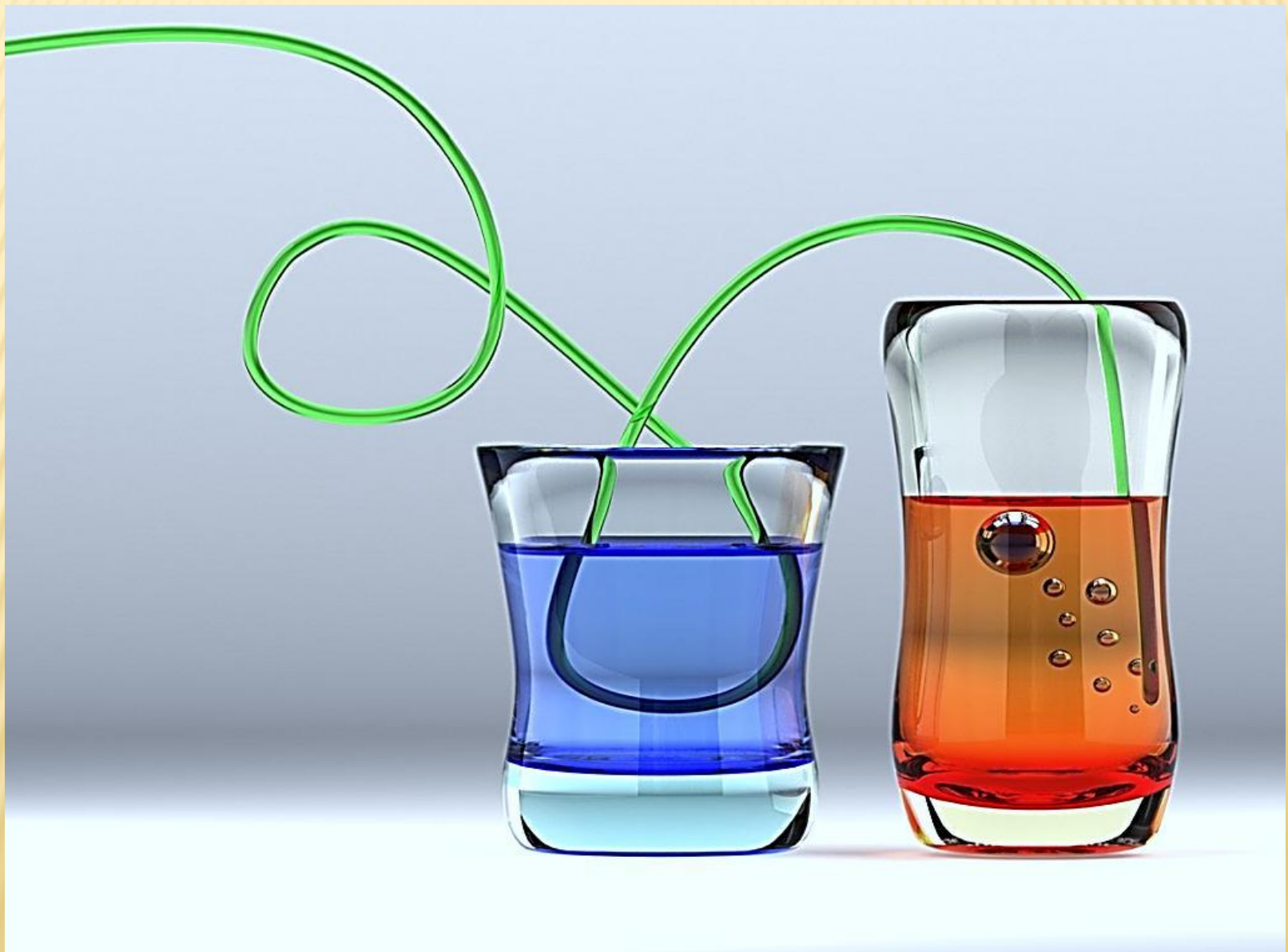


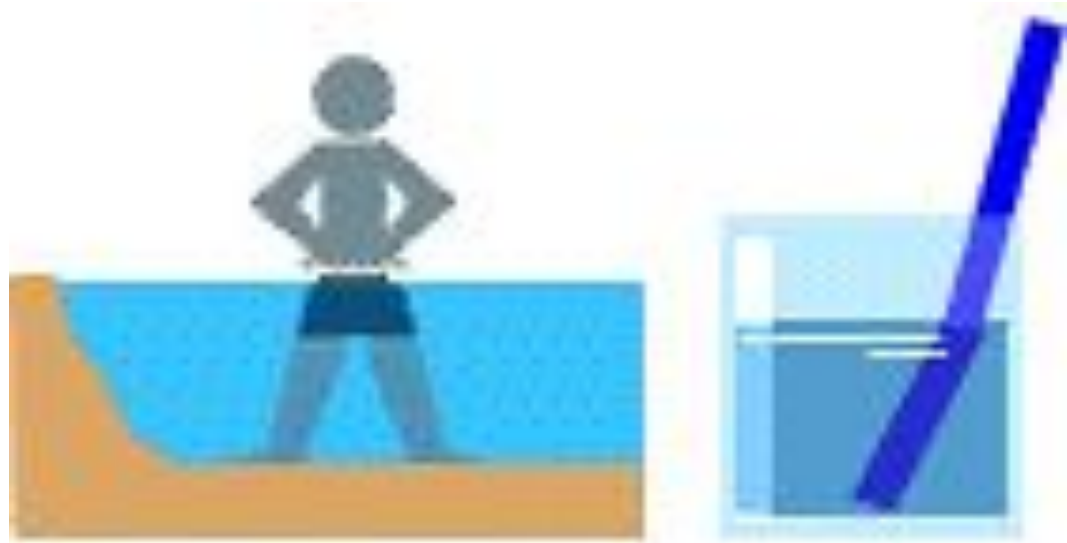
Преломление света



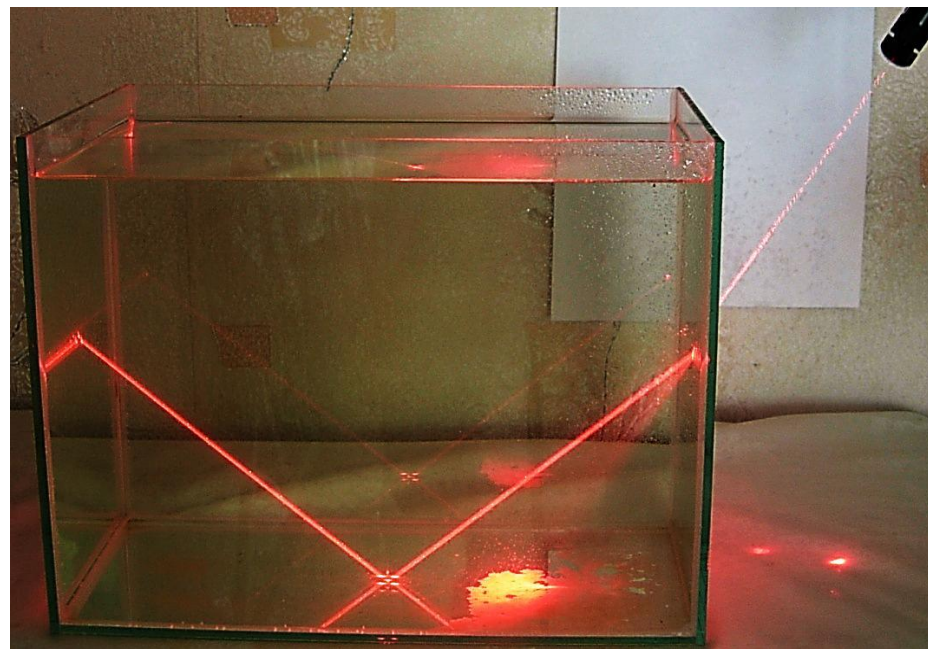
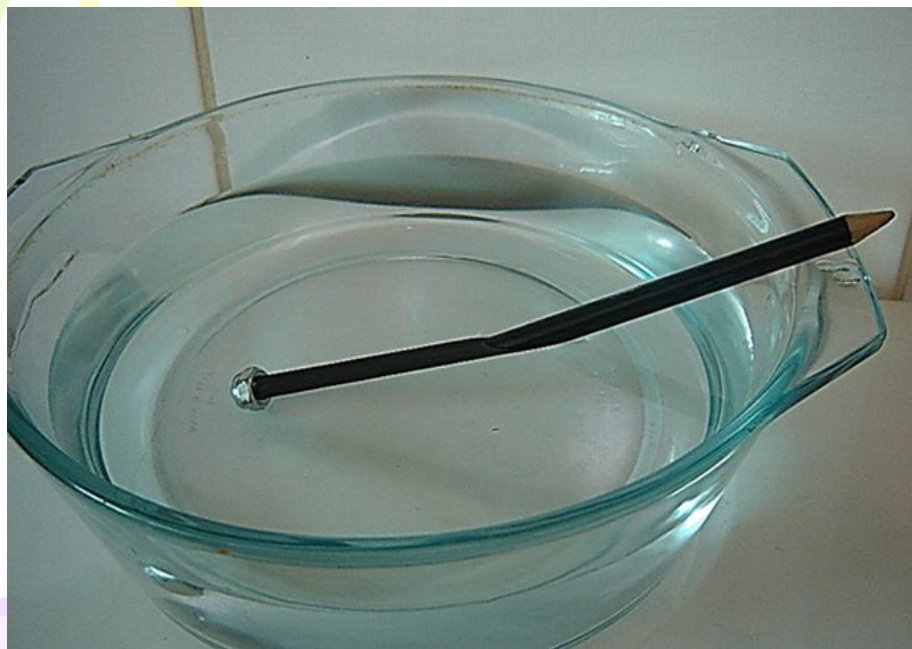
Преломление света

При переходе из одной среды в другую световые лучи меняют свое направление.

Наблюдается кажущееся изменение размеров предмета, надлом, уменьшение глубины водоёма и т. п.



Изменение направления распространения световых лучей при переходе из одной среды в другую называется преломлением света



