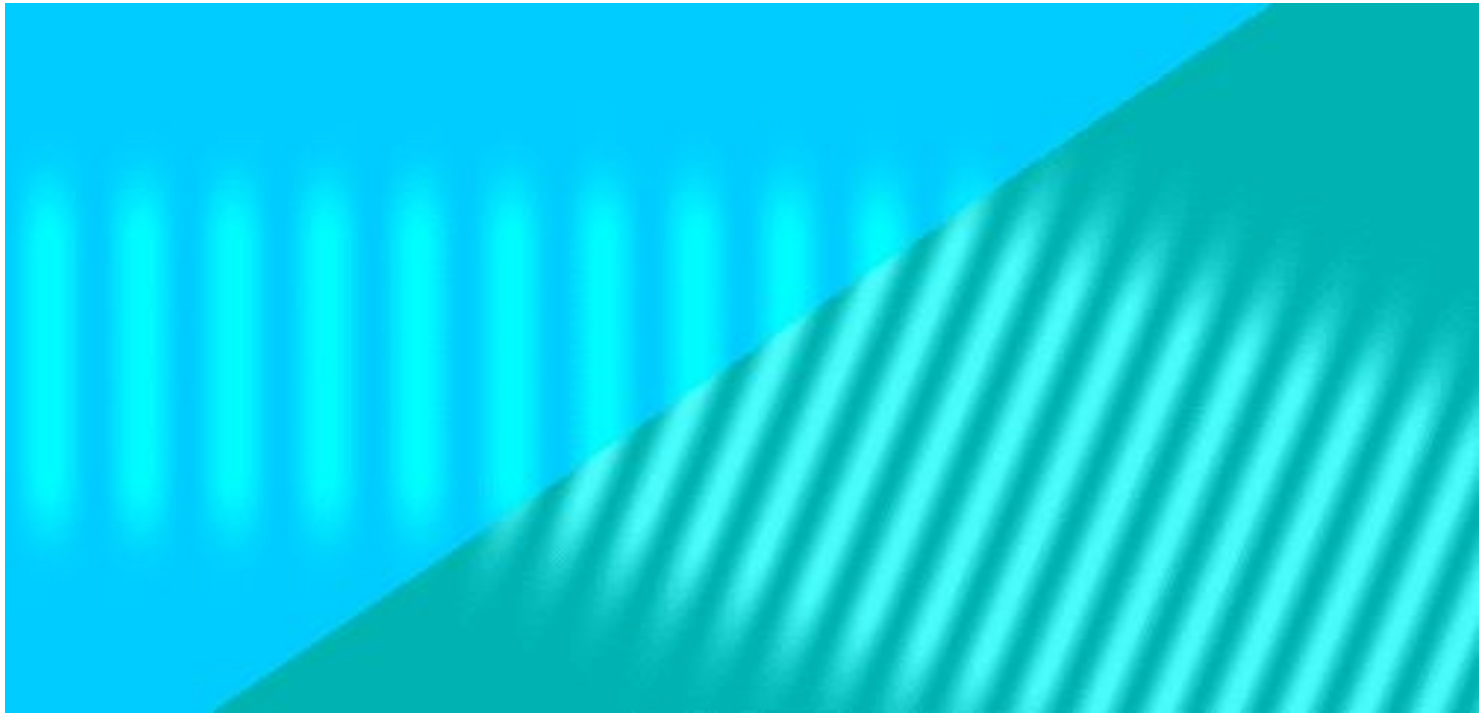
Лекция 2.
Показатель преломления
Коэффициент преломления
Index of refraction
Index



Законы геометрической оптики

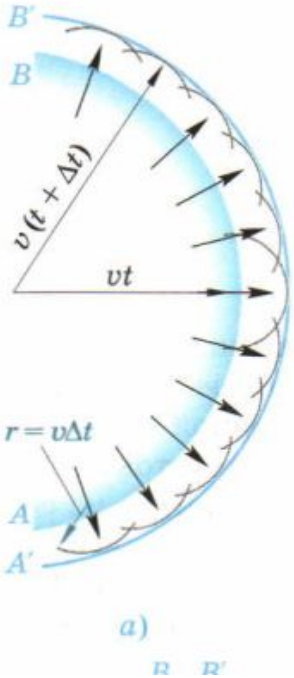
В основе геометрической оптики лежат несколько простых эмпирических законов:

- Закон прямолинейного распространения света
- Закон независимого распространения лучей
- Закон отражения света
- Закон преломления света (Закон Снеллиуса, или Снелла)
- Закон обратимости светового луча.

План лекции

- Принцип Гюйгенса
- Дисперсия света. Скорость света в среде.
- Объяснение явления дисперсии
- Преломление на границе двух сред
- Коэффициенты преломления материалов
- Прохождение света через призму. Призма и принцип Ферма. Оптическая длина пути
- Прохождение света через плоскопараллельную пластинку
- Полное внутреннее отражение

Принцип Гюйгенса



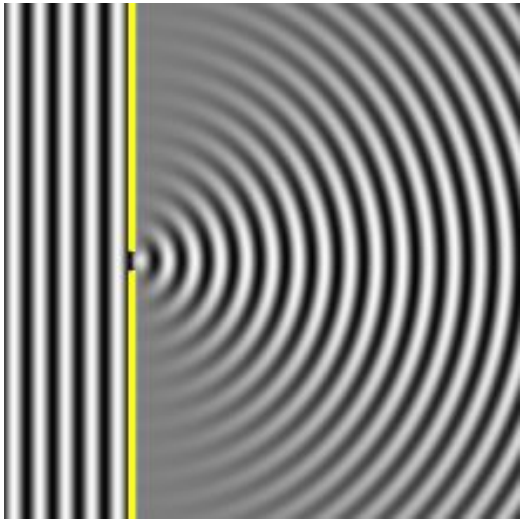
Передний фронт волны — совокупность наиболее отдалённых от источника точек, до которых одновременно дошёл процесс распространения волны.
Фронт механической волны — совокупность точек, колеблющихся в одинаковой фазе.

В 1678 г. голландский учёный ***Христиан Гюйгенс*** сформулировал этот результат следующим образом.

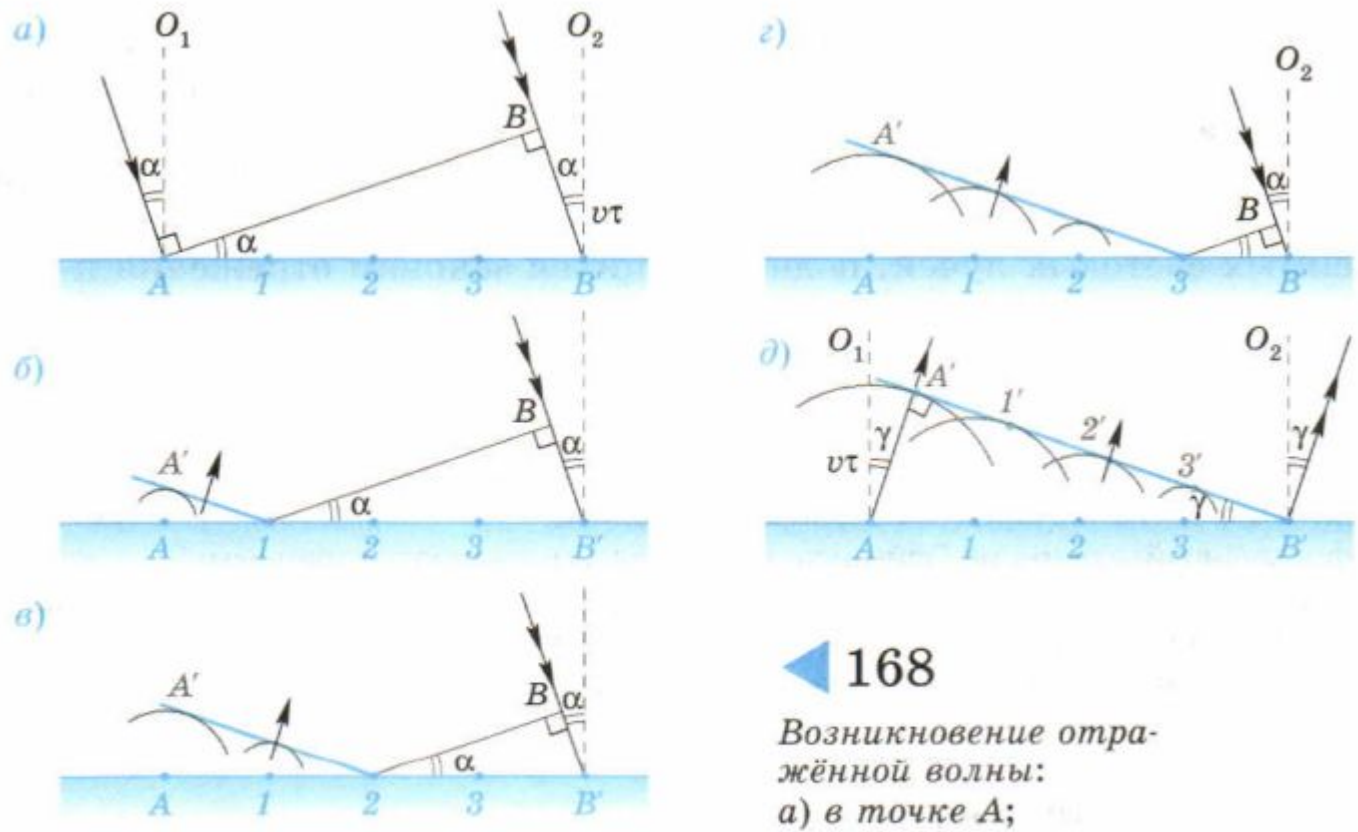
Принцип Гюйгенса

Каждая точка фронта волны является источником вторичных волн, распространяющихся во все стороны со скоростью распространения волны в среде.

Принцип Гюйгенса хорошо объясняет явления волновой оптики



Объяснение принципом Гюйгенса свойства отражения света (угол падения равен углу отражения)



168

Возникновение отражённой волны:
а) в точке A;
б) в точке 1;
в) в точке 2;
г) в точке 3;
д) в точке B′

Принцип Гюйгенса и преломление света

Абсолютный показатель преломления среды. Максимальной скоростью распространения взаимодействия является скорость света в вакууме. В любой среде свет распространяется с меньшей скоростью. Физической величиной, характеризующей уменьшение скорости распространения света в среде по сравнению со скоростью света в вакууме, является *абсолютный показатель преломления среды*.

