюйгенса равным образом справедлив как для механических, так и для электромагнитных волн.

Чтобы лучше понять идею Гюйгенса, давайте рассмотрим такой пример. Бросим в воду горсть камней. От каждого камня пойдёт круговая волна с центром в точке падения камня. Эти круговые волны, накладываясь друг на друга, создадут общую волновую картину на поверхности воды. Важно то, что все круговые волны и порождённая ими волновая картина будут существовать и после того, как камни пустятся на дно. Стало быть, непосредственной причиной исходных круговых волн служат не сами камни, а *локальные возмущения* поверхности воды в тех местах, куда камни упали. Именно локальные возмущения сами по себе являются источниками расходящихся круговых волн и формирующейся волновой картины, и уже не столь важно, что конкретно послужило причиной каждого из этих возмущений - камень ли, поплавок или какой-то иной объект. Для описания последующего волнового процесса важно только то, что в определённых точках поверхности воды возникли круговые волны.

Ключевая идея Гюйгенса состояла в том, что локальные возмущения могут порождаться не только посторонними объектами типа камня или поплавок, но также и распространяющейся в пространстве волной!

Принцип Гюйгенса. Каждая точка пространства, вовлечённая в волновой процесс, сама становится источником сферических волн.

Эти сферические волны, распространяющиеся во все стороны от каждой точки волнового возмущения, называются *вторичными волнами*. Последующая

эволюция волнового процесса состоит в наложении вторичных волн, испущенных всеми точками, до которых волновой процесс уже успел добраться.

Принцип Гюйгенса даёт рецепт построения волновой поверхности в момент времени $t + \Delta t$ по известному её положению в момент времени t (рис. 3).

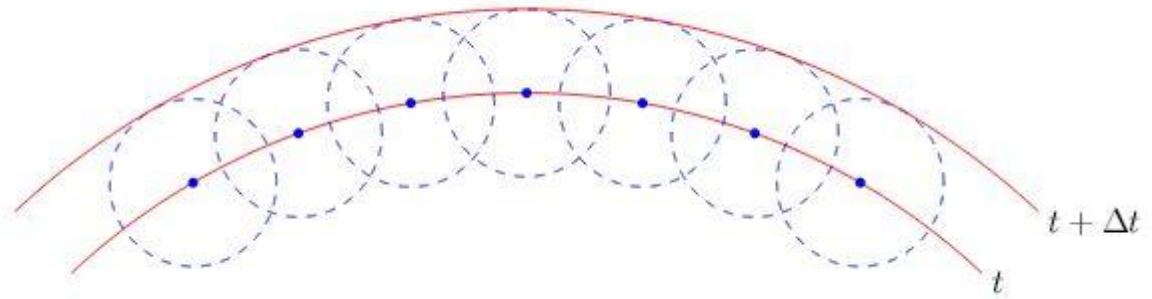


Рис. 3. Принцип Гюйгенса: движение волновых поверхностей

Именно, каждую точку исходной волновой поверхности мы рассматриваем как источник вторичных волн. За время Δt вторичные волны пройдут расстояние $c\Delta t$, где c - скорость волны. Из каждой точки старой волновой поверхности строим сферы радиуса $c\Delta t$; новая волновая поверхность будет касательной ко всем этим сферам. Говорят ещё, что волновая поверхность в любой момент времени служит *огibaющей* семейства вторичных волн.

Но, конечно, для построения волновой поверхности мы не обязаны брать вторичные волны, испущенные точками, лежащими непременно на одной из предыдущих волновых поверхностей. Искомая волновая поверхность будет огibaющей семейства вторичных волн, излучённых точками вообще всякой поверхности, вовлечённой в колебательный процесс.

На базе принципа Гюйгенса можно вывести законы отражения и преломления света, которые раньше мы рассматривали лишь как обобщение экспериментальных фактов.

Для случая преломления света на границе вакуум–среда волновая теория приводит к следующему выводу:

$$\frac{\sin \psi}{\sin \varphi} = \frac{c}{v} = n$$

Закон преломления, полученный из волновой теории, оказался в противоречии с формулой Ньютона. Волновая теория приводит к выводу: $v < c$, тогда как согласно корпускулярной теории $v > c$.

Таким образом, к началу XVIII века существовало два противоположных подхода к объяснению природы света: корпускулярная теория Ньютона и волновая теория Гюйгенса. Обе теории объясняли прямолинейное распространение света, законы отражения и преломления. Весь XVIII век стал веком борьбы этих теорий. Однако в начале XIX столетия ситуация коренным образом изменилась. Корпускулярная теория была отвергнута и восторжествовала волновая теория. Большая заслуга в этом принадлежит английскому физiku Т. Юнгу и французскому физiku О. Френелю, исследовавшим явления интерференции и дифракции. Исчерпывающее объяснение этих явлений могло быть дано только на основе волновой теории. Важное экспериментальное подтверждение справедливости волновой теории было получено в 1851 году, когда Ж. Фуко (и независимо от него А. Физо) измерил скорость распространения света в воде и получил значение $v < c$.