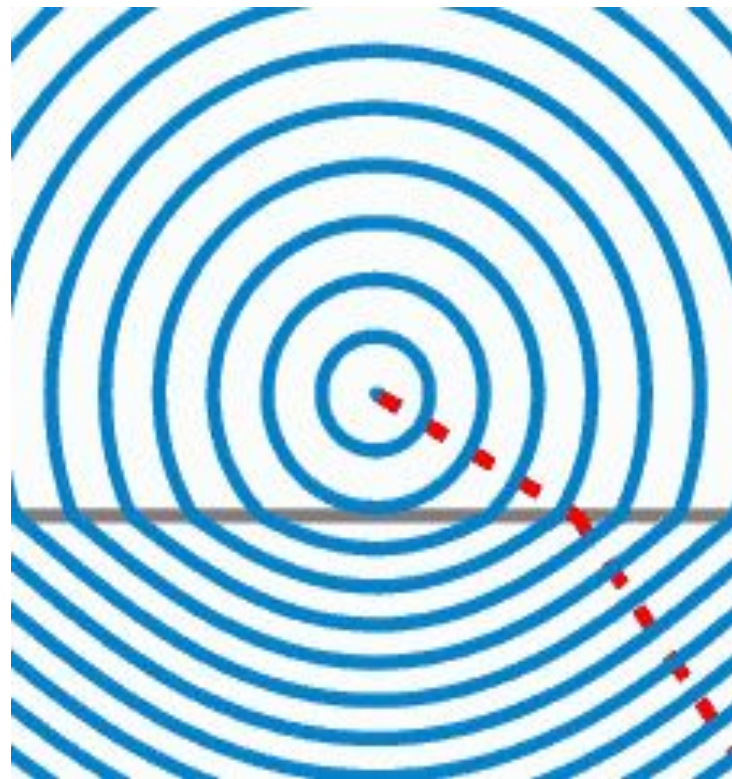
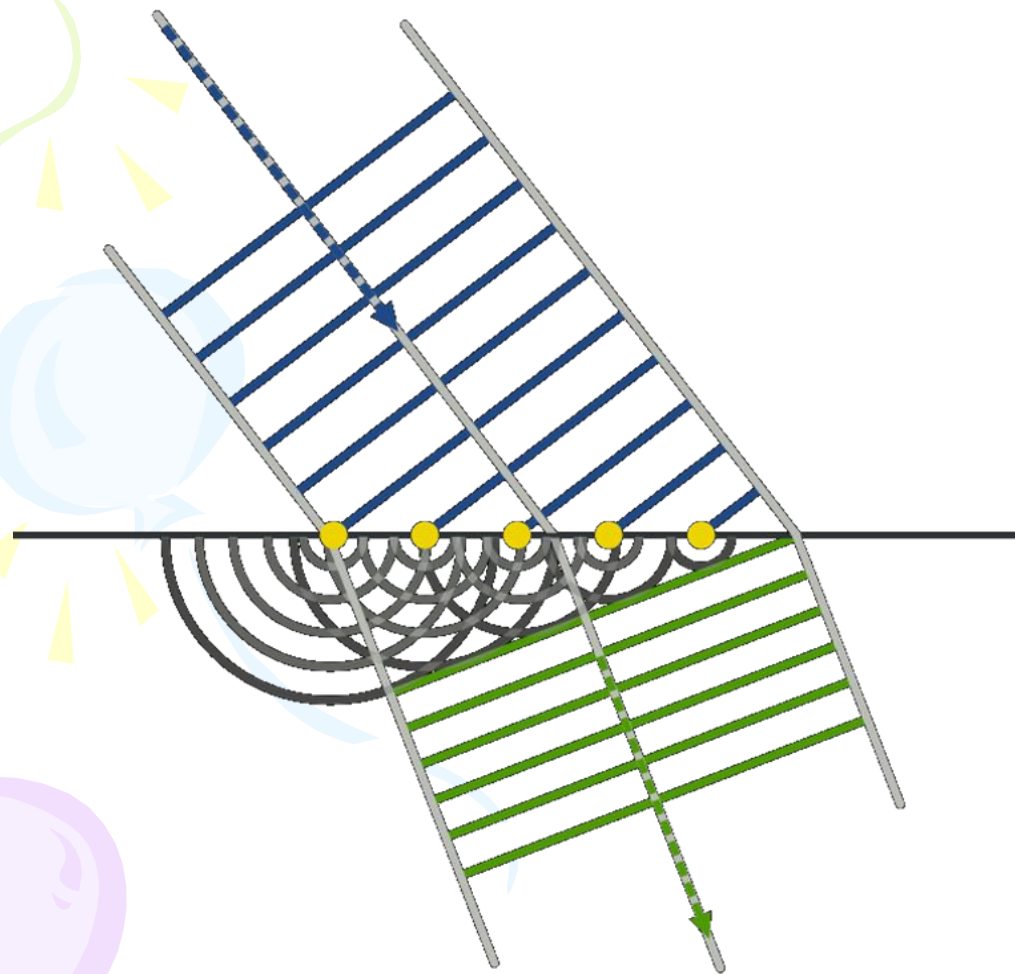
Преломление света

Направление преломления зависит от того, куда переходят лучи света: из **оптически более плотной** среды в **оптически менее** плотную среду или наоборот

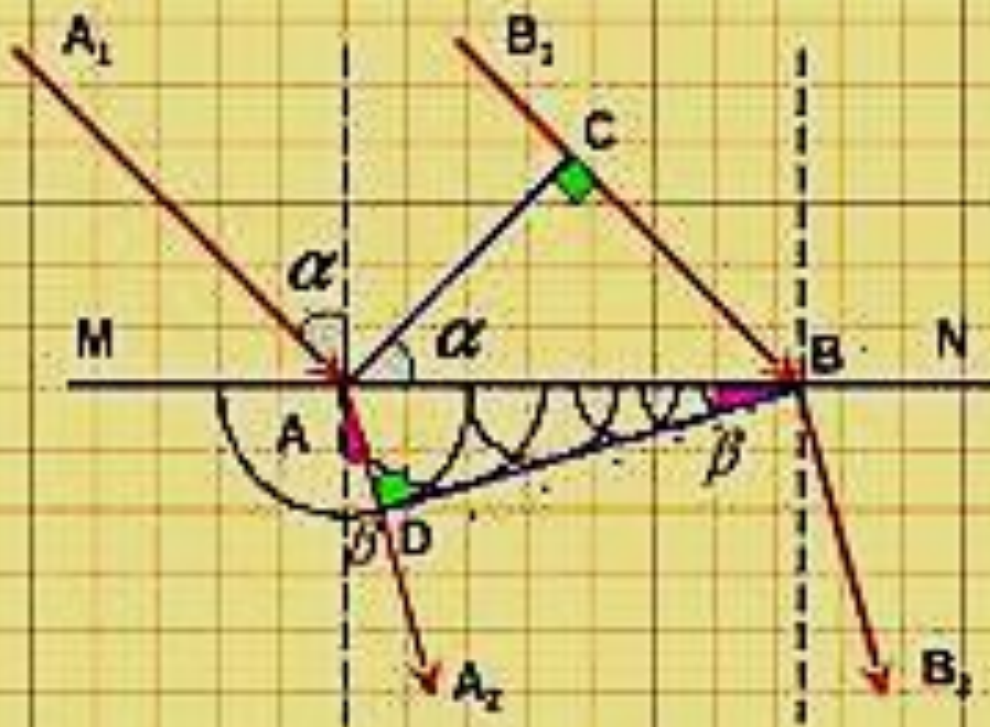
Из двух сред оптически **более плотной** является та среда в которой **скорость** распространения света **меньше** (или **больше** абсолютный показатель преломления среды)



Преломление волн



Закон преломления света. Волновая теория



$$CB = v_1 t = AB \sin \alpha \quad (1)$$

$$AD = v_2 t = AB \sin \beta \quad (2)$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \text{const}$$

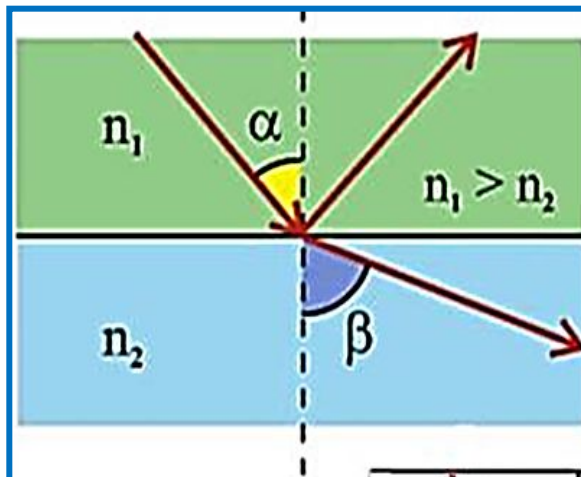
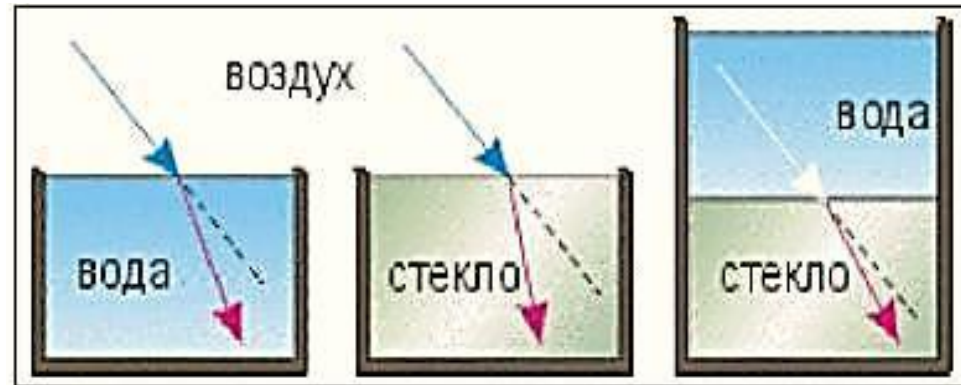
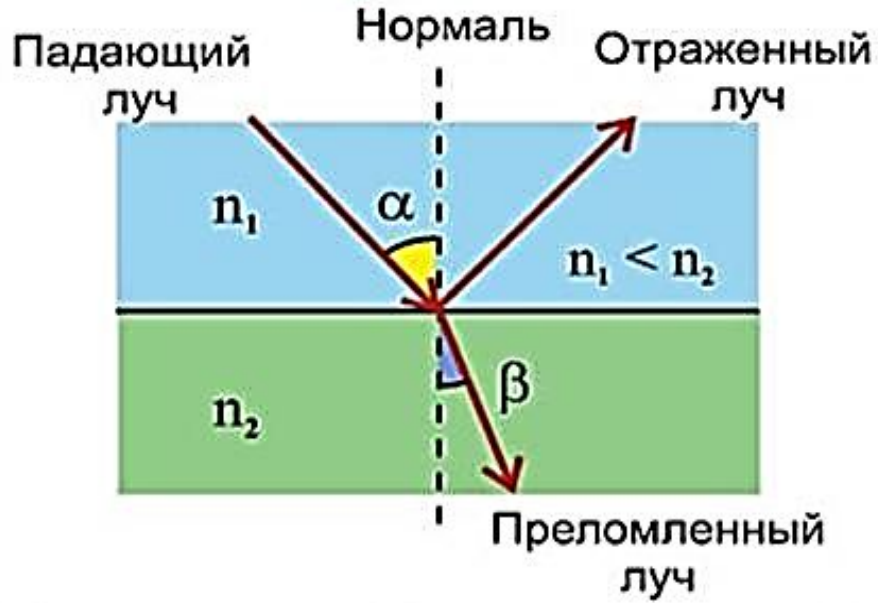
Законы преломления

1. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух данных сред и равная **относительному показателю преломления** второй среды относительно первой.

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

2. Лучи, падающий и преломленный, лежат в одной плоскости с перпендикуляром, проведенным в точке падения луча к плоскости границы раздела двух сред.