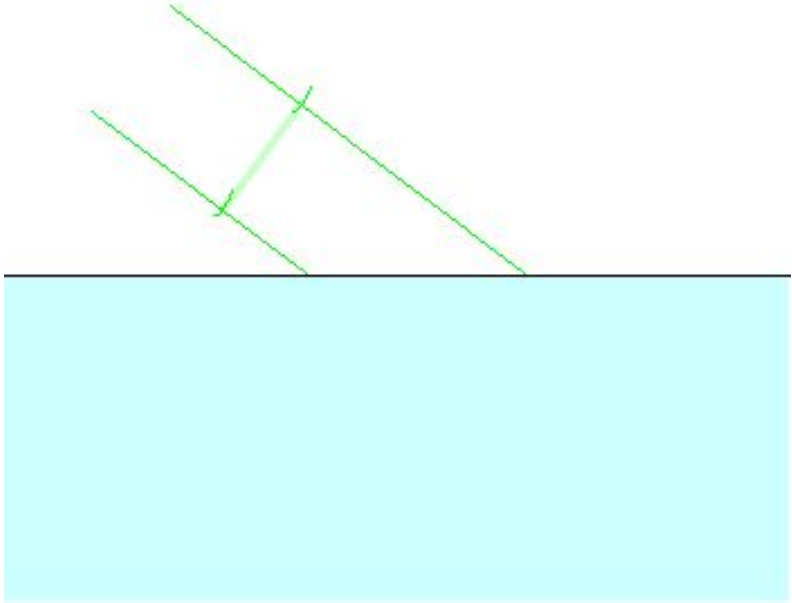
Абсолютный показатель преломления среды — физическая величина, равная отношению скорости света в вакууме к скорости света в данной среде:

$$n = \frac{c}{v}. \qquad (163)$$

Абсолютный показатель преломления среды показывает, во сколько раз скорость распространения света в данной среде меньше, чем скорость света в вакууме:

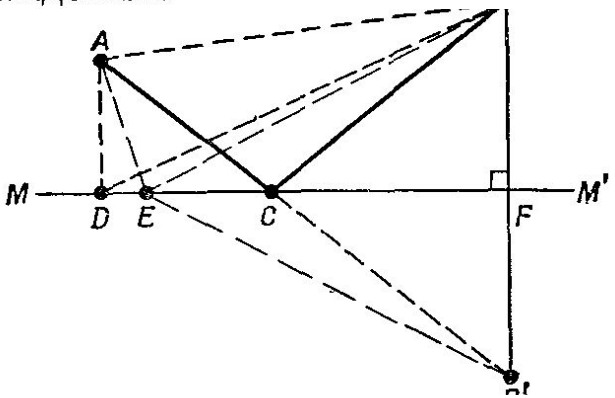
$$v = \frac{c}{n}. \qquad (164)$$

Принцип Гюйгенса, преломление света и отражение света

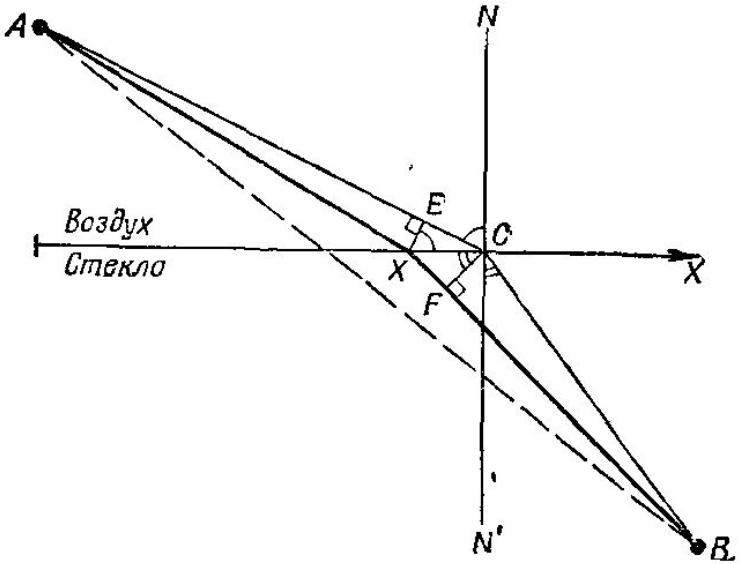


Принцип наименьшего времени Ферма

Впервые общий принцип, наглядно объясняющий закон поведения света, был предложен Ферма примерно в 1650 г. и получил название *принципа наименьшего времени*, или *принципа Ферма*. Вот его идея: свет выбирает из всех возможных путей, соединяющих две точки, тот путь, который требует *наименьшего времени* для его прохождения.



Фиг. 26.3. Иллюстрация принципа наименьшего времени.



$$\sin\theta_i = n\sin\theta_r.$$

Фиг. 26.4. Иллюстрация принципа Ферма для случая преломления.

Оптическая длина пути. Принцип Ферма

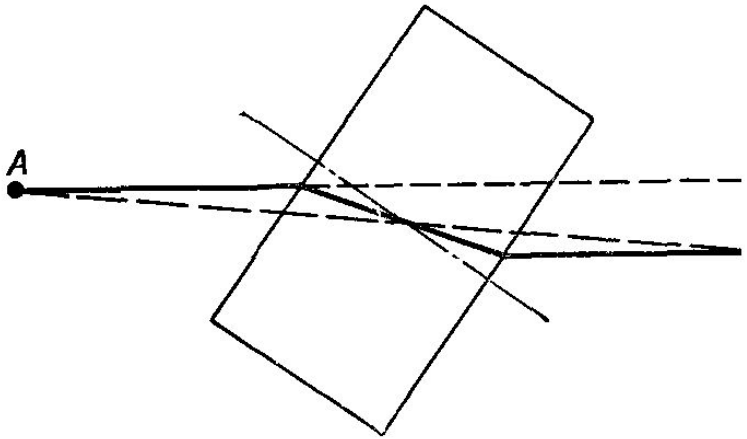
- В основу геометрической оптики может быть положен принцип Ферма: **«Свет распространяется по такому пути, для прохождения которого ему требуется минимальное время».** (Это формулировка самого Ферма)
- Для прохождения участка пути *ds* свету требуется время *dt=ds/v*, где *v* – скорость света в данной точке среды. Следовательно, время, необходимое свету для прохождения пути от точки1 до точки 2, равно

$$\tau = \int_1^2 \frac{ds}{\upsilon} = \int_1^2 \frac{n}{c} ds = \frac{1}{c} \int_1^2 n ds$$

- Величина, имеющая размерность длины $L = \int_1^2 n ds$ называется **оптической длиной пути**. В оптически однородной среде $L = ns$
- Так как *t=L/c*, то можно принцип Ферма сформулировать следующим образом: «**Свет распространяется по такому пути, оптическая длина которого экстремальна** (т.е. минимальна, максимальна, или стационарна- одинакова для всех путей)».

§ 4. *Применения принципа Ферма*

Рассмотрим теперь некоторые интересные следствия принципа наименьшего времени. Первое из них — принцип обратимости. Мы уже нашли путь из A в B, требующий наименьшего времени; пойдем теперь в обратном направлении (считая, что скорость света не зависит от направления). Наименьшему времени отвечает та же траектория, и, следовательно, если свет распространяется по некоторому пути в одном направлении, он будет двигаться по этому пути и в обратном направлении.



Фиг. 26.6. Луч света, выходящий из прозрачной пластины, параллелен падающему лучу.

Иллюстрация применения принципа Ферма к отражению света от поверхностей различной кривизны показана на рис. 2.9. Нетрудно доказать, что для плоской (рис. 2.9, *а*) и выпуклой (рис. 2.9, *б*) поверхностей из всех возможных траекторий *АКВ*, соединяющих точки *А* и *В*, таких что точка *К* лежит на зеркале, *наименьшую* длину имеет та, для которой угол падения равен углу отражения.