Хотя к середине XIX века волновая теория была общепризнанна, вопрос о природе световых волн оставался нерешенным.

В 60-е годы XIX века Максвеллом были установлены общие законы электромагнитного поля, которые привели его к заключению, что *свет — это электромагнитные волны*. Электромагнитная природа света получила признание после опытов Г. Герца (1887–1888 гг.) по исследованию электромагнитных волн. В начале XX века после опытов П. Н. Лебедева по измерению светового давления (1901 г.) электромагнитная теория света превратилась в твердо установленный факт.

Важнейшую роль в выяснении природы света сыграло опытное определение его скорости. Начиная с конца XVII века предпринимались неоднократные попытки измерения скорости света различными методами (астрономический метод А. Физо, метод А. Майкельсона). Современная лазерная техника позволяет измерять скорость света с очень высокой точностью на основе независимых измерений длины волны λ и частоты света ν ($c = \lambda \cdot \nu$). Таким путем было найдено значение

$$c=299792458\pm1,2 \text{ м/с}$$

превосходящее по точности все ранее полученные значения более чем на два порядка.

Параметры, характеризующие электромагнитную волну, связаны между собой соотношением:

$$c = \nu \lambda$$

c – скорость света;

ν – частота световой волны;

λ – длина световой волны.

Для измерения длин волн в оптическом диапазоне используются единицы длины 1 **нанометр** (нм) и 1 **микрометр** (мкм):

$$1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$$

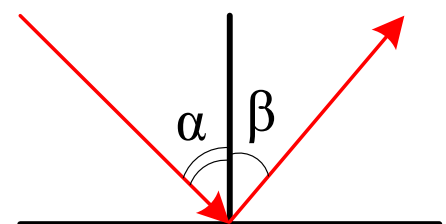
$$1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$$

Видимый свет занимает диапазон приблизительно от 400 нм до 780 нм или от 0,40 мкм до 0,78 мкм.

Электромагнитная теория света позволила объяснить многие оптические явления, такие как интерференция, дифракция, поляризация и т. д. Однако, эта теория не завершила понимание природы света. Уже в начале XX века выяснилось, что эта теория недостаточна для истолкования явлений **атомного масштаба**, возникающих при взаимодействии света с веществом. Для объяснения таких явлений, как излучение черного тела, фотоэффект, эффект Комптона и др. потребовалось введение **квантовых представлений**. Наука вновь вернулась к идее корпускул – световых квантов. Тот факт, что свет в одних опытах обнаруживает волновые свойства, а в других – корпускулярные, означает, что **свет имеет сложную двойственную природу**, которую принято характеризовать термином **корпускулярно-волновой дуализм**.

2) Законы отражения света:

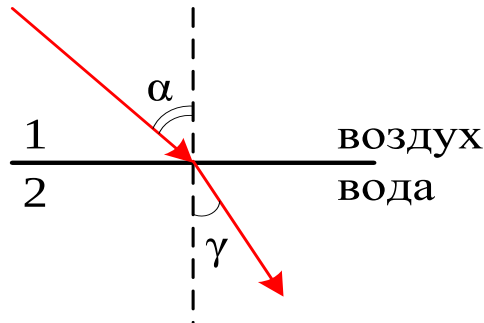
- луч падающий и отраженный лежат в одной плоскости вместе с перпендикуляром, восстановленном в точке падения луча;
- угол падения равен углу отражения. $\alpha = \beta$



3) Законы преломления:

- (1) падающий луч и преломленный лежат в одной плоскости вместе с перпендикуляром к границе раздела двух сред, восстановленным в точке падения луча;
- (2) отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух двойных сред.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \text{const}$$