$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}$$

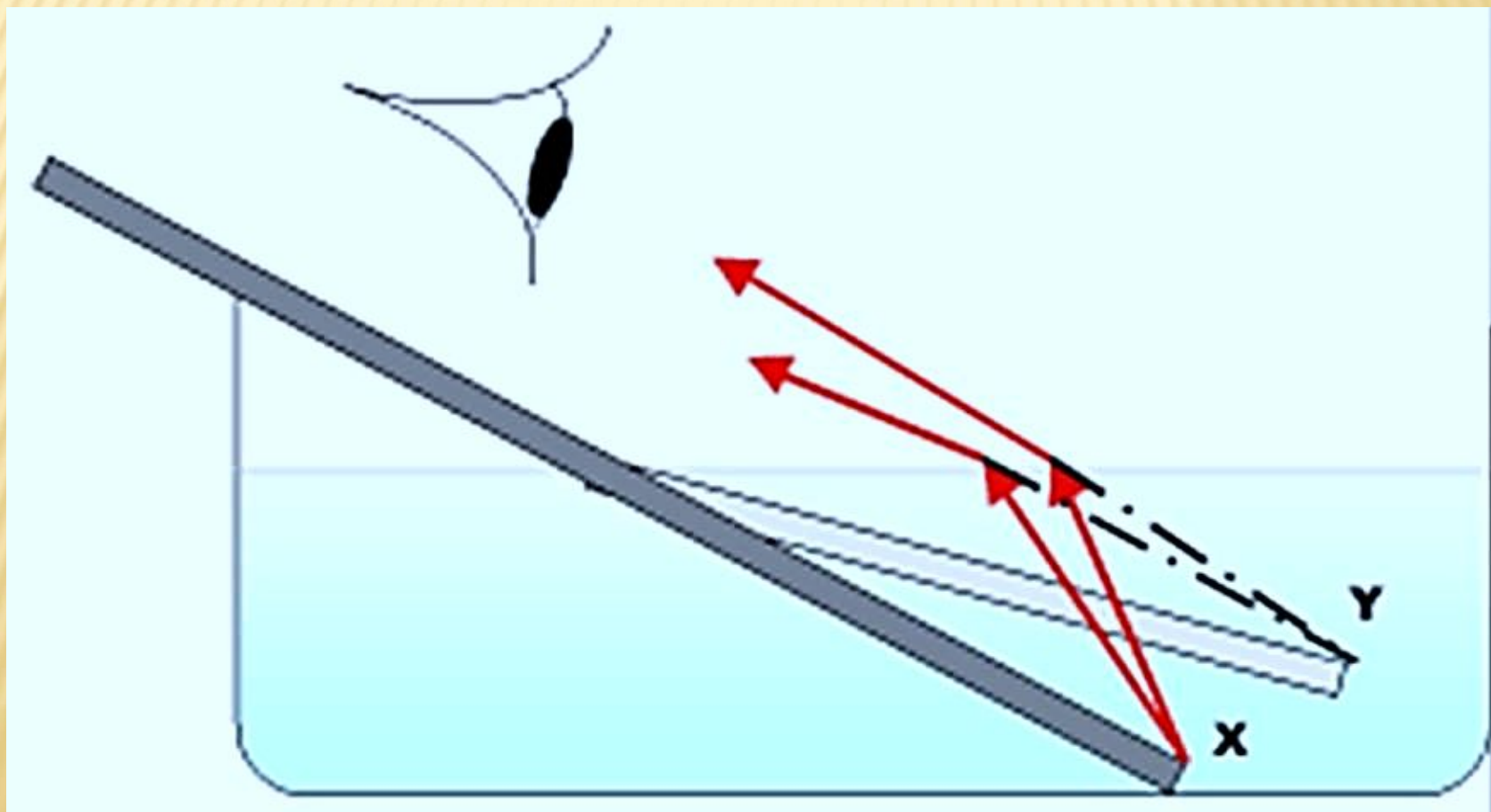
$$n_1 = \frac{c}{v_1}$$

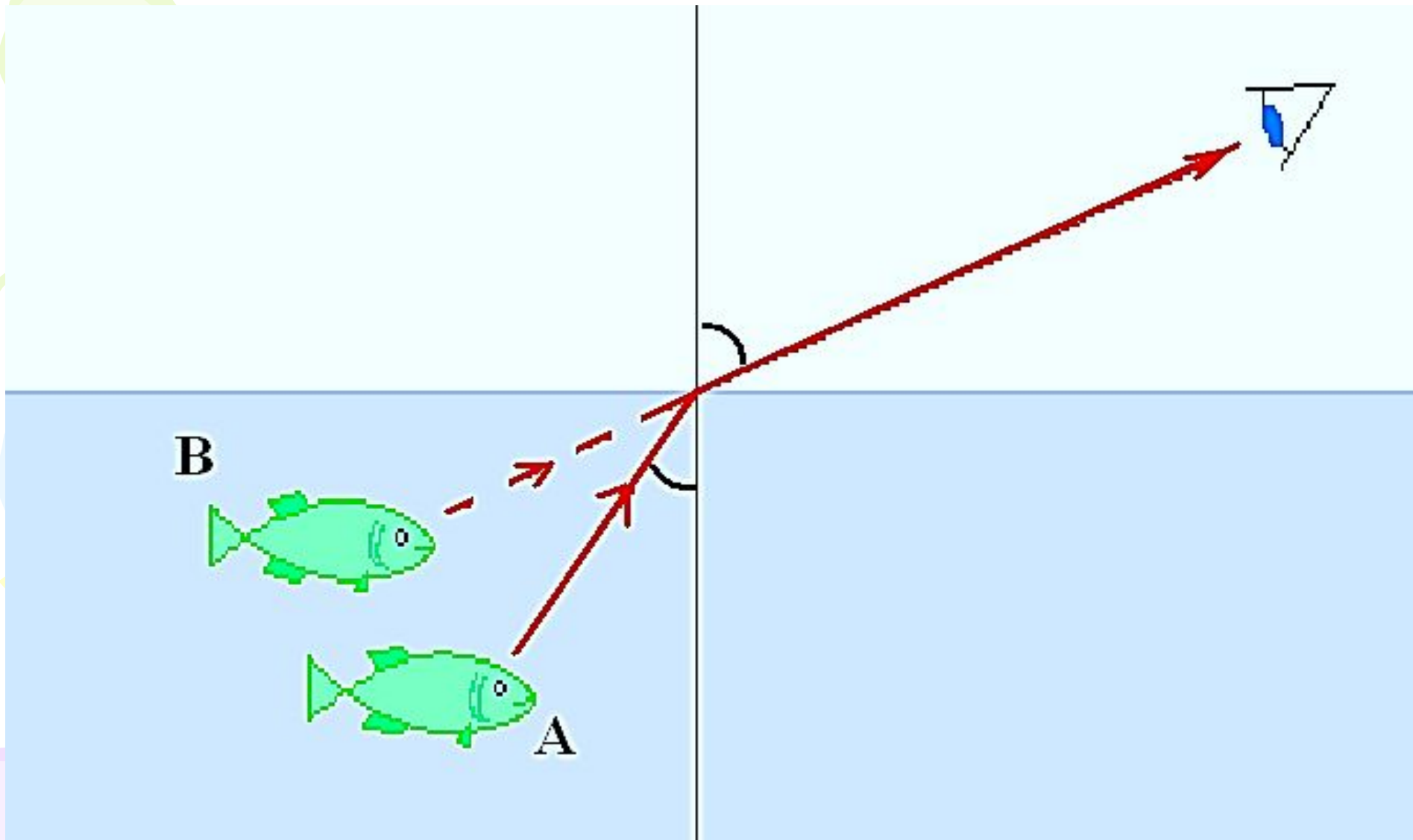
$$n_2 = \frac{c}{v_2}$$

среда	n
воздух	1,0003
вода	1,33
стекло	1,4 - 1,6
алмаз	2,42

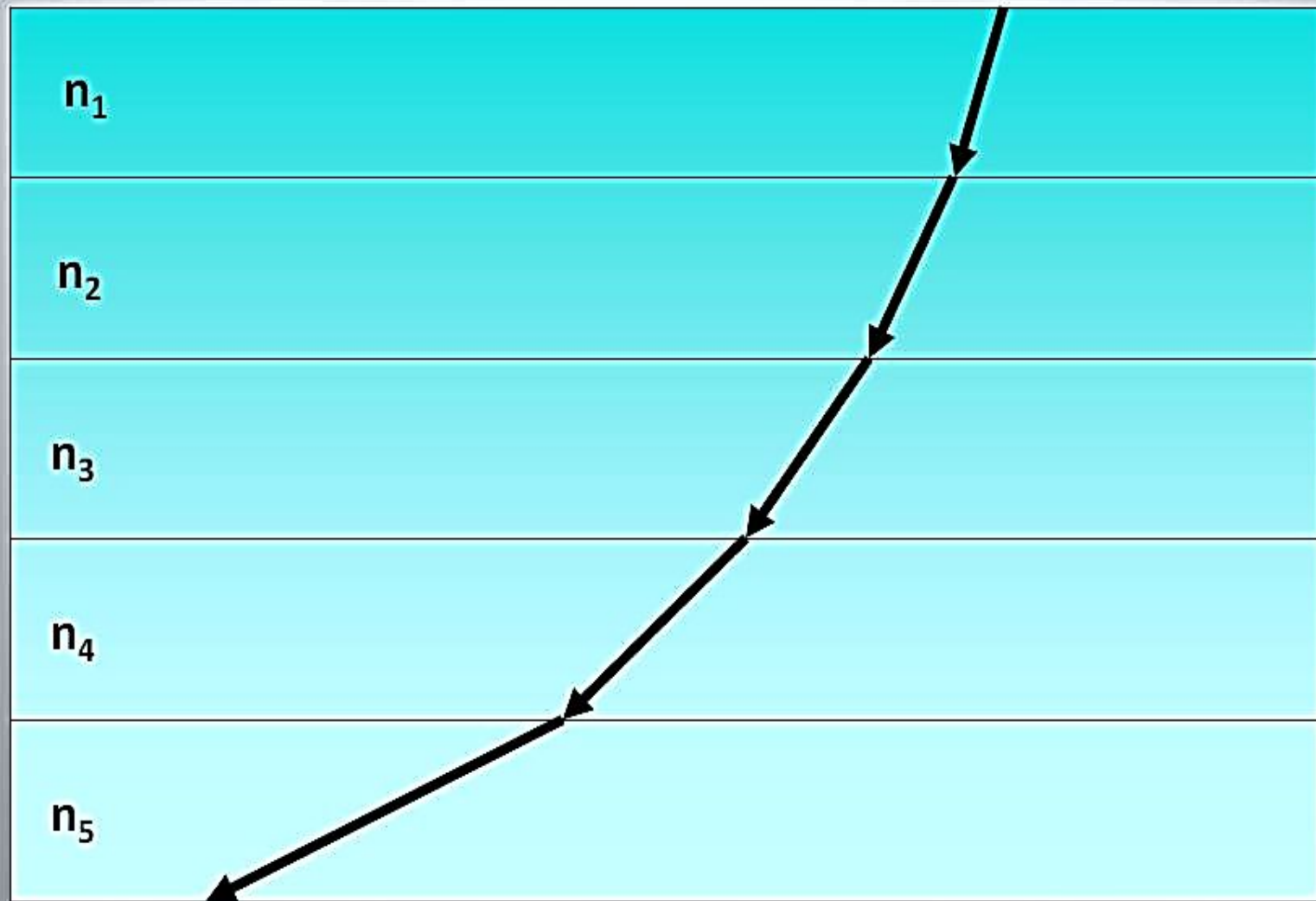


«Сломанный карандаш»