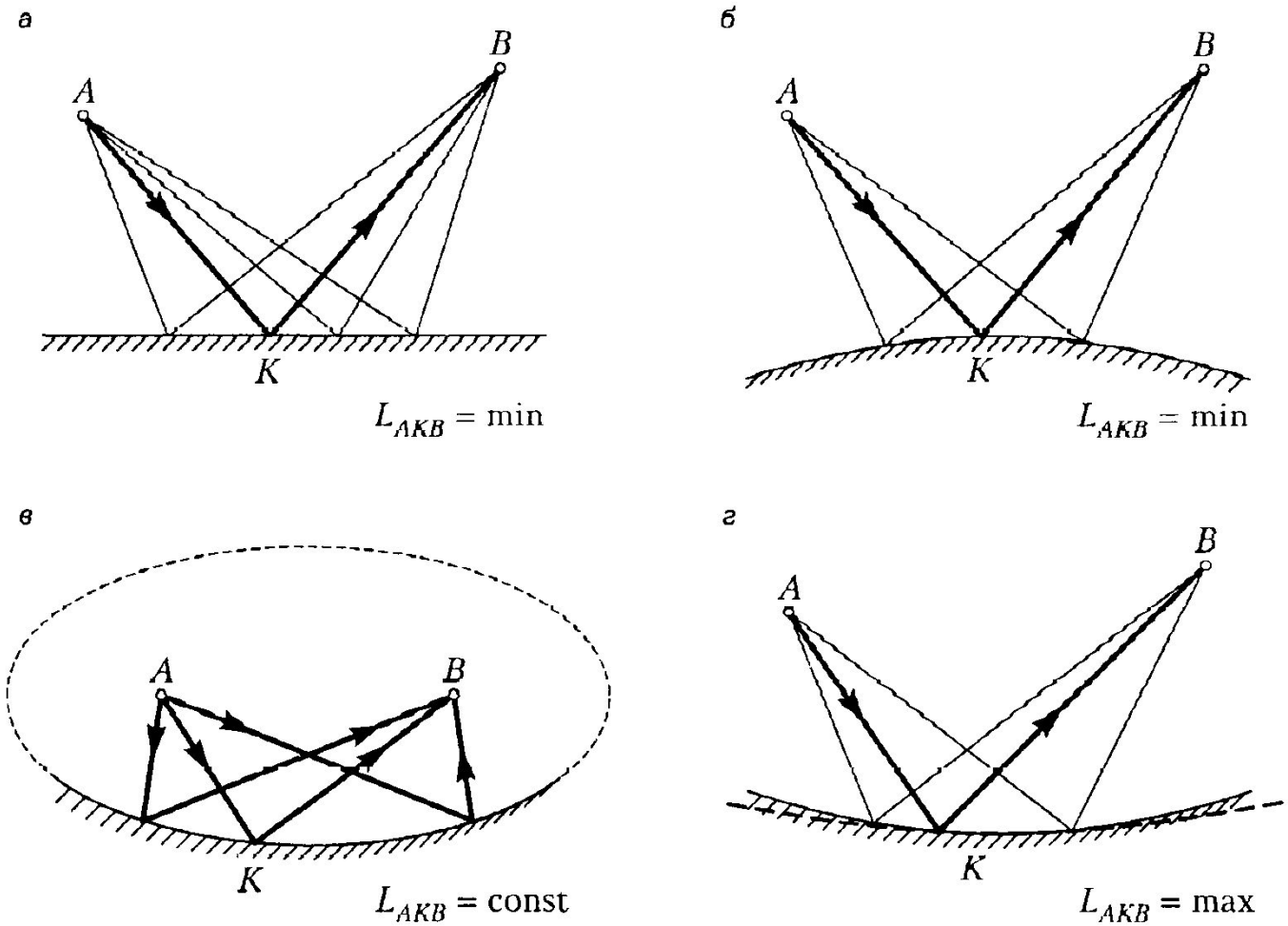
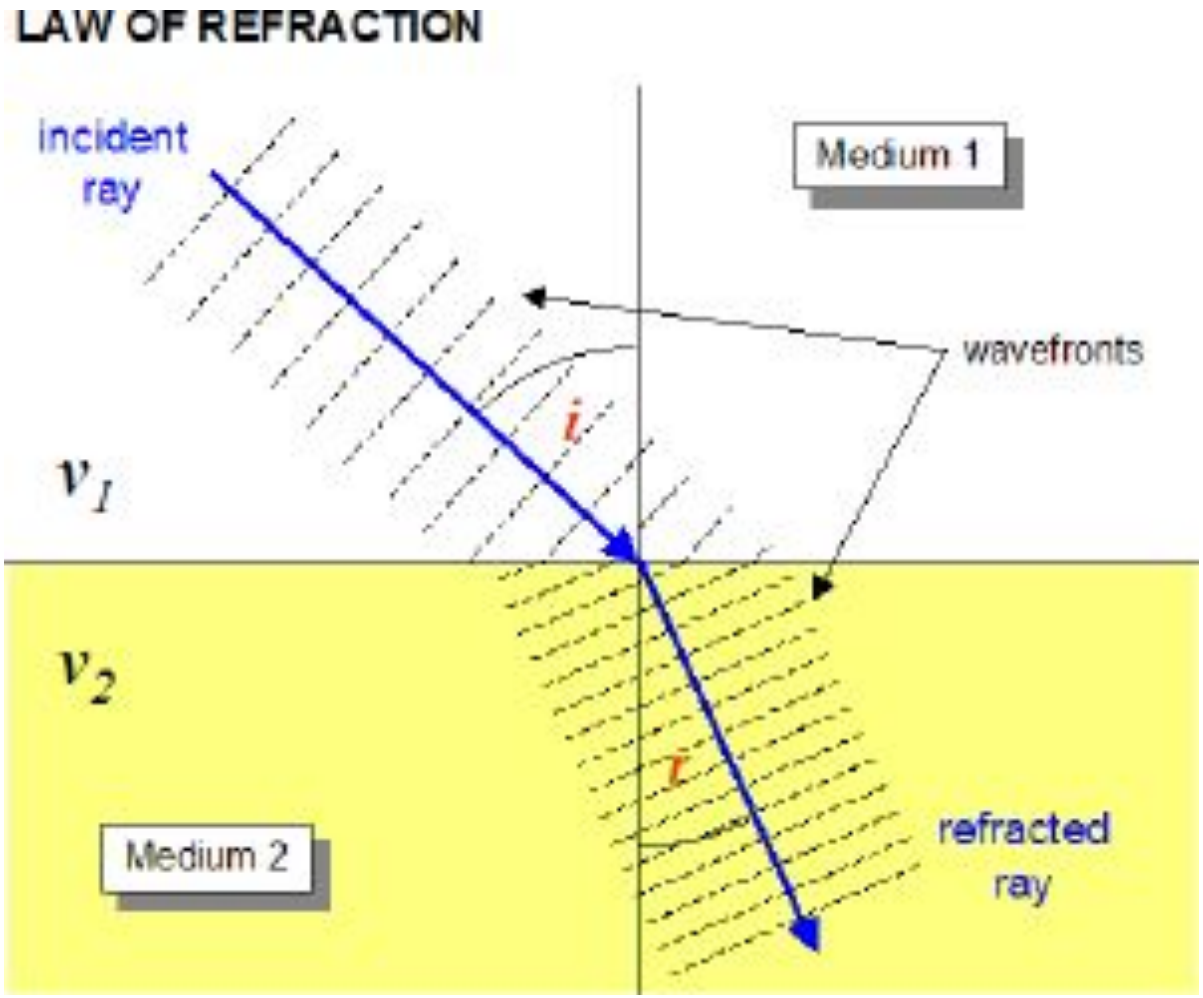


Рис. 2.9. Иллюстрация принципа Ферма отражением от зеркальных поверхностей различной формы

Скорость света и угол преломления



Причина возникновения показателя преломления

§ 56. Дисперсия света

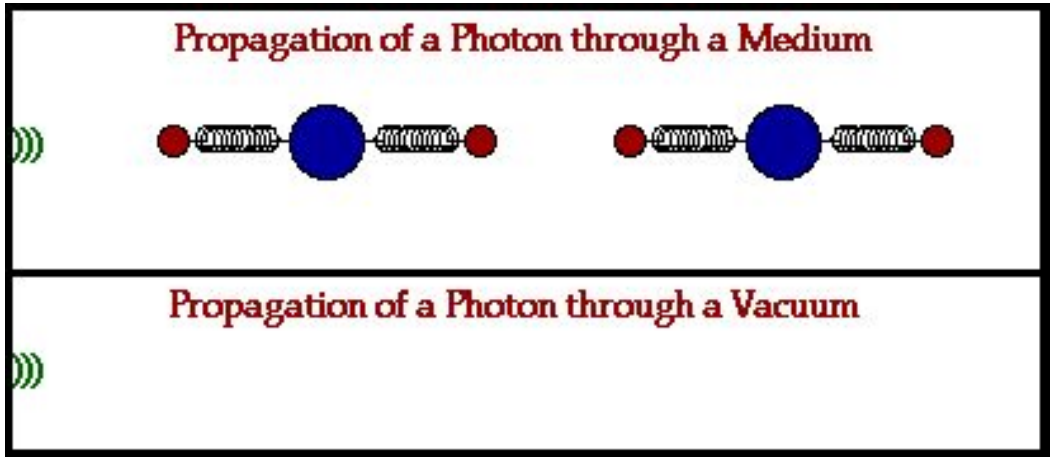
Призма Ньютона. В вакууме электромагнитные волны различных частот (длин волн) распространяются с одной и той же скоростью $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Однако в среде скорости распространения монохроматических волн разных частот отличаются друг от друга.

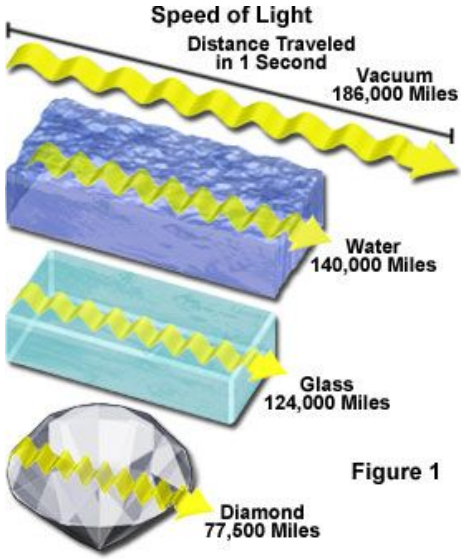
Монохроматическая волна — электромагнитная волна определённой постоянной частоты.

Монохроматические волны разных частот распространяются в одной среде с различными скоростями.

Дисперсия света — зависимость скорости света в веществе от частоты волны.

Различным скоростям распространения волн соответствуют разные абсолютные показатели преломления среды ($n = c/v$). Поэтому можно утверждать, что *дисперсия света — зависимость абсолютного показателя преломления от частоты световой волны*. Подобная зависимость





Длина волны в среде меньше, чем в вакууме
Частота э/м волны в среде и в вакууме одинакова.

Дисперсия

Дисперсия (от лат. *dispersio* «рассеяние») в зависимости от контекста может означать:

Дисперсия волн — в физике зависимость фазовой скорости волны от её частоты, различают:

- Дисперсия света
- Дисперсия звука

Закон дисперсии — в физике закон, выражающий зависимость фазовой скорости волны от её частоты.

Дисперсия случайной величины — одна из усреднённых характеристик случайной величины.

Дисперсия (химия) — образования из двух или более фаз (тел), которые совершенно или практически не смешиваются и не реагируют друг с другом химически.

Дисперсия (биология) — термин, обозначающий разнообразие признаков в популяции.

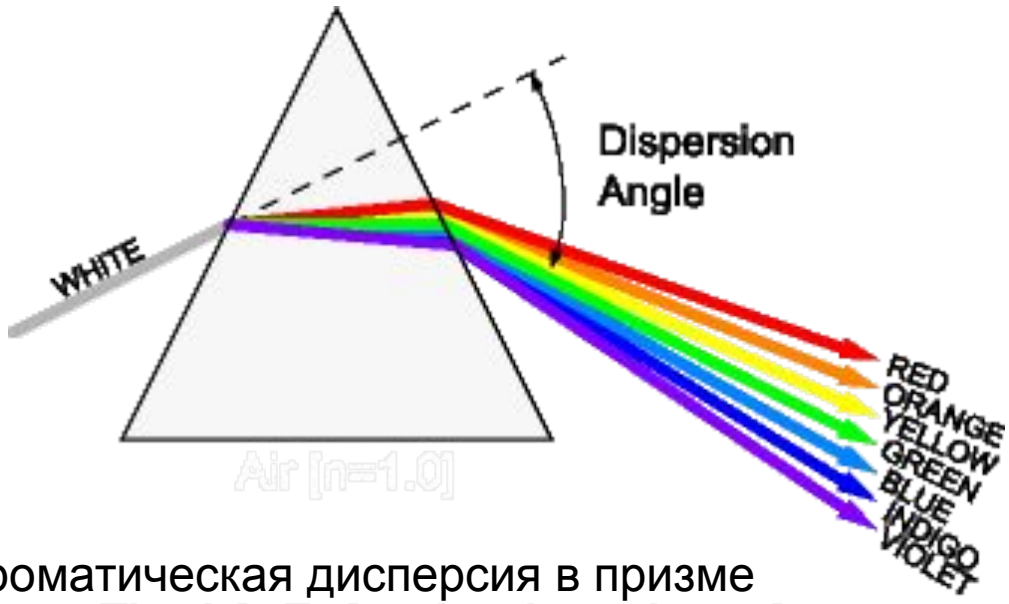
Дисперсия (материаловедение)

Дисперсия второй вязкости

Дисперсия света

Диспе́рсия све́та (разложение света) — это совокупность явлений, обусловленных зависимостью абсолютного показателя преломления вещества от частоты (или длины волны) света (частотная дисперсия),

или, то же самое, зависимостью фазовой скорости света в веществе от частоты (или длины волны).