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

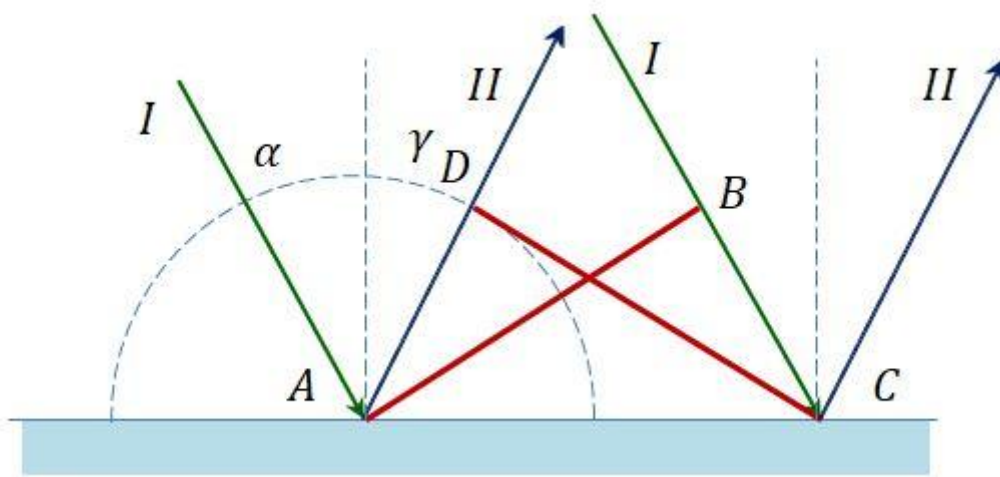
Показатель преломления воздуха = 1 ($n_{\text{воздуха}}$);
стекла = 1.5

Отражение и поглощение светового луча зависит от рода вещества, состояния поверхности, состава излучения и угла падения.

Вывод на основе принципа Гюйгенса:

Предположим, что плоская волна (фронт волны AB), распространяющаяся в вакууме вдоль направления I со скоростью c , падает на границу раздела двух сред. Когда фронт волны AB достигнет отражающей поверхности в точке A , эта точка начнет излучать **вторичную волну**.

Для прохождения волной расстояния BC требуется время $\Delta t = BC/v$. За это же время фронт вторичной волны достигнет точек полусферы, радиус AD которой равен: $v\Delta t = BC$. Положение фронта отраженной волны в этот момент времени в соответствии с принципом Гюйгенса задается плоскостью DC , а направление распространения этой волны – лучом II . Из равенства треугольников ABC и ADC вытекает **закон отражения**: *угол падения α равен углу отражения γ* .

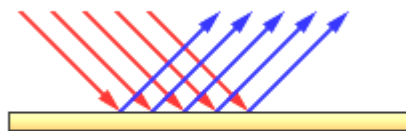


Отражение света делят:

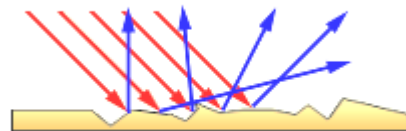
1. Зеркальное отражение – пучок света падает и отражается
2. Диффузное или рассеянное (пучок света падает, а отражается в разные стороны).

Это отражение позволяет видеть предметы.

.



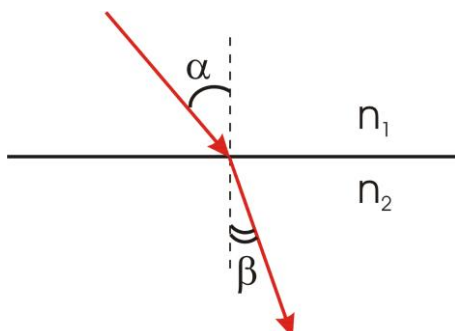
Зеркальное отражение



Рассеянное отражение

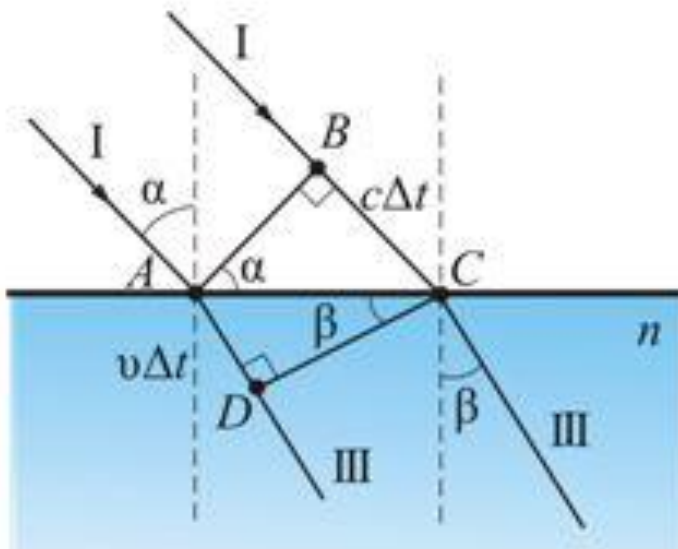
Закон преломления (закон Снелиуса):

- луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела в точке падения, лежат в одной плоскости;
- отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред.



$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

Вывод закона преломления. Предположим, что плоская волна (фронт волны AB), распространяющаяся в вакууме вдоль направления I со скоростью c , падает на границу раздела со средой, в которой скорость ее распространения равна v .