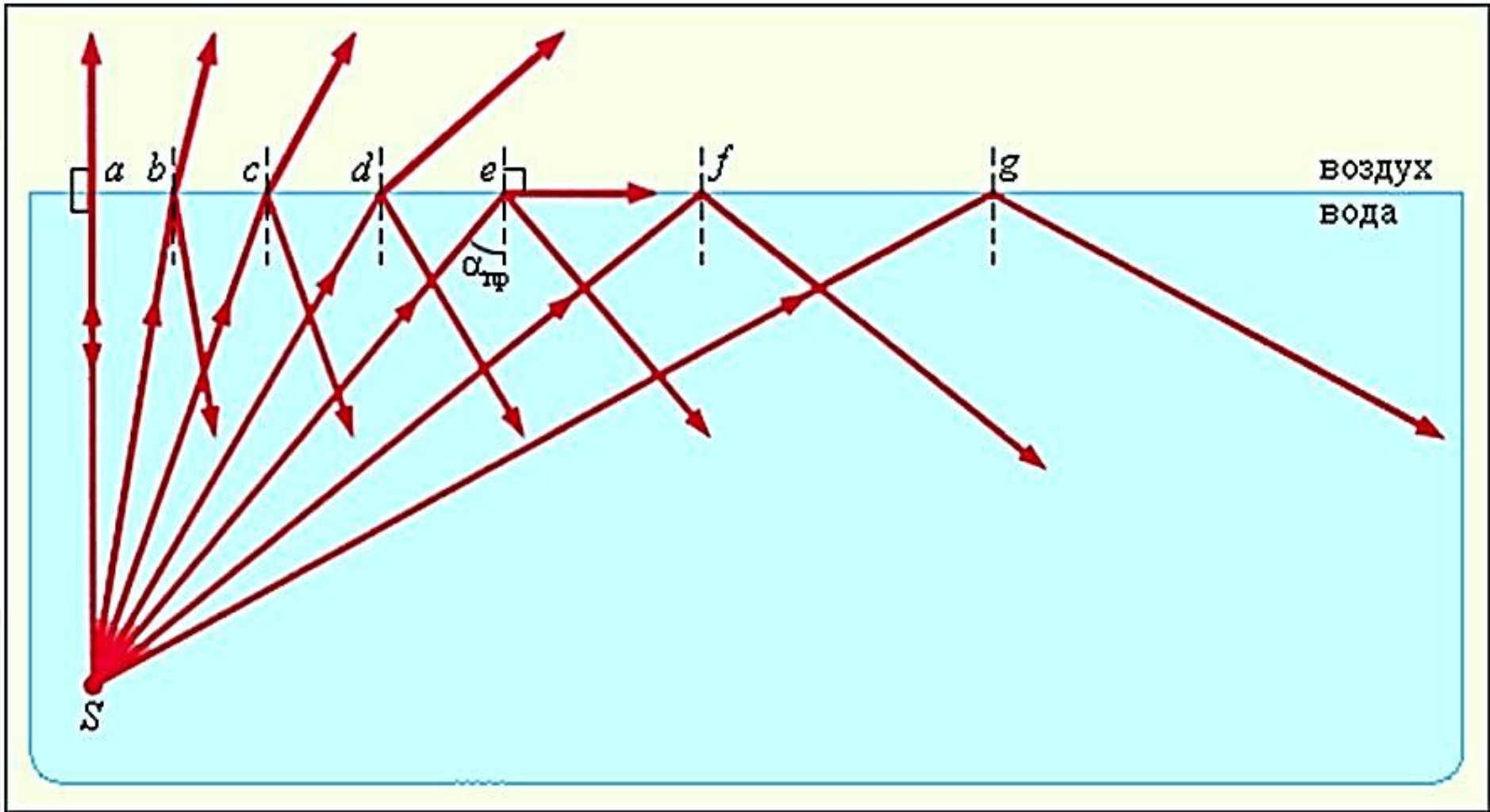


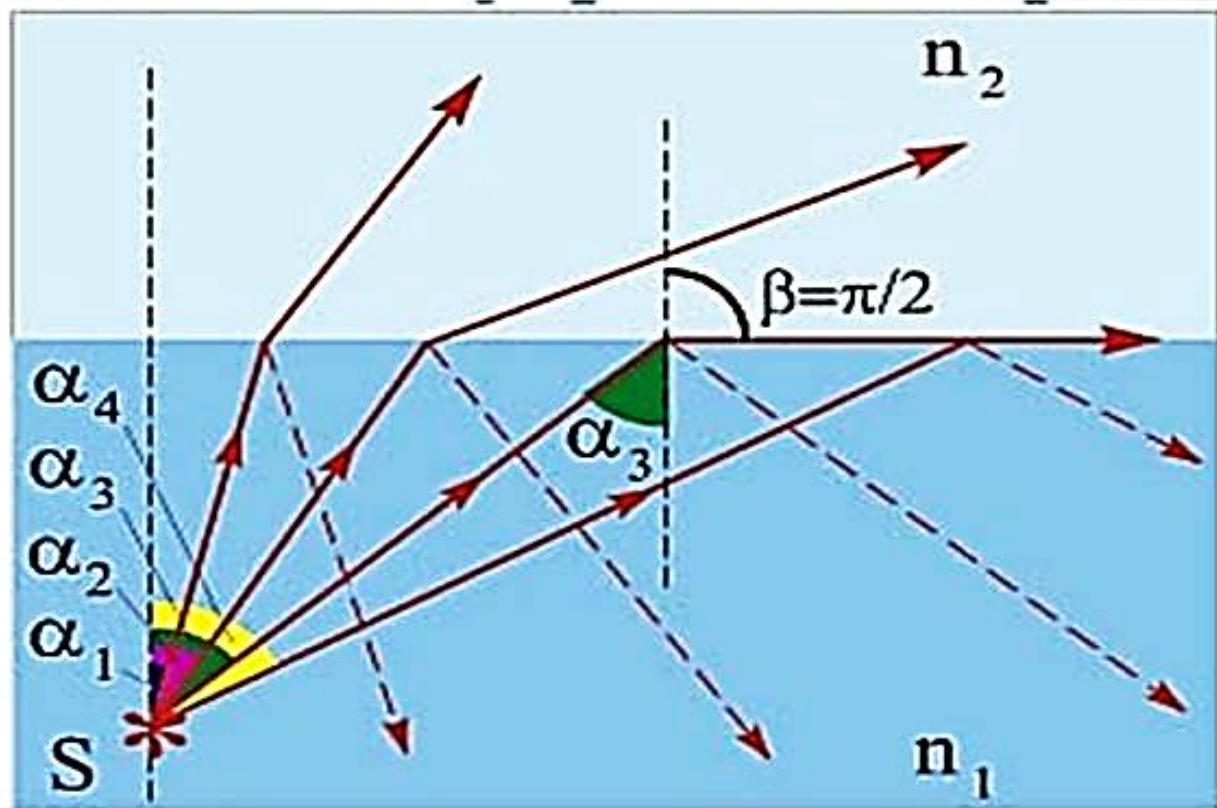
Ход луча в оптически неоднородной среде



$$n_1 > n_2 > n_3 > n_4 > n_5$$

Полное внутреннее отражение света





Из закона Снеллиуса:

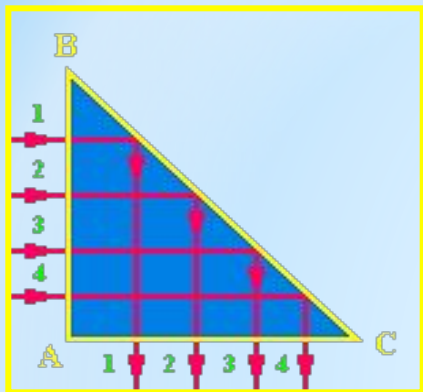
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{так как при } \alpha = \alpha_{np}, \beta = \pi/2$$

$$\text{следует } \sin \alpha_{np} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

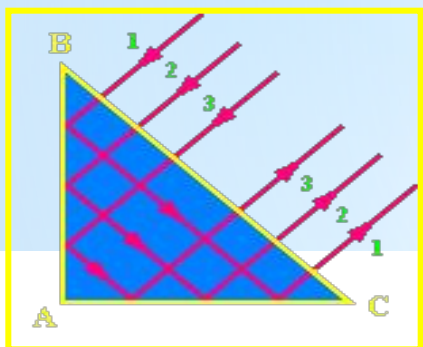
Условия полного внутреннего отражения

$$n_2 < n_1, \quad \alpha \geq \alpha_{np}$$

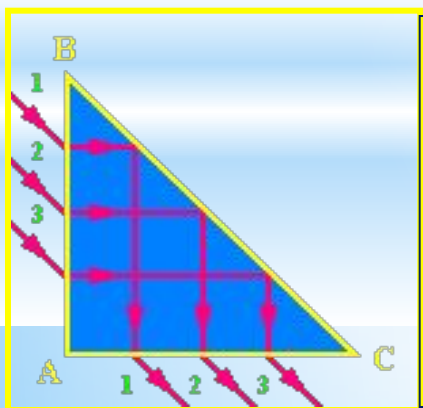
Полное отражение внутри призмы



* Призма позволяет поворачивать световой пучок на 90° , поэтому ее называют **поворотной**. Внутри призмы наблюдается однократное внутреннее отражение от грани BC.



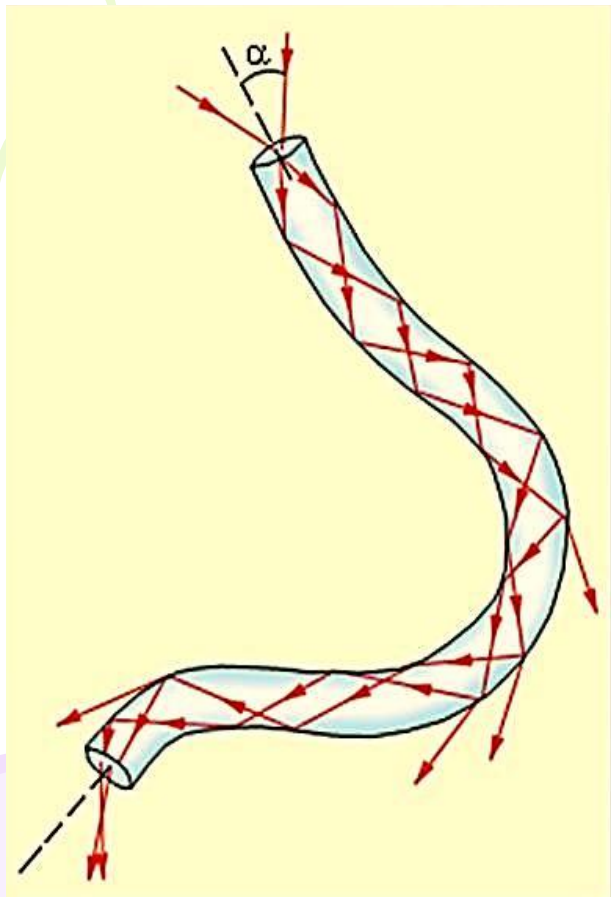
* Внутри призмы световой пучок испытывает уже двукратное полное отражение от грани AB и от грани AC. Эта призма может быть использована для разворота светового пучка на 180° , поэтому она тоже называется **поворотной**



Лучи, падающие на грань AB параллельно основанию BC, испытывают в стекле призмы полное отражение и выходят из призмы параллельно падающим лучам. При выходе из призмы верхний падающий луч становится нижним, а нижний - верхним. Поэтому призму в этом случае называют **оборотной**.

Световоды

Жгуты из стержней – световодов используют в медицине для исследования внутренних органов.

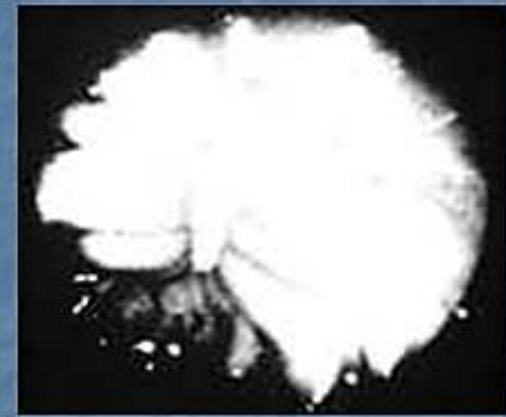


ЭНДОСКОП



Волоконнооптический зонд (эндоскоп) дает врачам возможность исследовать желудочно-кишечный тракт и другие внутренние области организма.

Изображения, получаемые зондом, затем передаются на телевизионный экран..



Так выглядит через эндоскоп язва желудка

Определить кажущуюся глубину водоема h , если смотреть по вертикали вниз. Истинная глубина водоема равна H .

Построим ход лучей, вышедших из точки S на дне водоема. Наблюдение ведется по вертикали: один луч SA направим перпендикулярно поверхности воды, другой под малым углом α .

После преломления лучи идут расходящимся пучком. Вершина этого пучка – точка S_1 – мнимое изображение точки S , а расстояние $SA_1 = h$ – кажущаяся глубина. $SA = H$ – истинная глубина.

$$\angle ASB = \angle \alpha, \quad \angle AS_1B = \angle \beta, \quad n_1 = n_{\text{воздуха}}, \quad n_2 = n_{\text{воды}}$$

По закону преломления: $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$

Для малых углов:

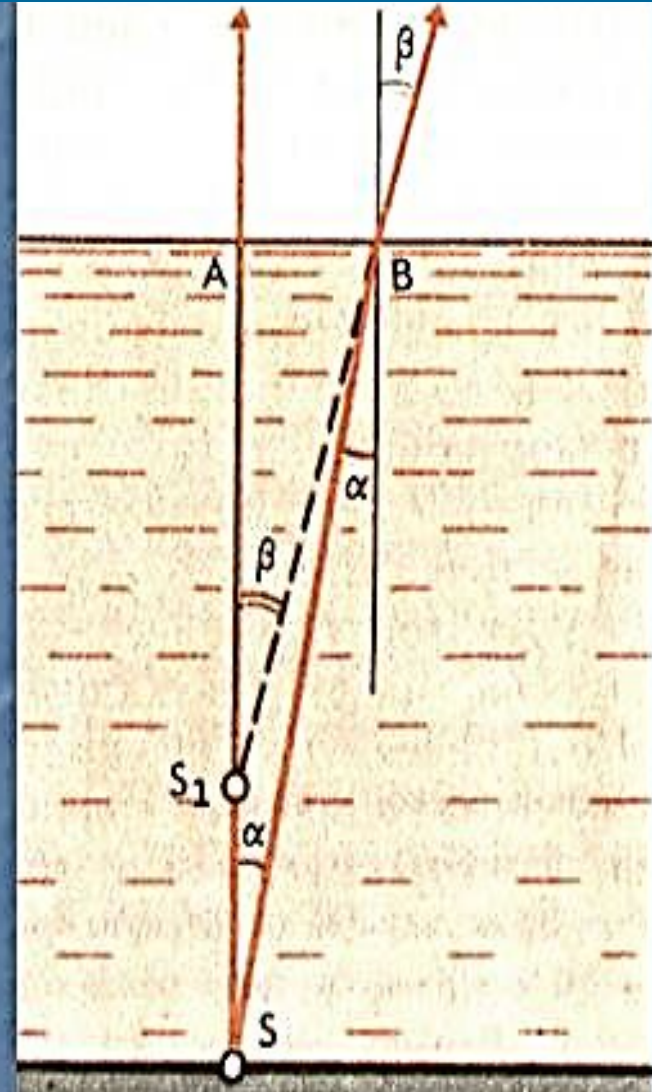
$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{H}$$

$$\sin \beta \approx \operatorname{tg} \beta = \frac{AB}{h}$$

Тогда: $\frac{n_1}{H} = \frac{n_2}{h}$

откуда: $h = \frac{n_2}{n_1} H$

или: $h = \frac{H}{n_{\text{воды}}}$

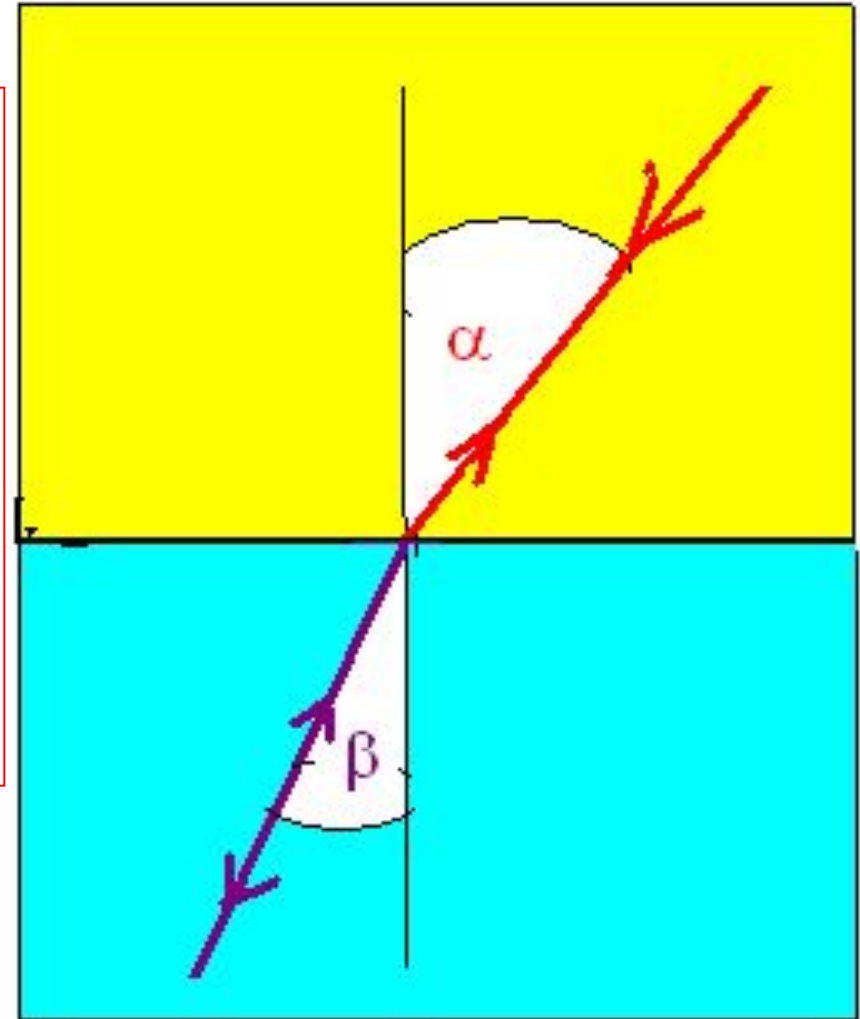


Кажущаяся глубина водоема в $n_{\text{воды}} = 1,33$ раз меньше истинной глубины.

Обратимость световых лучей

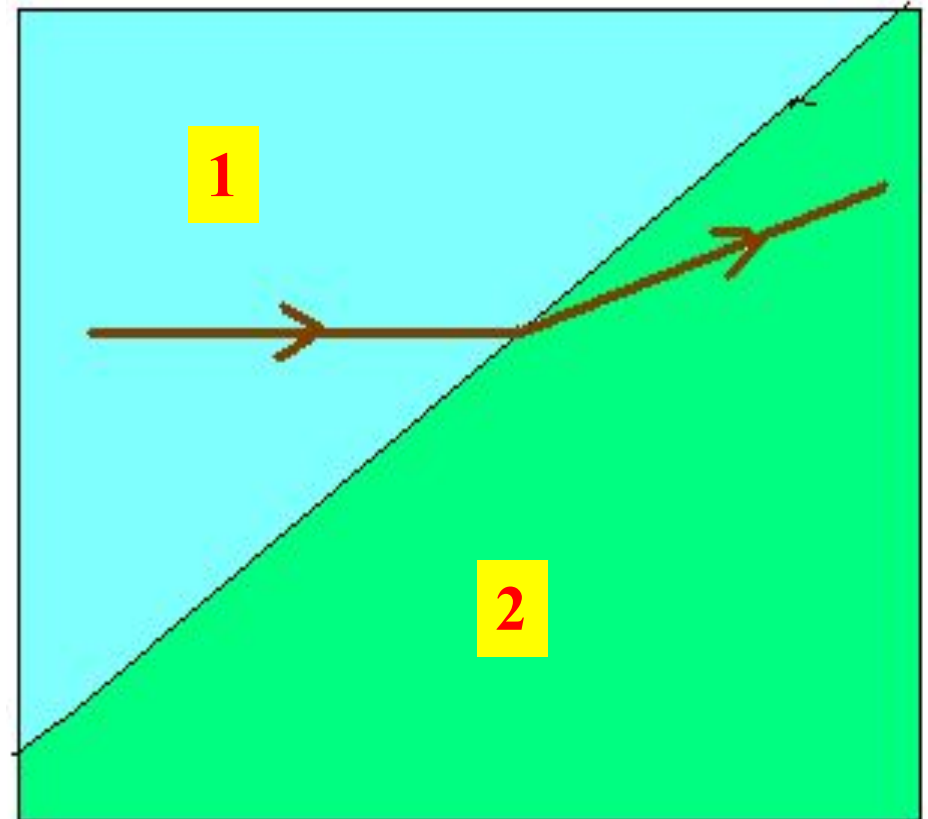
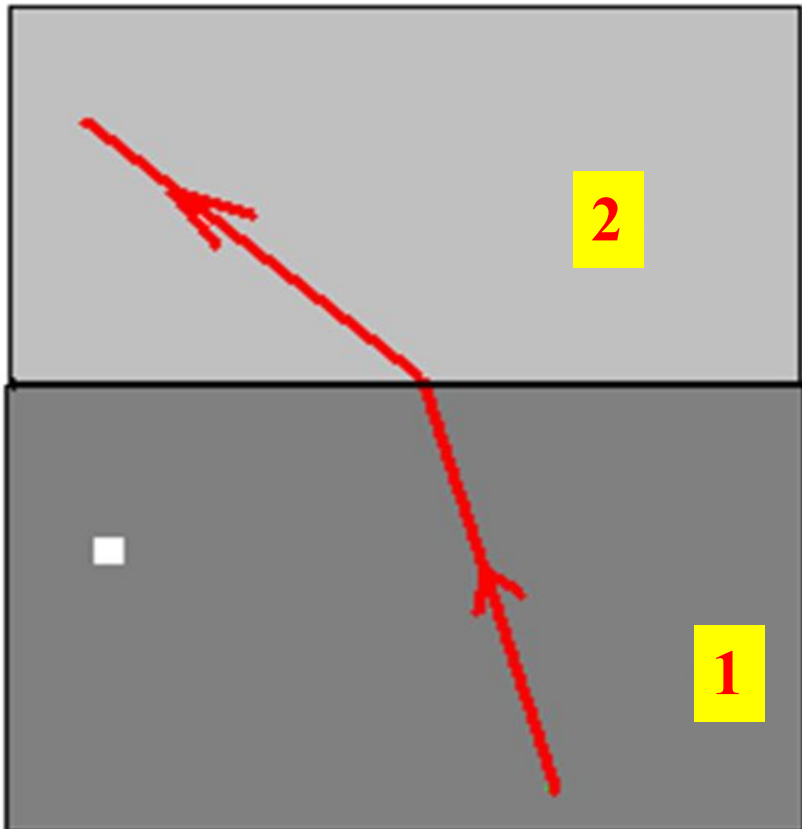
На рисунке показано
прохождение луча света
через границу раздела
воздух - вода

На рисунке отражён
принцип обратимости
световых лучей.



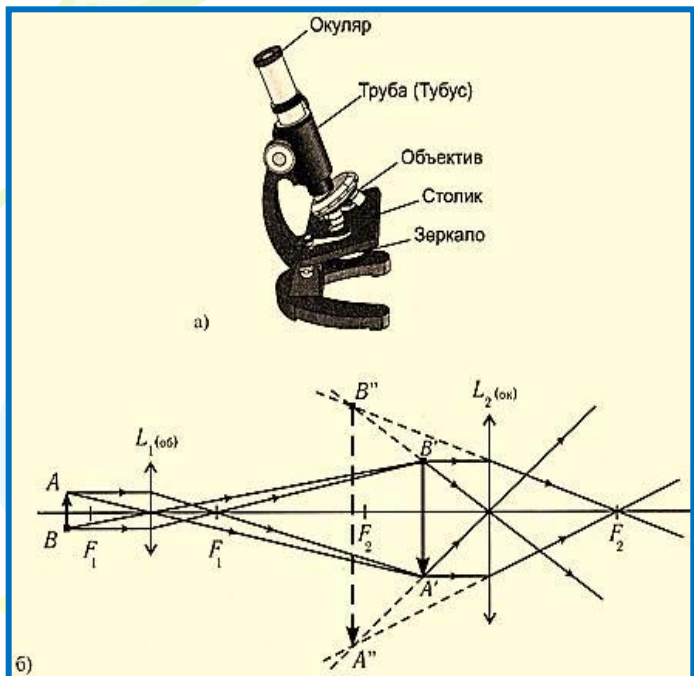
Подумайте и решите

На рисунке изображено преломление луча света на границе двух сред. Какая среда оптически более плотная? Почему?