Хроматическая дисперсия в призме

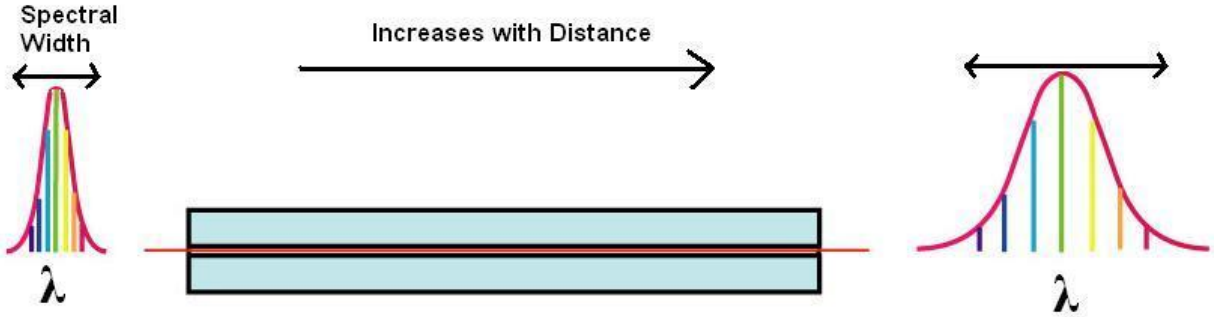


Figure 2: Chromatic Dispersion

Хроматическая дисперсия в оптоволокне

Преломление света в призме.

неправильно

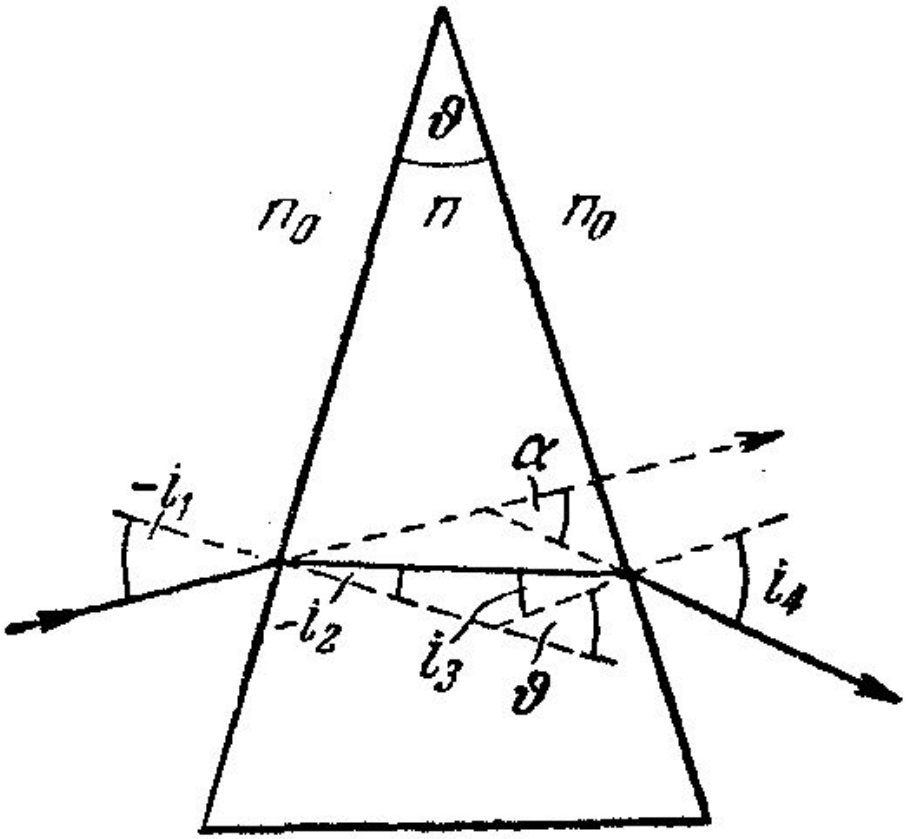


Рис. 5.

Преломление света на границе двух однородных сред

Закон был установлен голландским математиком Виллебрордом Снеллом и читается так: пусть θ_i есть угол в воздухе и θ_r есть угол в воде, тогда синус θ_i равен синусу θ_r, умноженному на некоторую константу

$$\sin\theta_i = n\sin\theta_r. \qquad (26.2)$$

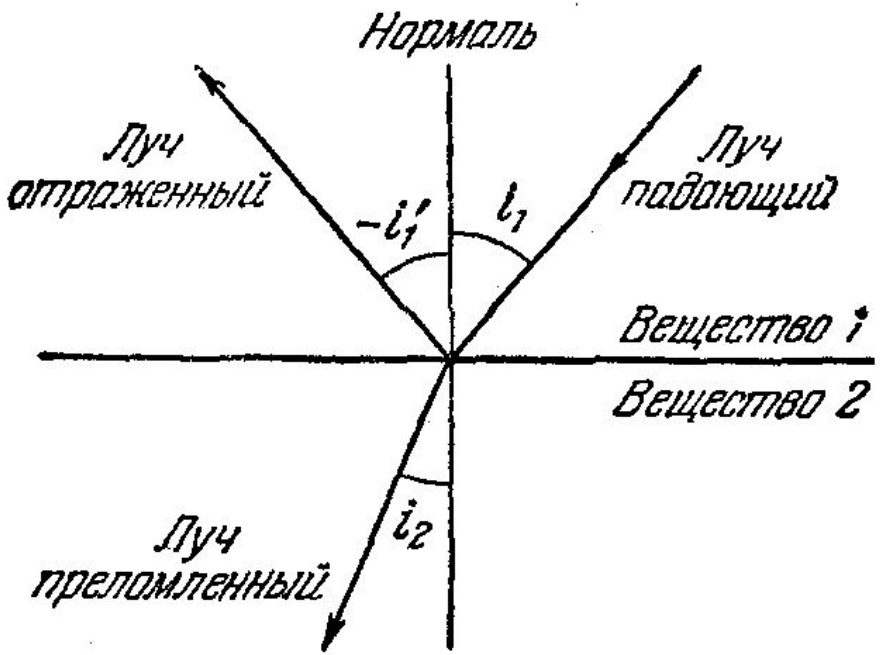


Рис. 1.

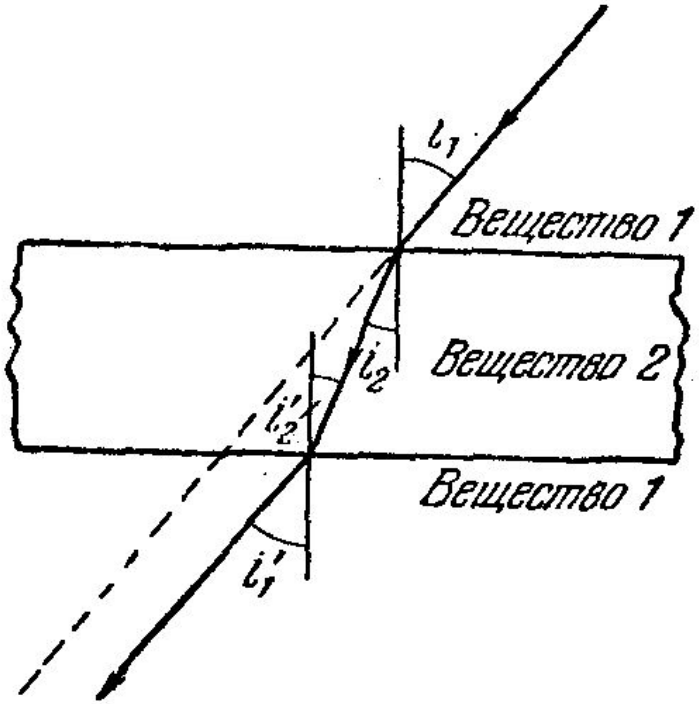
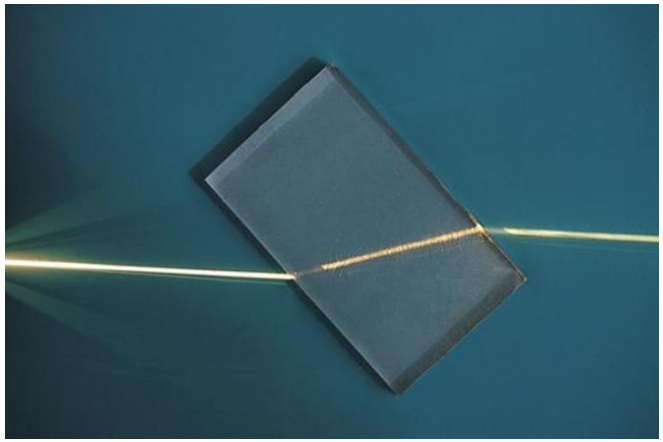


Рис. 2.