Пусть время, затрачиваемое волной для прохождения пути BC , равно Δt . Тогда $BC = c\Delta t$. За это же время фронт волны, возбуждаемой точкой A в среде со скоростью v , достигнет точек полусферы, радиус которой $AD = v\Delta t$. Положение фронта преломленной волны в этот момент времени в соответствии с принципом Гюйгенса задается плоскостью DC , а направление ее распространения – лучом II .

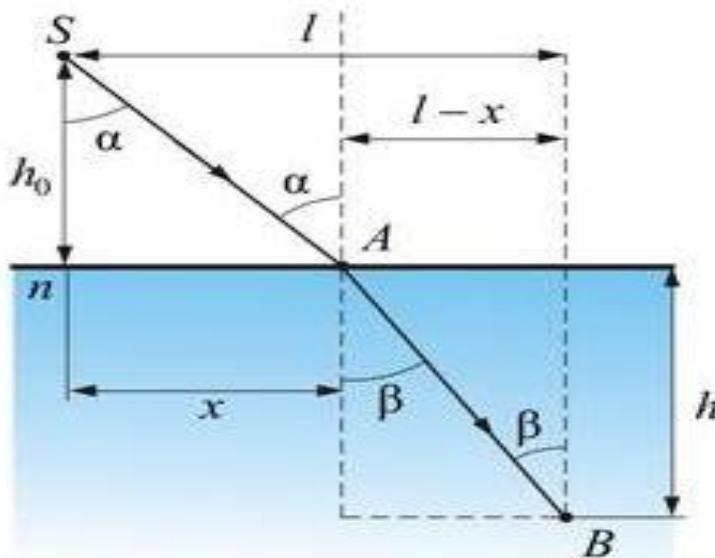
Отсюда следует закон Снелиуса:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c}{v} = \frac{n_2}{n_1}$$

Принцип Ферма: свет распространяется между двумя точками по пути, для прохождения которого необходимо наименьшее время.

Покажем применение этого принципа к решению той же задачи о преломлении света.

Луч от источника света S , расположенного в вакууме идет до точки B , расположенной в некоторой среде за границей раздела

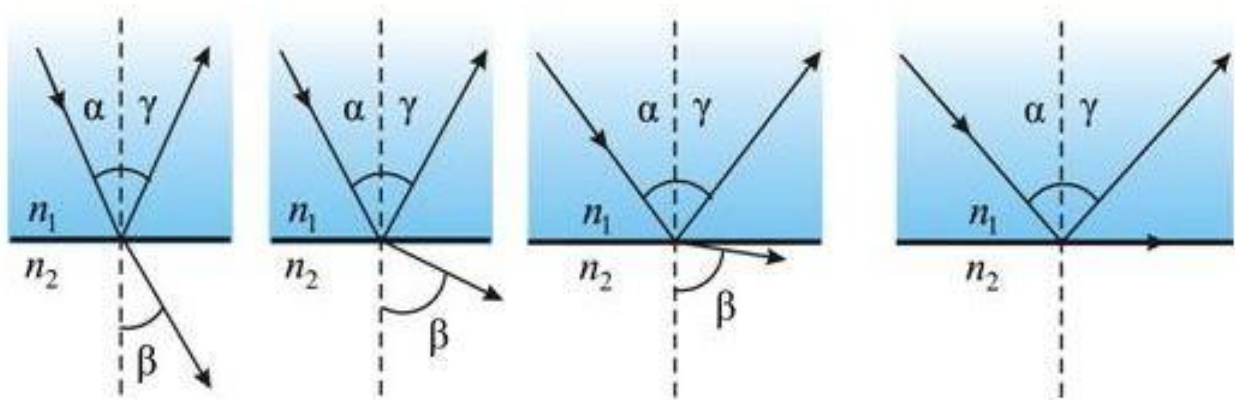


В каждой среде кратчайшим путем будут прямые SA и AB. Точку A охарактеризуем расстоянием x от перпендикуляра, опущенного из источника на границу раздела.

Следствия из принципа Ферма:

1. *Обратимость световых лучей: если обратить луч III, заставив его падать на границу раздела под углом β , то преломленный луч в первой среде будет распространяться под углом α , т. е. пойдет в обратном направлении вдоль луча I.*

2. Если свет распространяется из среды с большим показателем преломления n_1 (оптически более плотной) в среду с меньшим показателем преломления n_2 (оптически менее плотной) ($n_1 > n_2$), например из стекла в воздух, то, согласно закону преломления, преломленный луч удаляется от нормали и угол преломления β больше, чем угол падения α :



3. С увеличением угла падения увеличивается угол преломления, до тех пор, пока при некотором угле падения ($\alpha = \alpha_{np}$) угол преломления не окажется равным $\pi/2$.