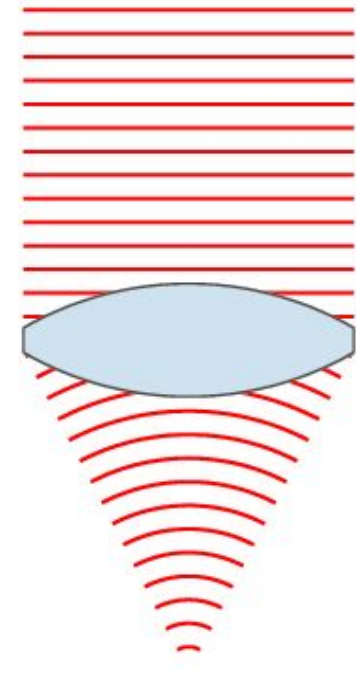


Применение законов преломления

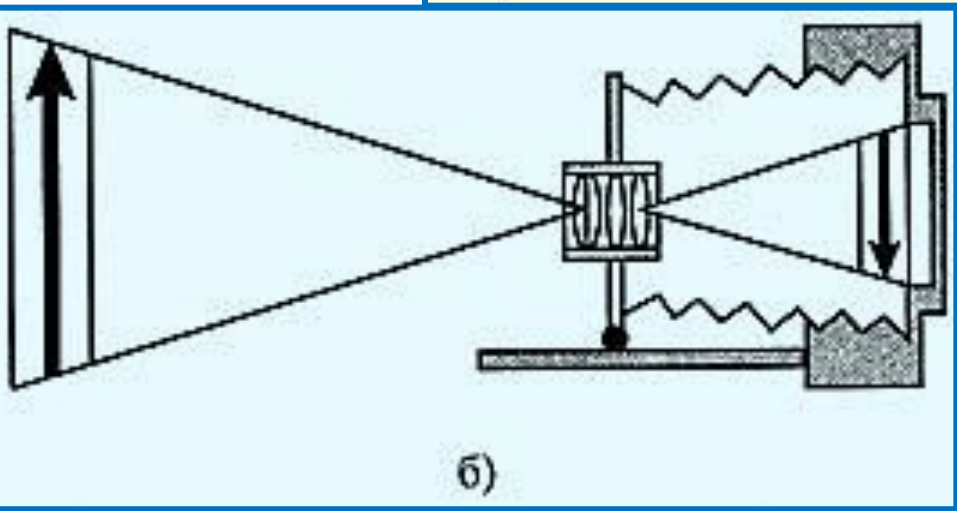
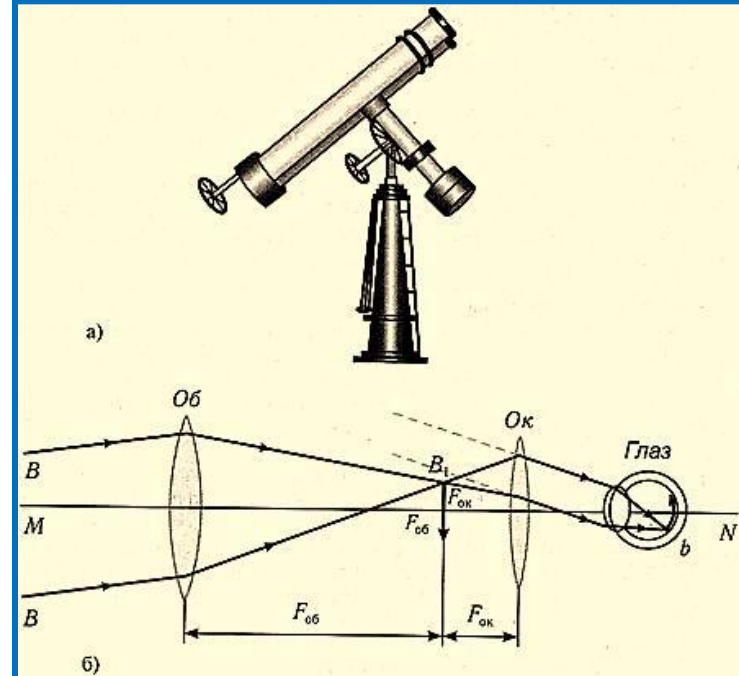
1. Микроскоп.



2. Фотоаппарат.



3. Телескоп.



Прохождение света через плоскопараллельную пластинку

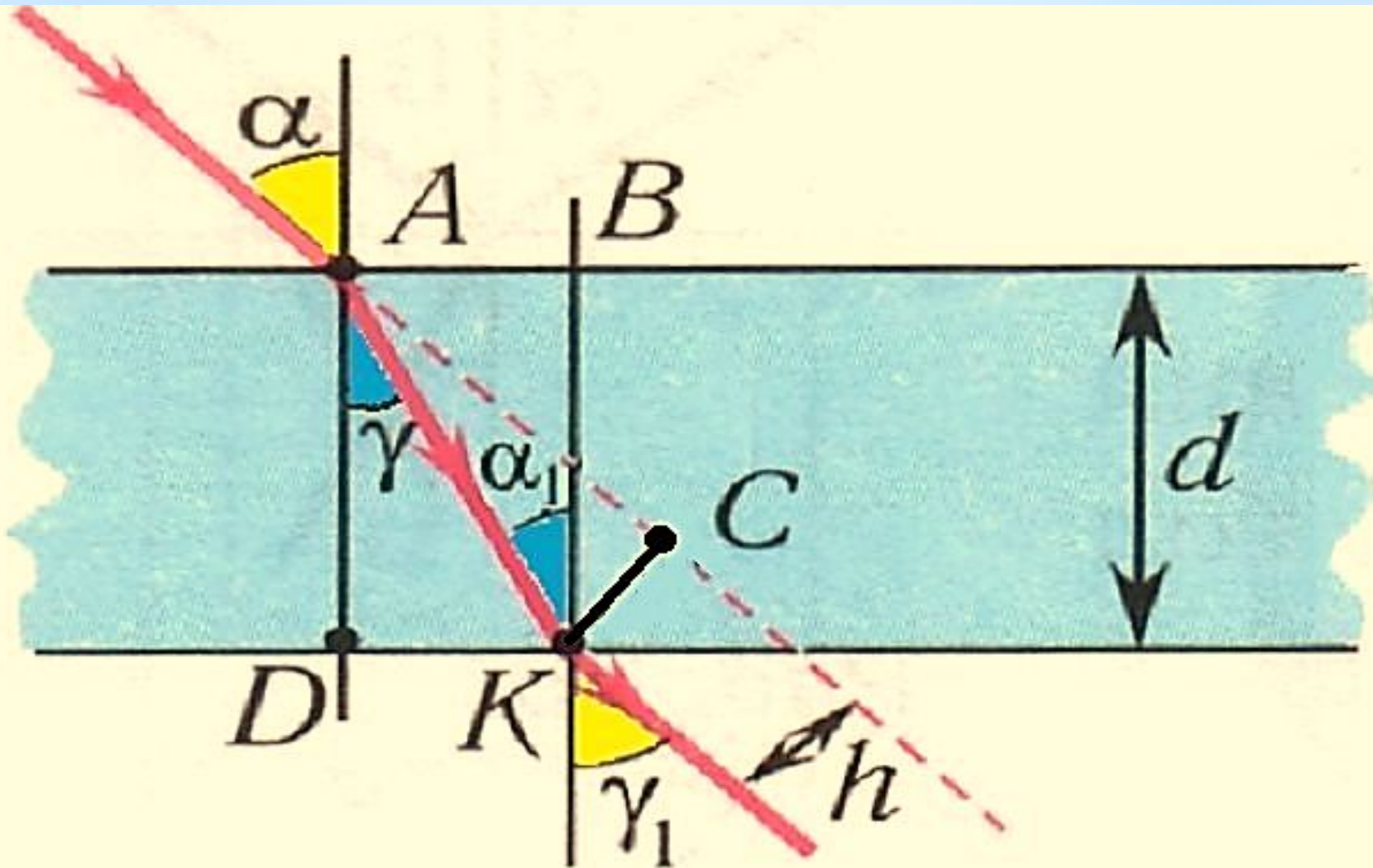
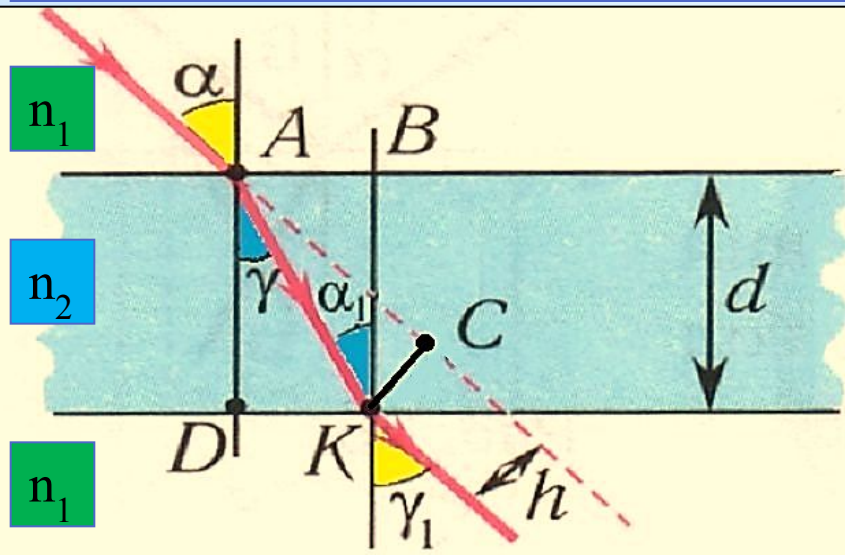


Рис.77. Ход луча в плоскопараллельной пластинке

Прохождение света через плоскопараллельную пластинку



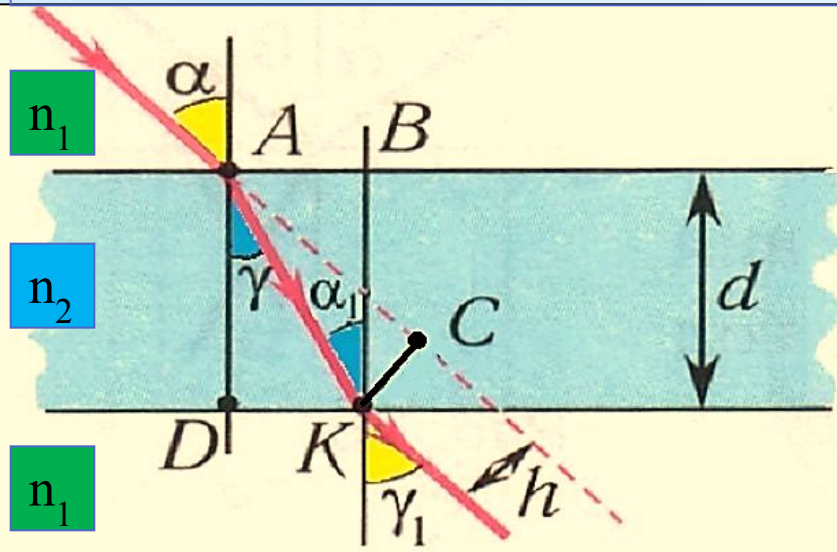
Согласно закону преломления на первой границе раздела для луча, падающего под углом a на первую границу, имеем:
 $n_1 \sin a = n_2 \sin \gamma$, $\sin a = n \sin \gamma$, где $n = n_2/n_1$,
где: γ – угол преломления на первой грани.

Закон преломления на второй границе раздела сред: $n_2 \sin a_1 = n_1 \sin \gamma_1$ или: $\sin \gamma_1 = n \sin a_1$

Накрест лежащие углы γ и a_1 , при параллельных прямых AD и BK (перпендикулярах к первой и второй параллельным границам) равны, т. е. $a_1 = \gamma$
Следовательно, $\sin a = \sin \gamma_1$. Откуда следует, что: $a = \gamma_1$

Луч света, проходя через плоскопараллельную пластинку, с обеих сторон которой находится одна и та же среда, смещается параллельно своему начальному направлению на некоторое расстояние h . Соответственно, все предметы, если смотреть на них сквозь прозрачную плоскопараллельную пластинку под углом, не равным нулю, будут также казаться смежными.