Путь света через плоскопараллельную пластинку



$$\sin\theta = n\sin r$$

$$x = t\sin r$$

$$x + y = t\sin\theta$$

$$\Rightarrow \quad t\frac{\sin\theta}{n} + y = t\sin\theta$$

and $$\frac{d}{y} = \cos\theta$$

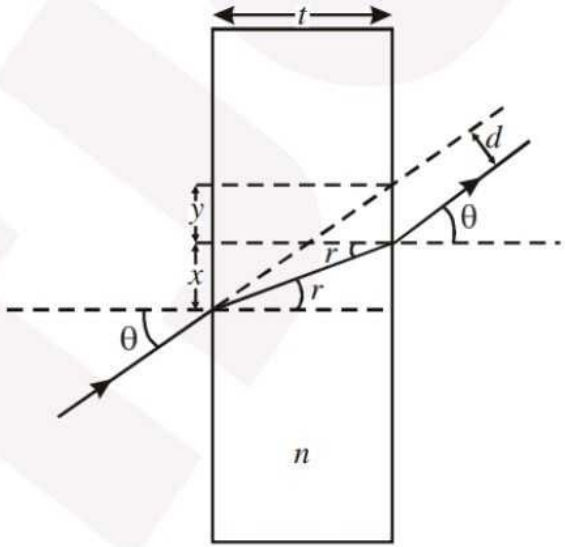
$$\sin\theta \simeq \theta$$

$$\cos\theta \simeq \perp$$

$$\Rightarrow \quad \frac{t\theta}{n} + d = t\theta$$

or $$d = t\theta\left(\perp - \frac{1}{n}\right)$$

$$= \frac{t\theta(n-1)}{n}$$



Две пластинки с разными коэффициентами преломления

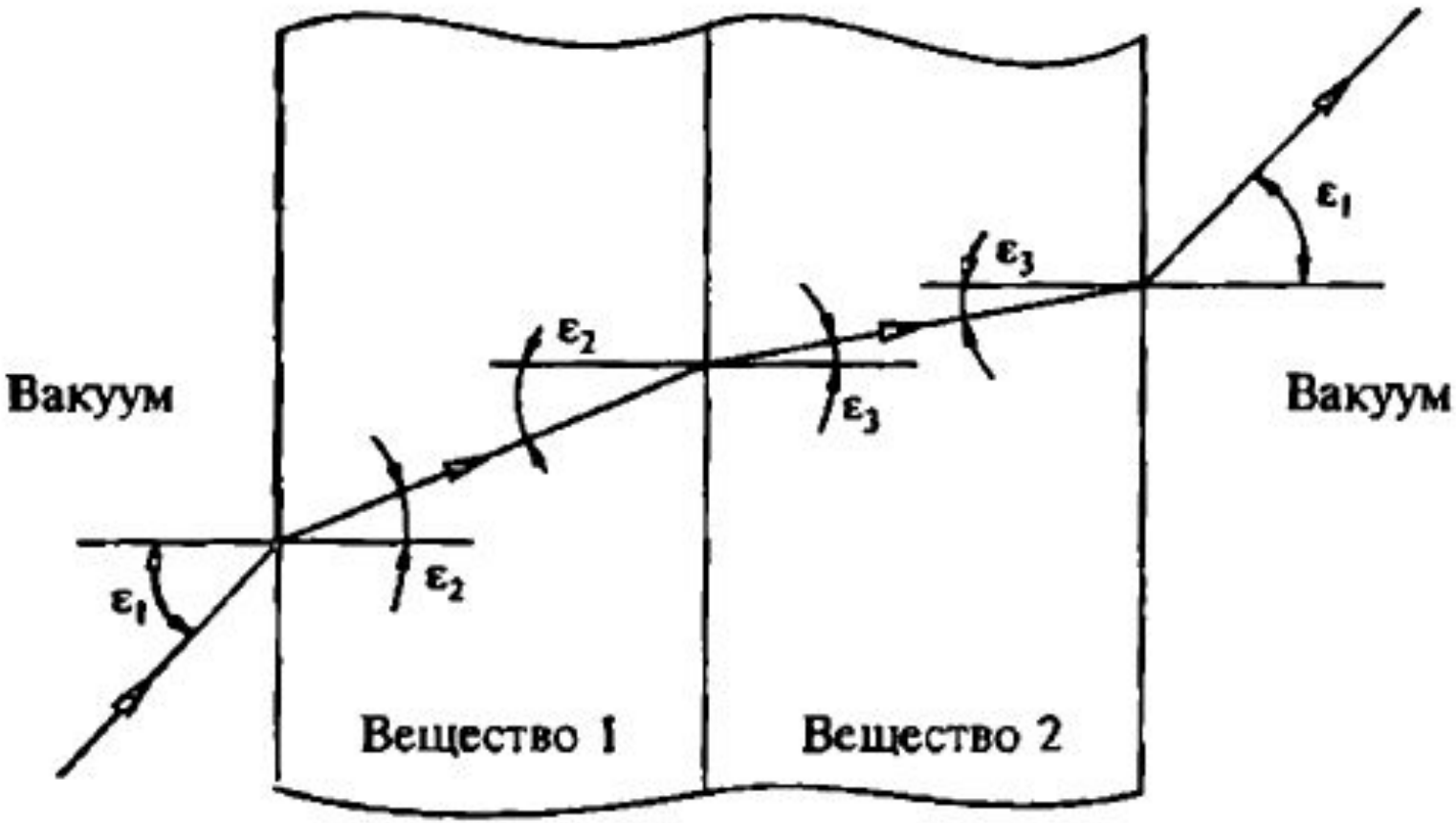


Рис. 1.9. Две пластинки в вакууме

Index of refraction

XVII. Коэффициенты (показатели) преломления

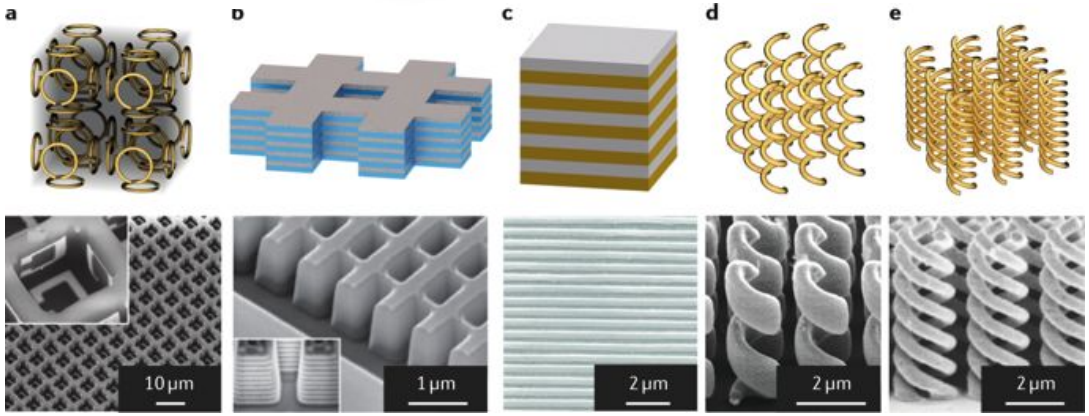
Вещество	n	Вещество	n
Алмаз	2,42	Сахар	1,56
Анилин	1,59	Сероуглерод	1,63
Ацетон	1,36	Сильвин	1,49
Бензол	1,50	Скипидар	1,51
Вода	1,33	Спирт метиловый	1,33
Воздух	1,0003	Спирт этиловый	1,36
Глицерин	1,47	Стекло (легкий крон)	1,50
Каменная соль	1,54	Стекло (флинт)	1,6÷1,8
Кварц	1,54	Четыреххлористый углерод	1,46
Лед	1,31		

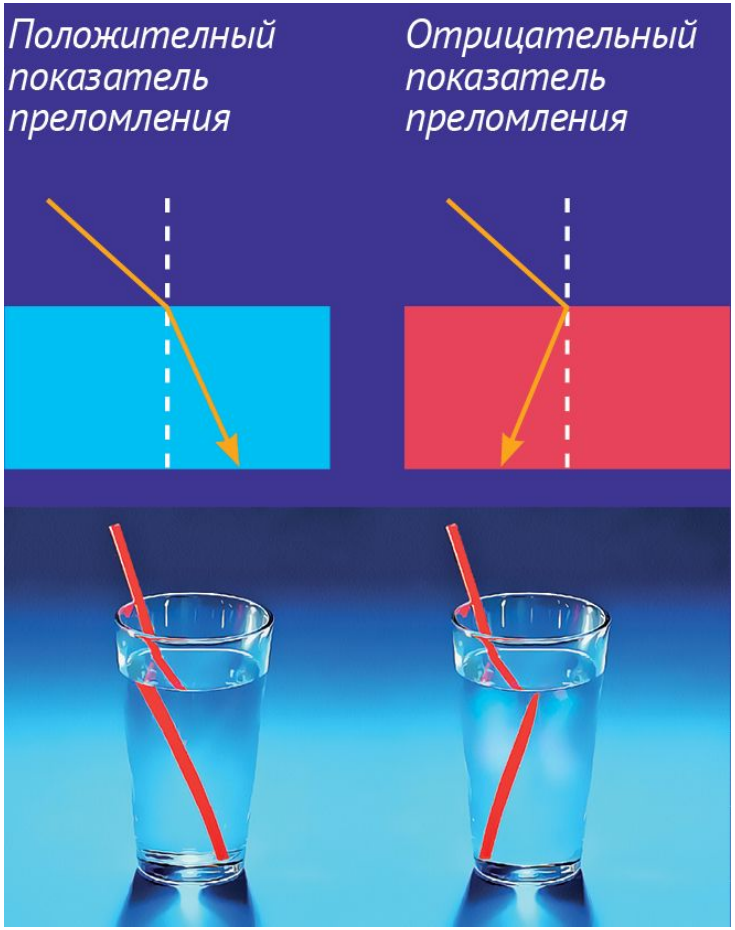
Показатель преломления веществ лежит в интервале от 1 до 2.42.
Показатель преломления вакуума равен 1

Метаматериалы

Отрицательного показателя преломления или показателя преломления меньше единицы в обычных материалах не бывает. Разрабатываются *метаматериалы*, но это оптика будущего