Смещение луча света после прохождения через плоскопараллельную пластинку



Введем обозначения:

d – толщина пластинки ($d = AD$),

h – смещение луча ($h = KC$), l – длина преломленного луча в пластинке ($l = AK$)

Из $\triangle AKC$: $h = l \sin(\alpha - \gamma)$

Из $\triangle AKD$: $l = d / \cos \gamma$

$$h = d \frac{\sin(\alpha - \gamma)}{\cos \gamma}$$

Следствие: $h < d$ – смещение луча всегда меньше толщины пластинки (доказать)

Расчет смещения луча в общем случае:

$$h = d \frac{\sin(\alpha - \gamma)}{\cos \gamma} = d \frac{\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma}{\cos \gamma} = d(\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \gamma)$$

Из закона преломления: $\sin \gamma = \sin \alpha / n$, где $n = n_2 / n_1$

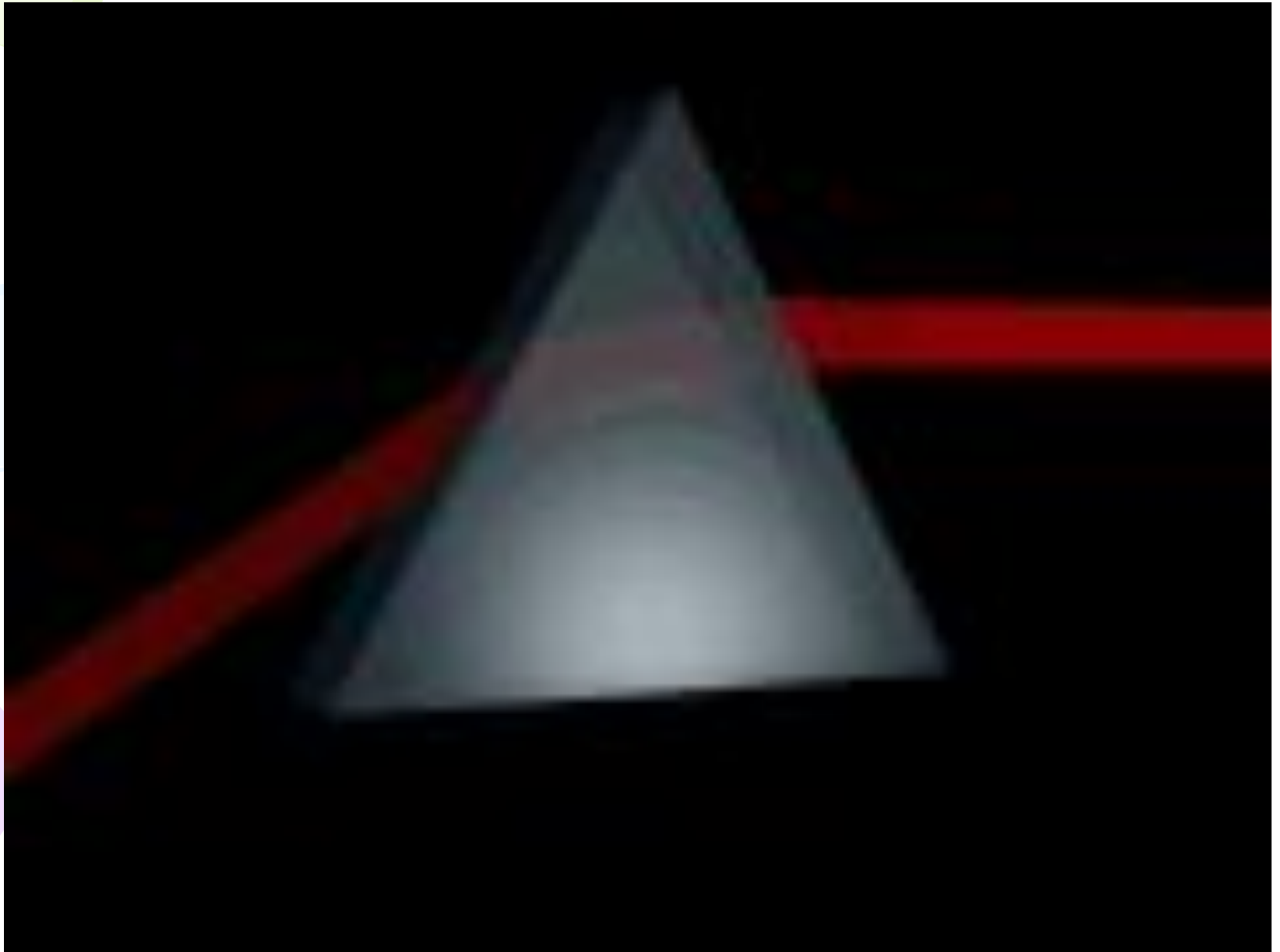
$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\sin \gamma}{\cos \gamma} = \frac{\sin \alpha / n}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma}} = \frac{\sin \alpha}{n \sqrt{1 - (\sin \alpha / n)^2}} = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}$$

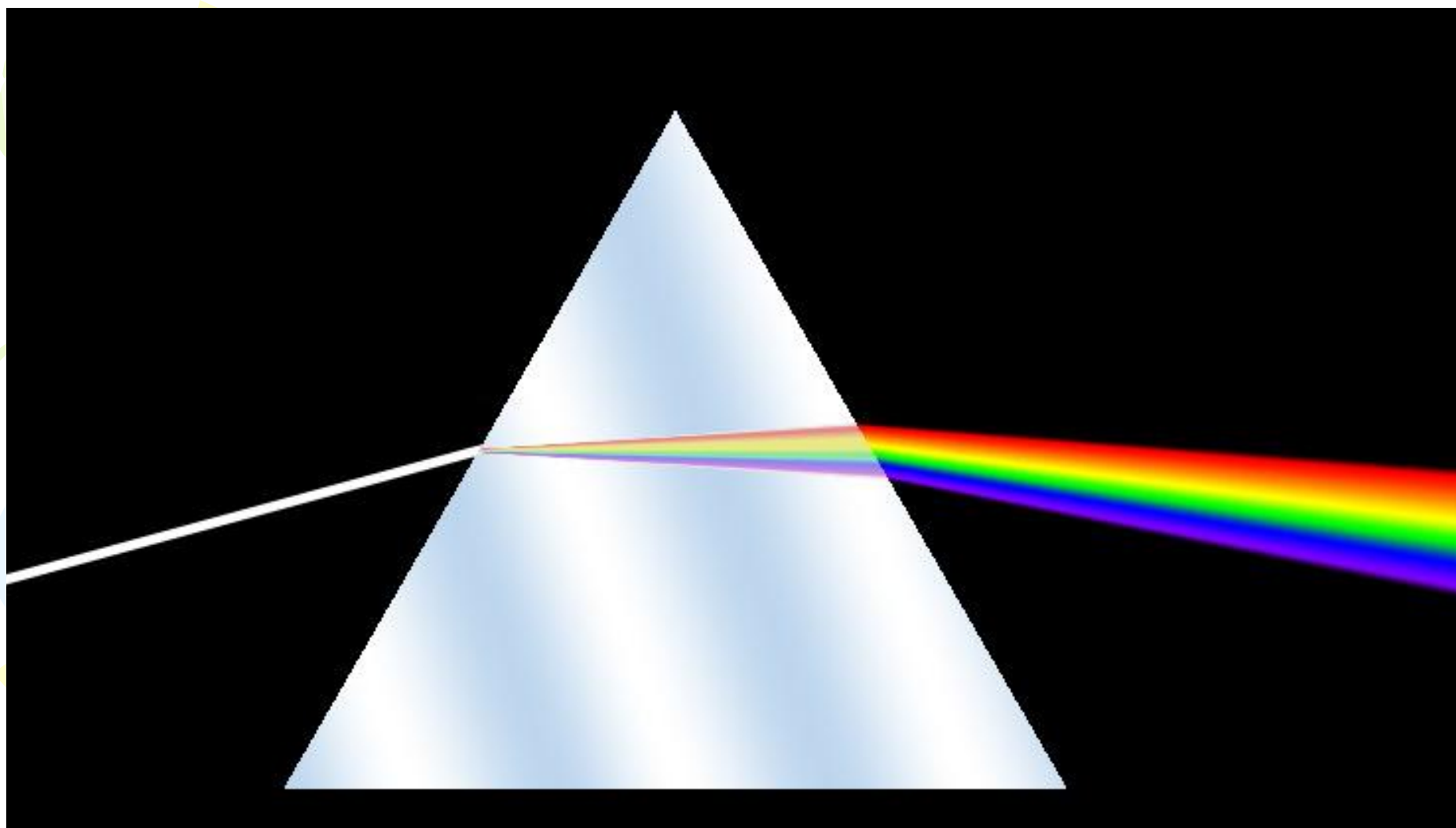
$$h = d(\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \gamma)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}$$

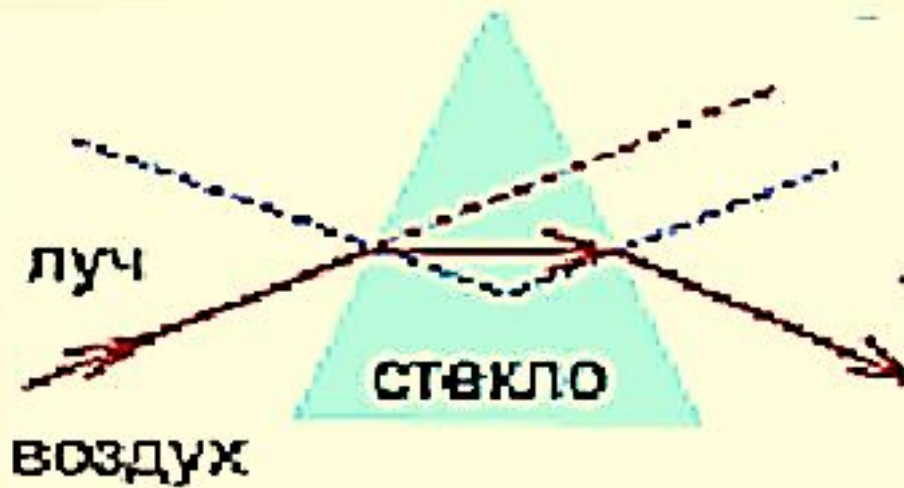
$$n = \frac{n_2}{n_1}$$

Ход лучей в треугольной призме

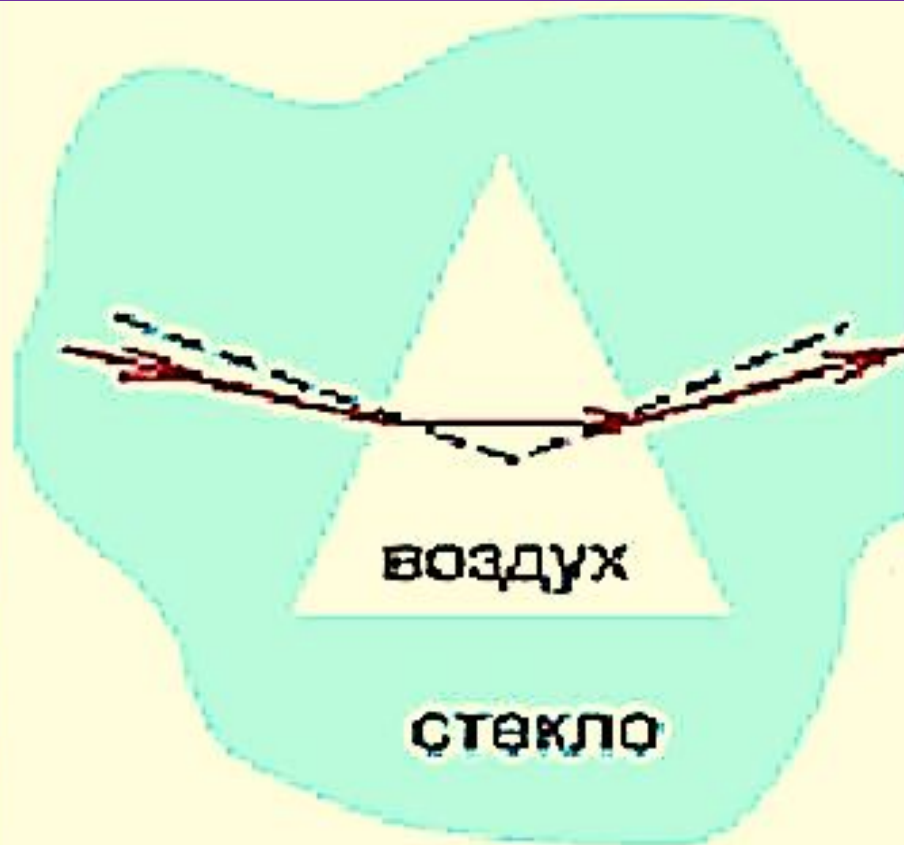




**Прохождение белого света через призму
(дисперсия)**

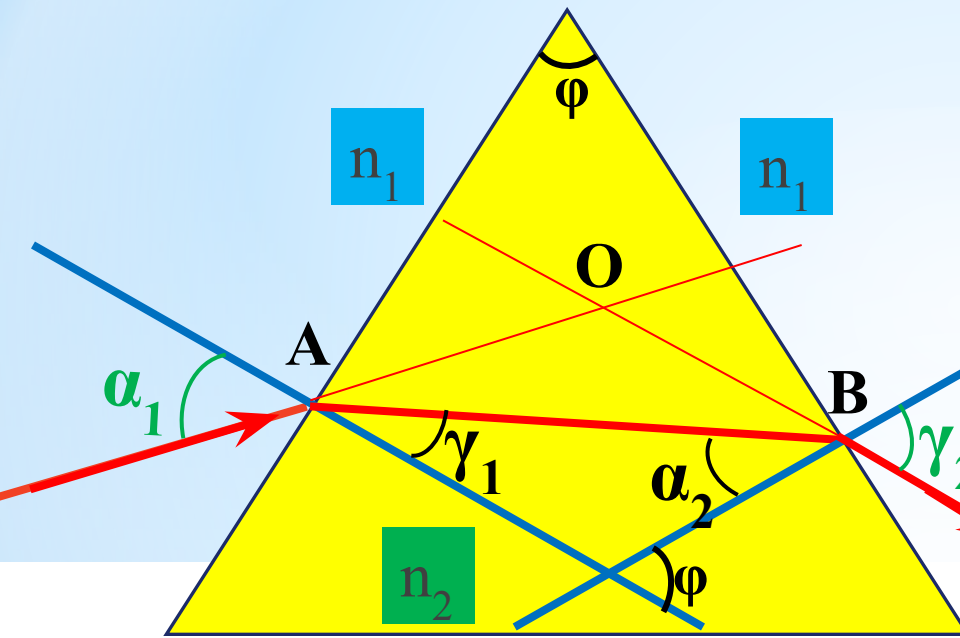


Воздух – стекло - воздух
Отклонение луча к **основанию** треугольной призмы (к утолщенной части призмы)



Стекло - воздух - стекло
Отклонение луча к **вершине** треугольной призмы

Прохождение света через треугольную призму



Световой луч падает под углом α_1 на боковую грань призмы (показатель преломления n_2), находящуюся в среде с показателем преломления n_1 .

φ – преломляющий угол призмы; грани, образующие преломляющий угол, называются преломляющими.

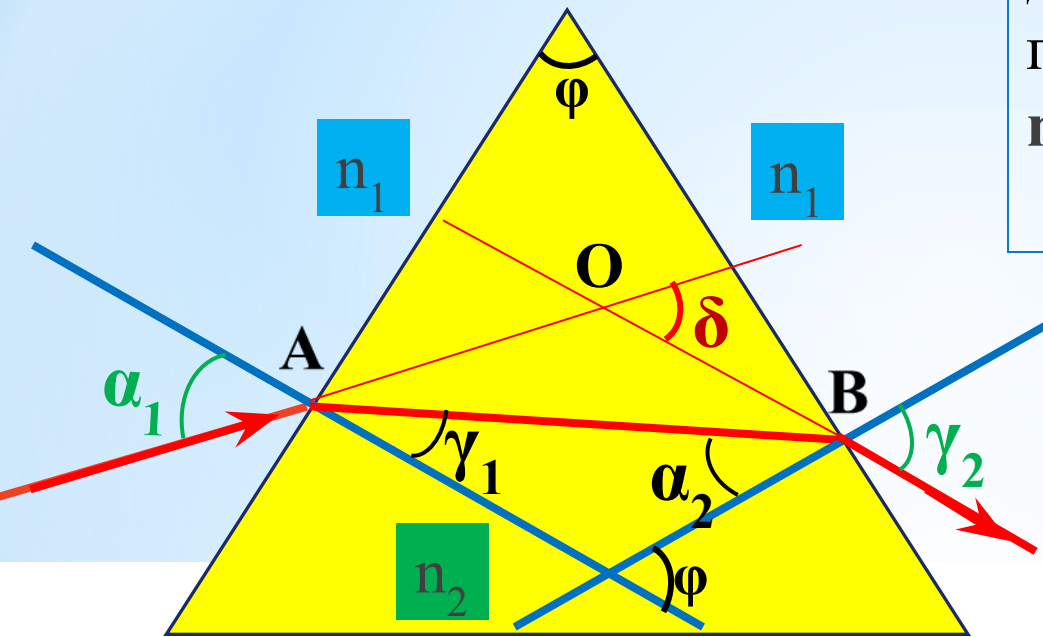
Для первой преломляющей грани закон преломления:

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \gamma_1 \quad \sin \gamma_1 = \frac{n_1}{n_2} \sin \alpha_1$$

$\varphi = \gamma_1 + \alpha_2$ - по теореме о внешнем угле треугольника $\rightarrow \alpha_2 = \varphi - \gamma_1$
 $\alpha_2 < \alpha_0$ – тогда луч света выйдет через вторую грань ($\sin \alpha_0 = n_1/n_2$)

$\varphi = \gamma_1 + \alpha_2$ Сумма углов преломления на первой грани γ_1 и падения на вторую грань α_2 равна преломляющему углу призмы φ .

Прохождение света через треугольную призму



Для второй преломляющей грани закон преломления:

$$n_2 \sin \alpha_2 = n_1 \sin \gamma_2$$

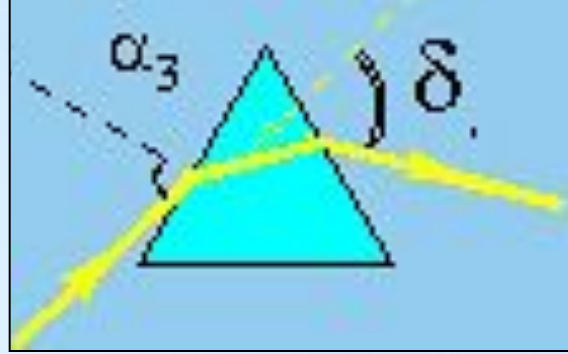
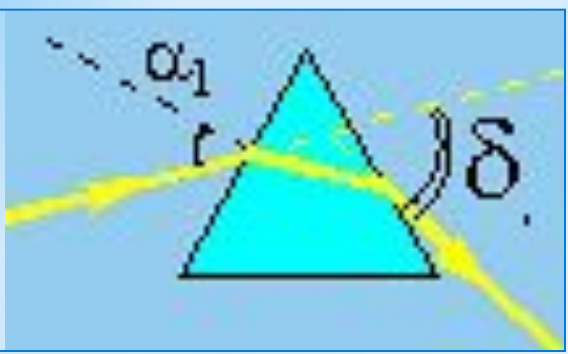
$$\sin \gamma_2 = \frac{n_2}{n_1} \sin \alpha_2$$

δ - угол отклонения луча призмой (между направлениями входящего и выходящего лучей света).

$\delta = (\alpha_1 - \gamma_1) + (\gamma_2 - \alpha_2)$ - по теореме о внешнем угле $\triangle ABO \rightarrow$

$$\delta = \alpha_1 + \gamma_2 - (\gamma_1 + \alpha_2) = \alpha_1 + \gamma_2 - \varphi$$

$\delta = \alpha_1 + \gamma_2 - \varphi$ - угол отклонения луча призмой равен **разности** между суммой угла падения на первую грань и угла преломления на второй грани ($\alpha_1 + \gamma_2$) и преломляющим углом призмы φ .



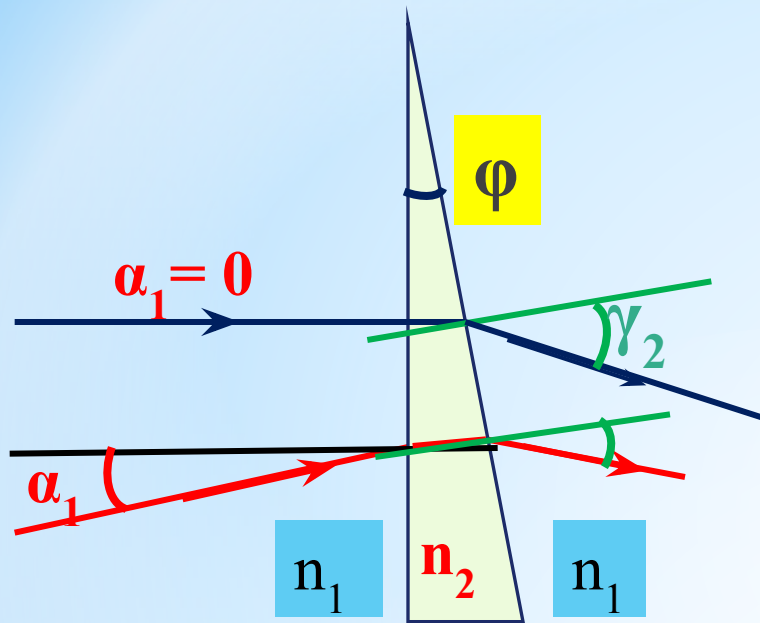
Минимальное отклонение луча призмой возникает в случае симметричного хода луча, т.е. угол падения на первую грань равен углу преломления на второй грани: $\alpha_1 = \gamma_2 \rightarrow \gamma_1 = \alpha_2$

В этом случае преломляющий угол призмы равен: $\varphi = 2\gamma_1 = 2\alpha_2$

Угол отклонения луча призмой равен: $\delta_{\min} = 2\alpha_1 - \varphi$

При минимальном отклонении луча призмой **энергия света**, проходящего через призму, **максимальна**. Поэтому оптические приборы, содержащие треугольную призму, настраиваются на минимальный угол отклонения луча.

Тонкие призмы



Если угол падения α_1 на грань призмы и преломляющий угол призмы ϕ малы (до 12°), то малыми будут все углы: γ_1 , α_2 , γ_2 . Поэтому **синусы углов** можно заменить значениями углов, выраженными в **радианах**.

Закон преломления для первой грани: $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \gamma_1$, а для малых углов: $n_1 \alpha_1 \approx n_2 \gamma_1$ $\gamma_1 \approx n_1 \alpha_1 / n_2$ – угол преломления на первой грани

Закон преломления для второй грани: $n_2 \sin \alpha_2 = n_1 \sin \gamma_2$, а для малых углов: $n_2 \alpha_2 \approx n_1 \gamma_2$ $\alpha_2 \approx n_1 \gamma_2 / n_2$ – угол падения на вторую грань

Так как: $\phi = \gamma_1 + \alpha_2$, то:

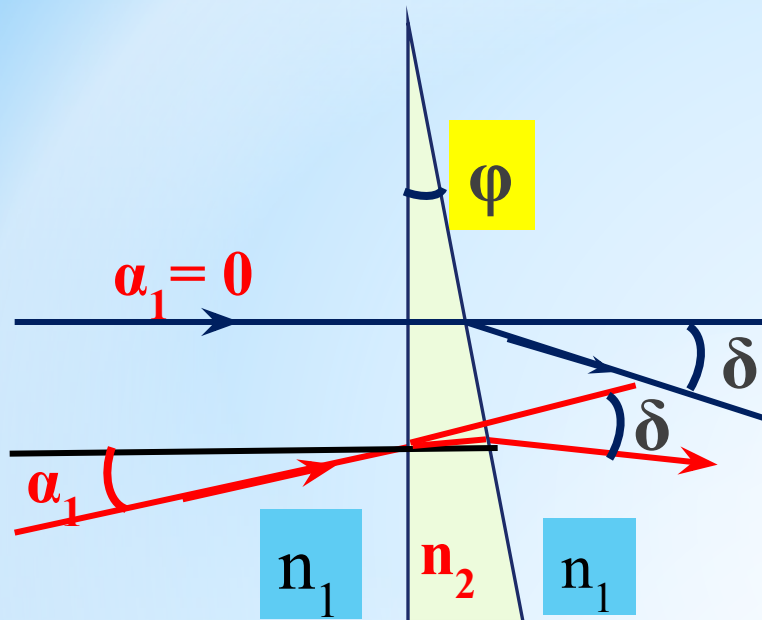
$\phi = \frac{n_1}{n_2} (\alpha_1 + \gamma_2)$
--

$\alpha_1 + \gamma_2 = \frac{n_2}{n_1} \phi$
--

$\gamma_2 = \frac{n_2}{n_1} \phi - \alpha_1$
--

Для малых углов угол преломления на второй грани γ_2 имеет наибольшее значение, если угол падения на первую грань $\alpha_1 = 0$

Тонкие призмы



Угол отклонения луча призмой:

$$\delta = \alpha_1 + \gamma_2 - \varphi$$

Так как: $\alpha_1 + \gamma_2 = \frac{n_2}{n_1} \varphi$, то: $\delta = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \varphi$

Для малых углов падения света на тонкую треугольную призму угол отклонения призмой **не зависит от угла падения света** на первую грань и увеличивается с увеличением показателя преломления вещества призмы.

Практически применяется стеклянный клин, на который свет направляется перпендикулярно первой грани. Преломляющий угол не превышает 10° . Применяется оптическое стекло с показателем преломления от 1,6 до 1,9 (флинт)