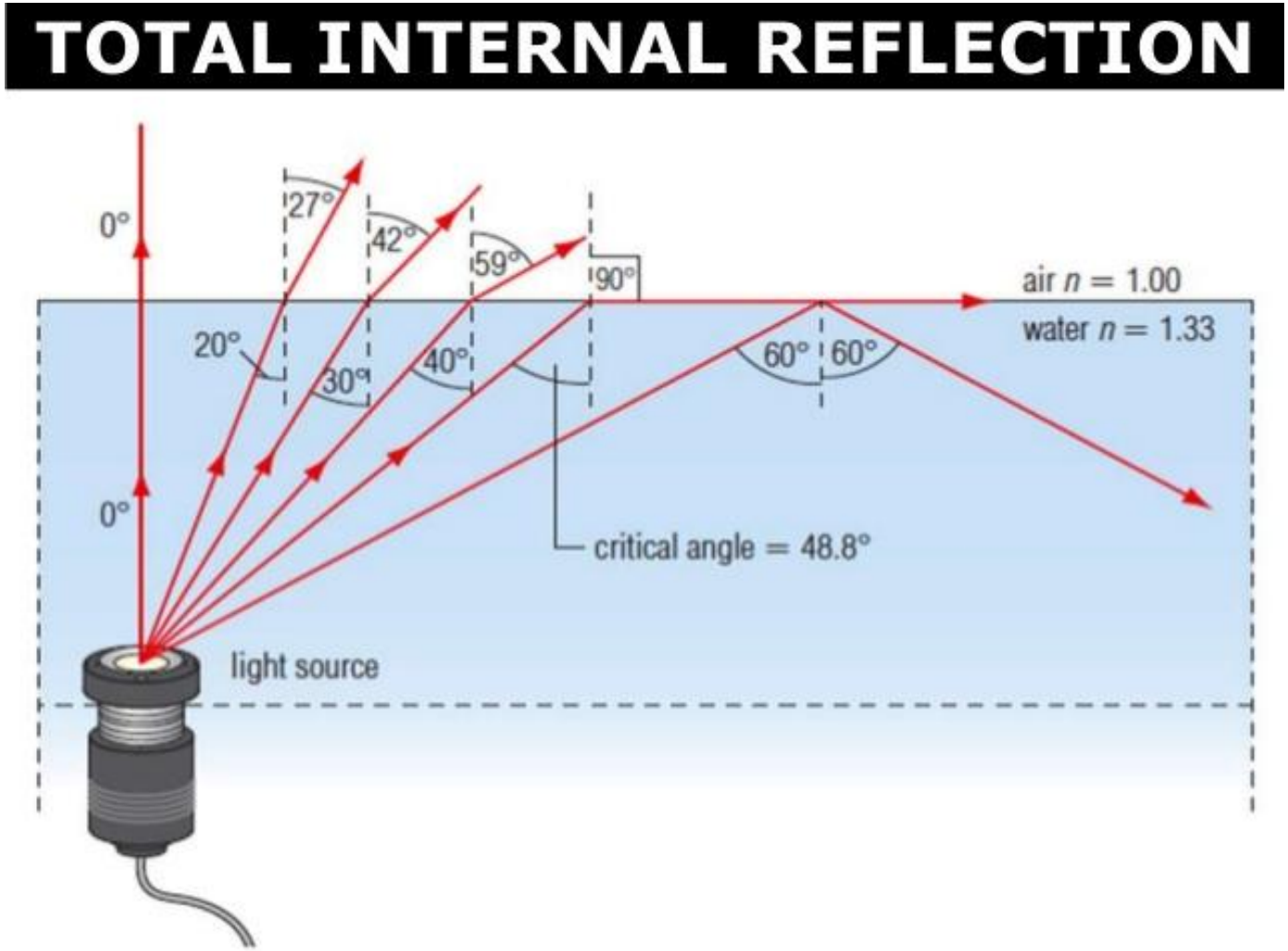
Линза для радиоволн



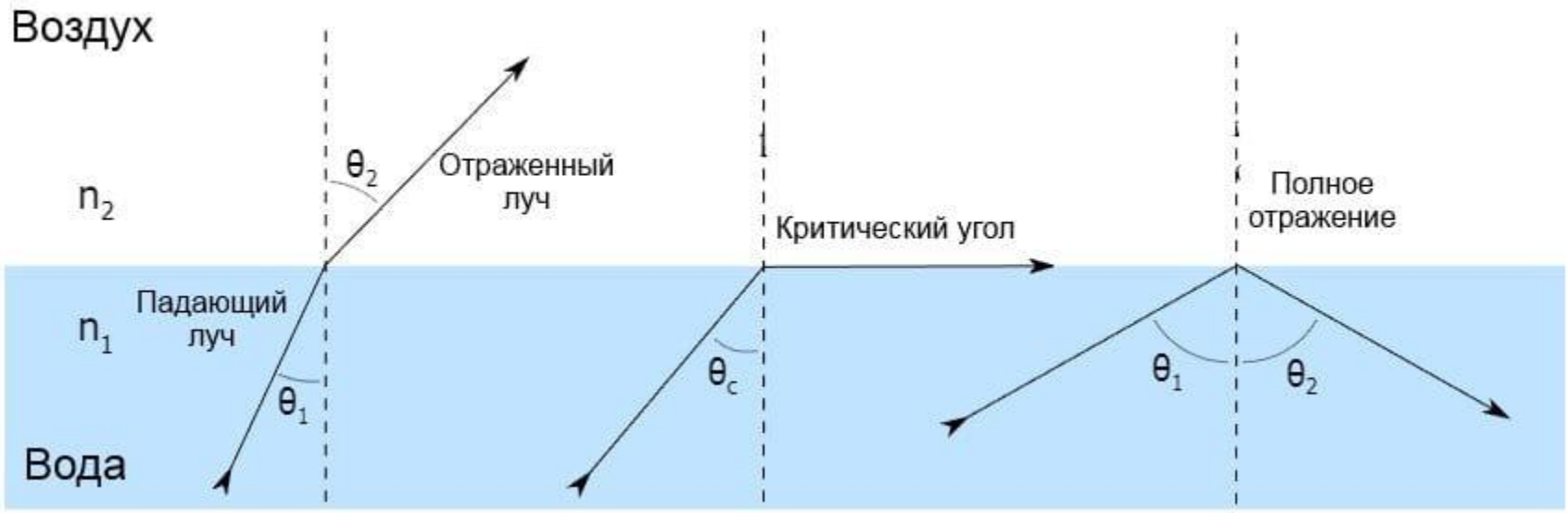


Полное внутреннее отражение

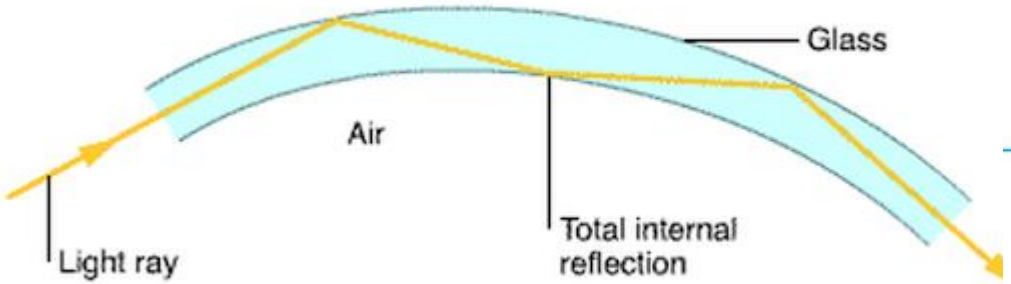
$$\varepsilon_{пред} = \arcsin(n_2/n_1).$$

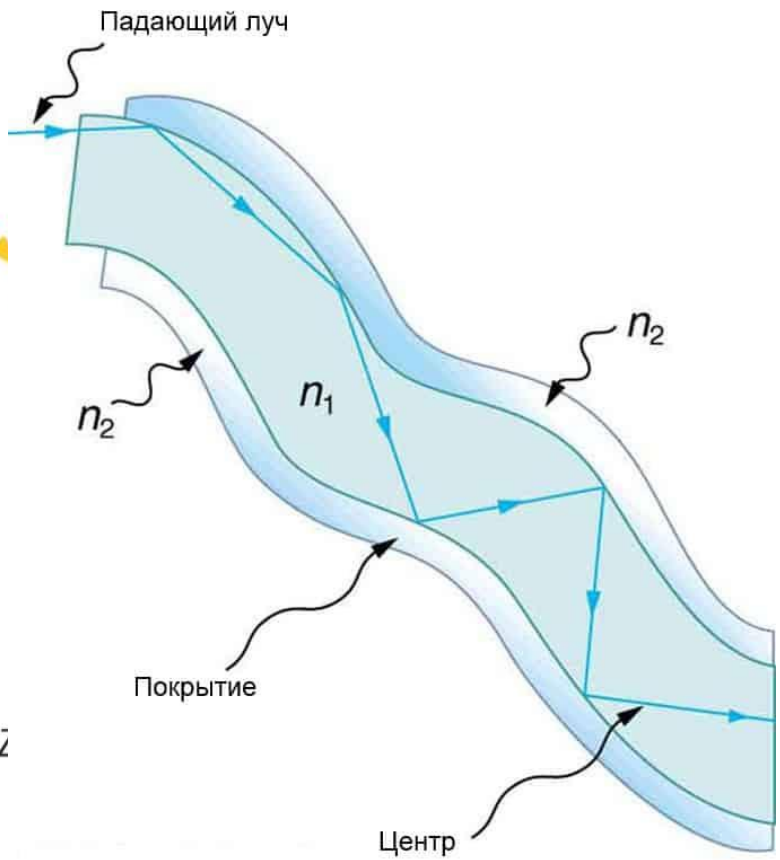


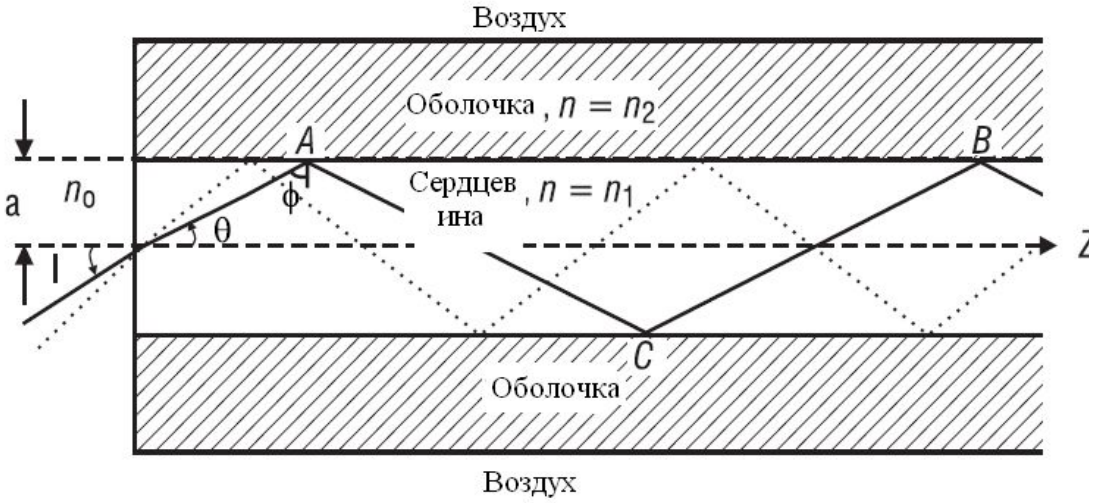
Предельный угол полного внутреннего отражения



Оптоволокно: принцип полного внутреннего отражения







Призмы

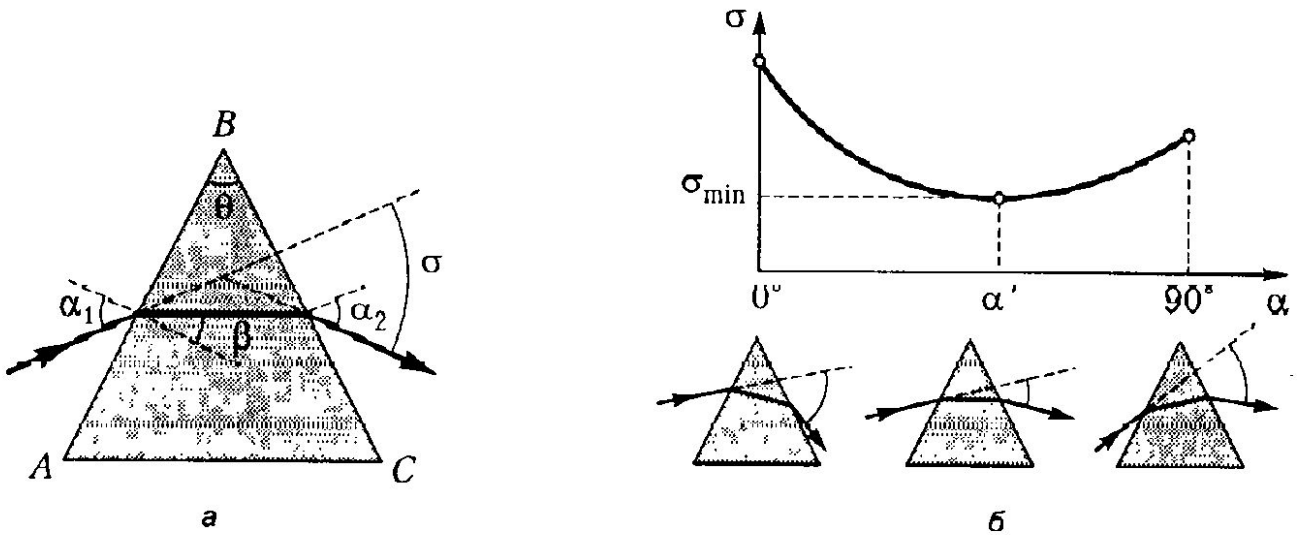


Рис. 2.18. Ход луча через призму (*а*) и зависимость угла отклонения от угла падения (*б*)

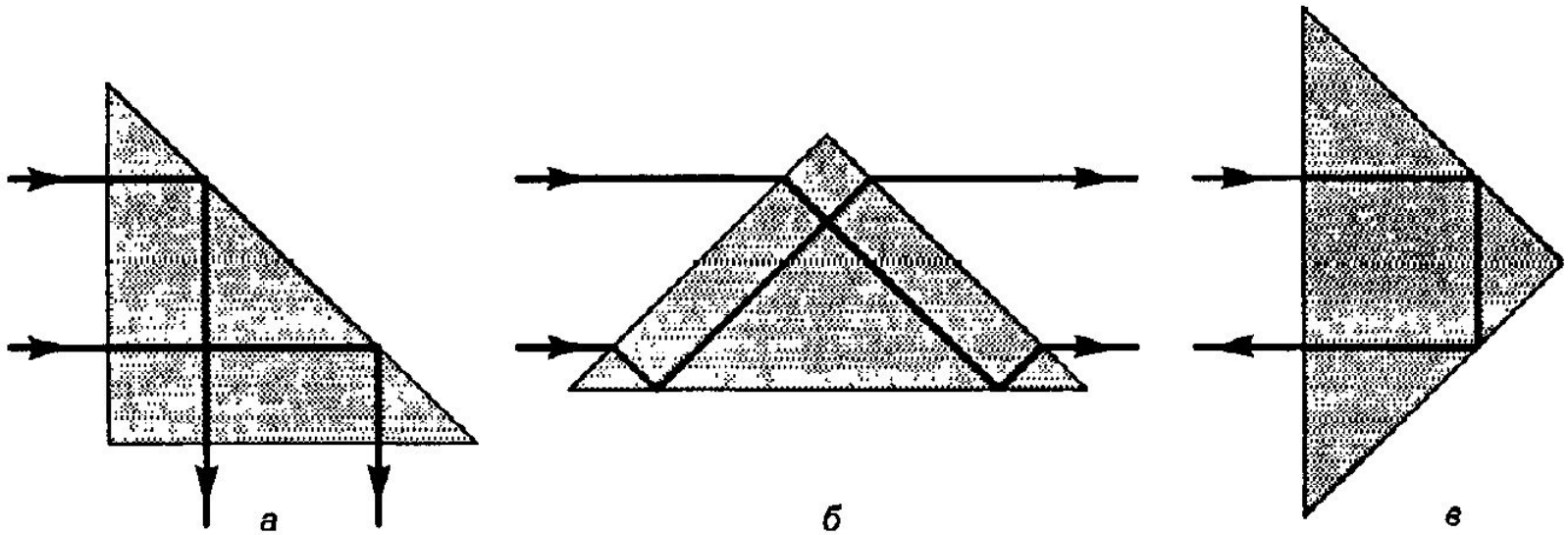
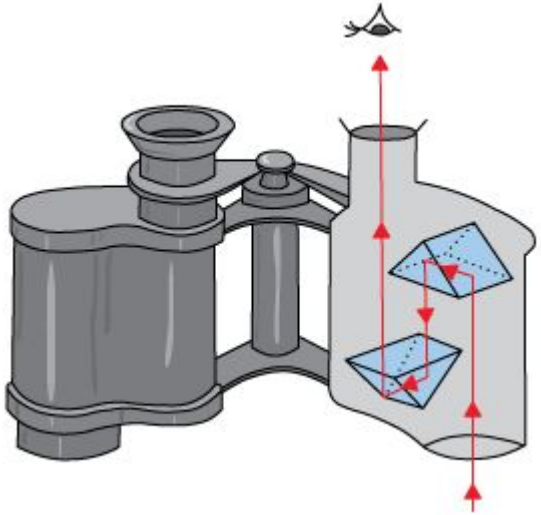
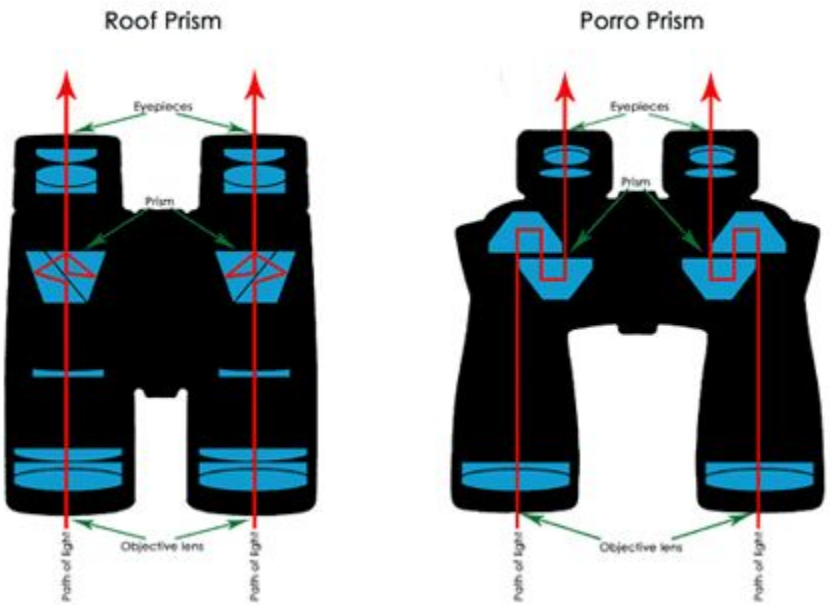


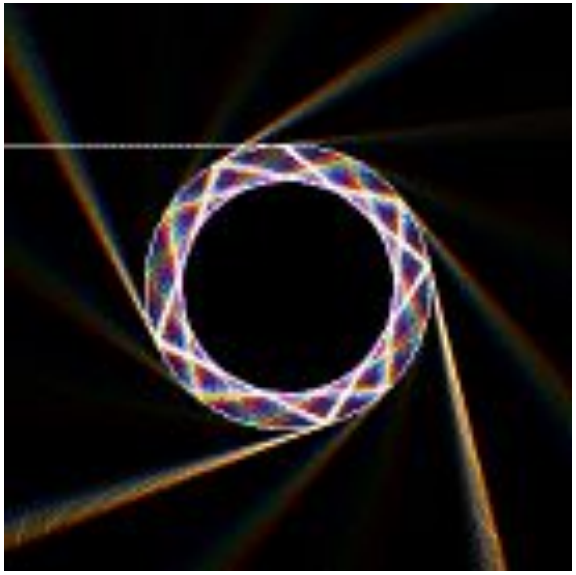
Рис. 2.20. Поворотная (*а*), оборачивающая (*б*) и отражающая (*в*) призмы ПВО

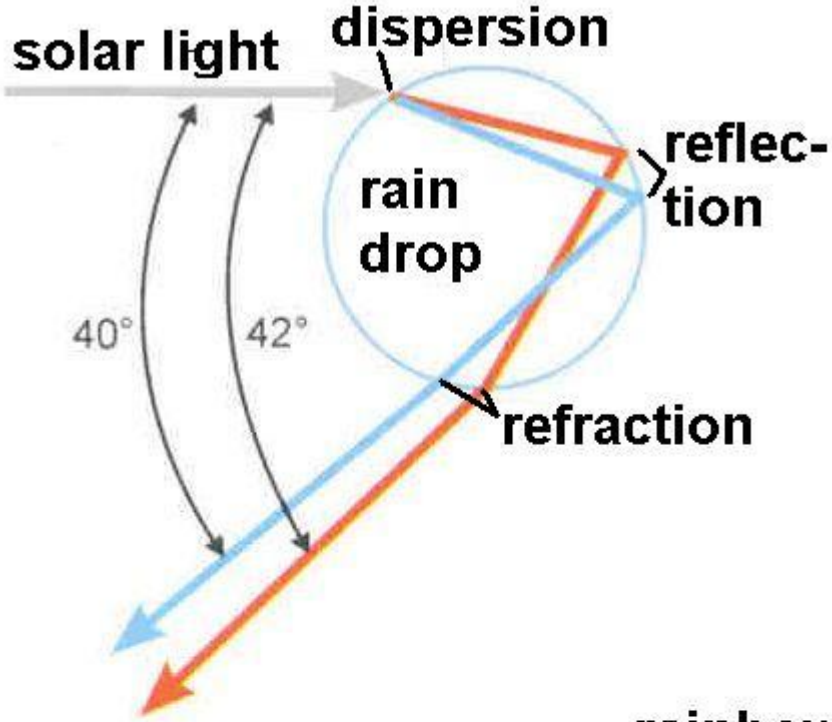
Использование призм в качестве зеркал

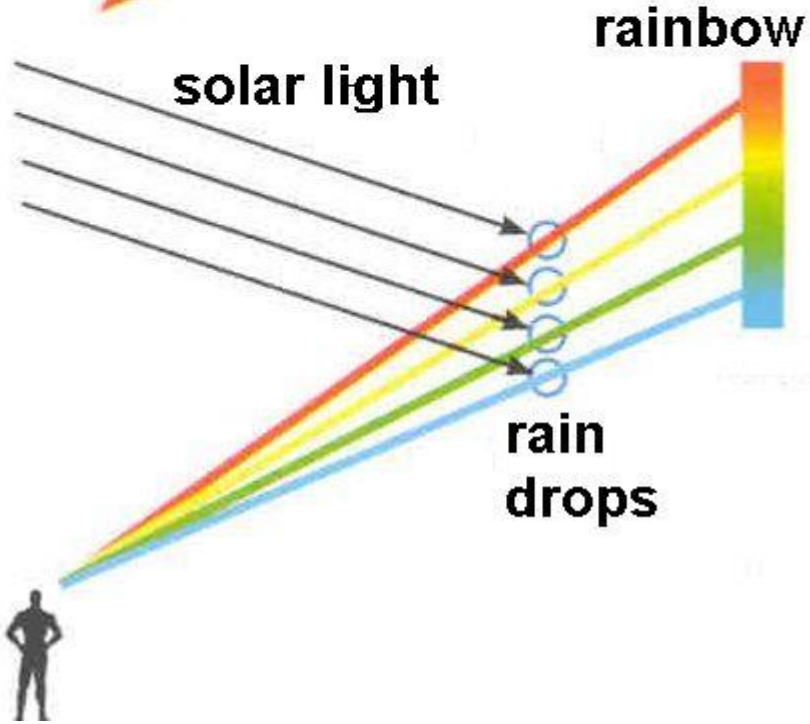




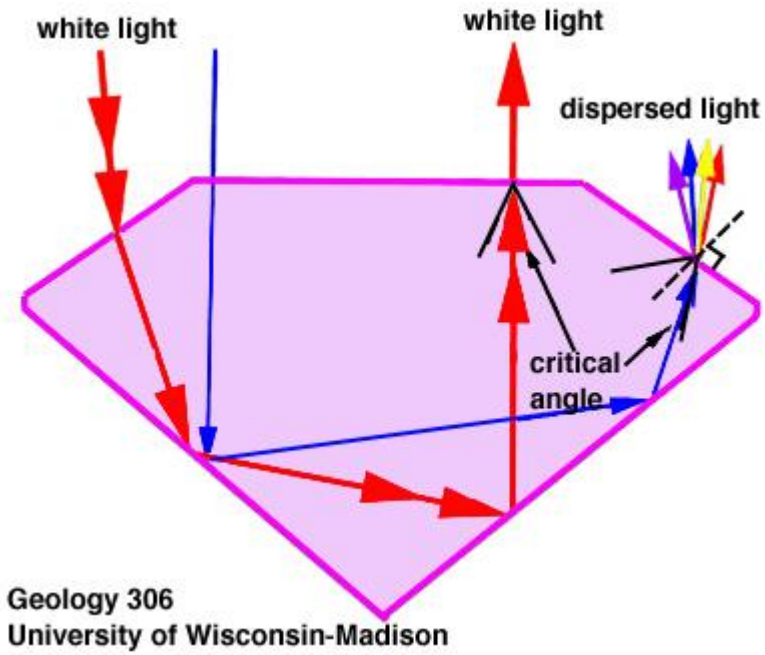
Радуга

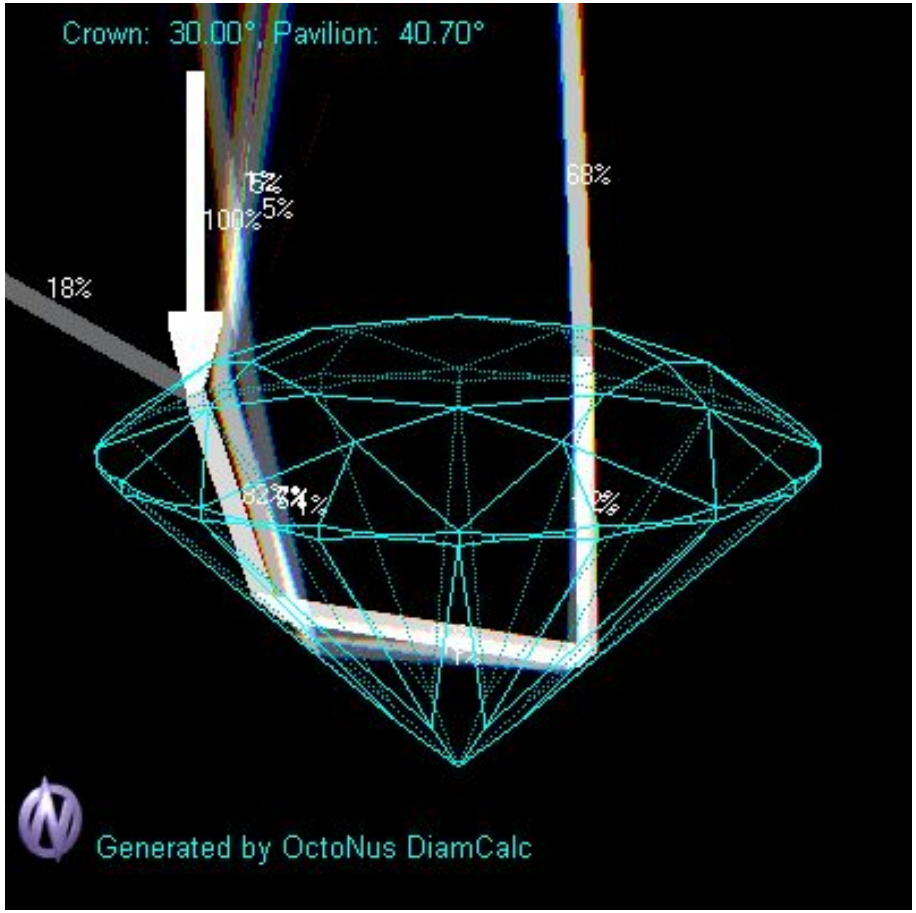



solar light
dispersion
reflec-
tion
rain
drop
40°
42°
refraction

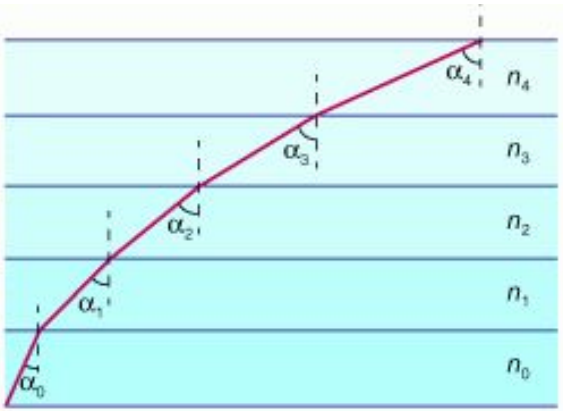

rainbow
solar light
rain
drops

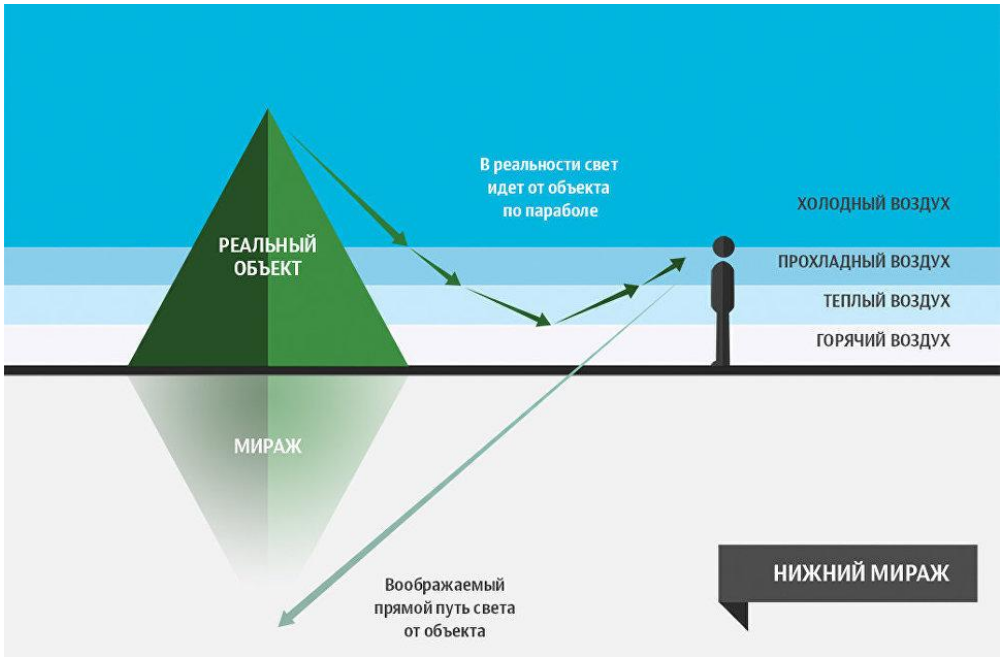
Огранка бриллиантов

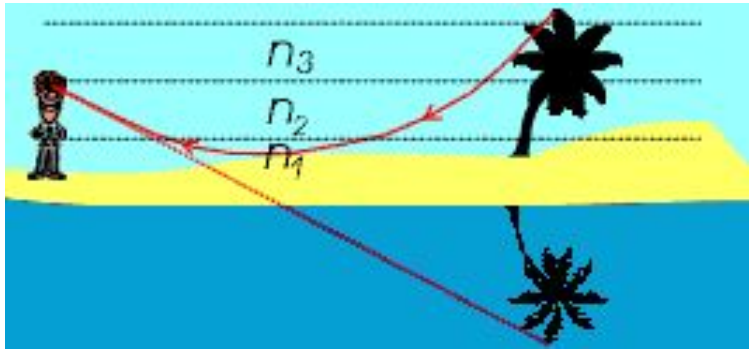




Миражи. Путь света через воздух и воду

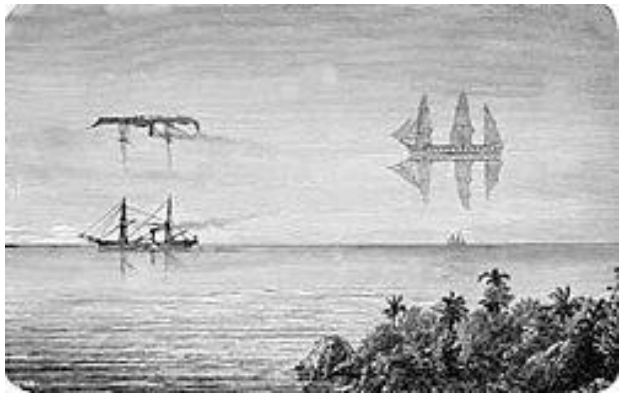






Это – геометрическая оптика, а не волновая

Фата-Моргана



Летучий голландец

Фа́та-Морга́на (итал. *fata Morgana*) — редко встречающееся сложное оптическое явление в атмосфере) — редко встречающееся сложное оптическое явление в атмосфере, состоящее из нескольких форм миражей) — редко встречающееся сложное оптическое явление в атмосфере, состоящее из нескольких форм миражей, при котором отдалённые объекты видны многократно и с разнообразными искажениями. Своё название получило в честь волшебницы — персонажа английских легенд Феи Моргана.

Экзаменационные вопросы (по материалам лекций 1 и 2)

- Спектр электромагнитных волн.
- Основные законы оптики. Ограничения геометрической оптики. Закон прямолинейного распространения света, закон независимости световых лучей
- Закон отражения света, закон преломления света.
- Показатель преломления, полное внутреннее отражение
- Прохождение света через призму. Дисперсия света в призме
- Принцип Ферма. Оптическая длина пути. Скорость света, ее измерения. Закон Снеллиуса
- Взаимодействие света с веществом. Дисперсия света.