

Полное отражение

Теорию смотрите в соответствующем разделе статьи «[Преломление света](#)» базового курса.

ЗАДАЧА 1. На дне водоёма, имеющего глубину H , находится точечный источник света. Какой минимальный радиус R должен иметь круглый непрозрачный диск, плавающий на поверхности воды над источником, чтобы этот источник нельзя было обнаружить с вертолёта? Показатель преломления воды равен n .

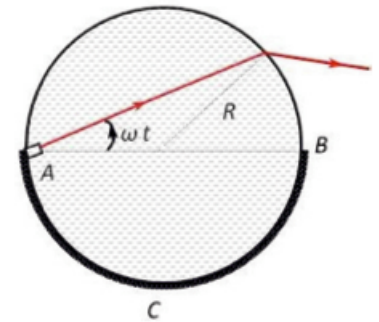
$$\frac{1 - \frac{1}{n^2}}{H} = \frac{1}{R}$$

ЗАДАЧА 2. Водолаз стоит на горизонтальном дне водоёма, имеющего глубину $H = 15$ м. Рост водолаза равен $h = 1,7$ м. На каком расстоянии l от водолаза находятся те части дна, которые он может увидеть отражёнными от поверхности воды? Показатель преломления воды $n = 4/3$.

$$l \approx \frac{1}{n} \sqrt{H^2 - h^2} < l$$

ЗАДАЧА 3. (*Всеросс., 2017, финал, 9*) Внутри стеклянного тонкостенного цилиндрического сосуда радиуса R вблизи его стенки в точке A расположен микролазер, размеры которого гораздо меньше R . Сосуд заполнен водой, а снаружи находится воздух. Половина внутренней поверхности сосуда, соответствующая дуге ACB , зачернена и поглощает свет. Изначально луч лазера направлен в точку B .

Лазер начинает вращаться с постоянной угловой скоростью ω против часовой стрелки в плоскости рисунка вокруг оси, проходящей через точку A (рис.). Показатель преломления воды $n = 4/3$.



- Через какое время τ луч перестанет выходить из сосуда?
- Чему будет равна скорость «зайчика» на зачернённой поверхности цилиндра в момент времени $1,5\tau$ от начала движения?

Примечание. Вам может потребоваться закон Снелла: $n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2$, где n_1 и n_2 — показатели преломления в первой и второй среде, φ_1 и φ_2 — углы падения и преломления.

$$\tau = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{n}{1} = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{4}{3}$$

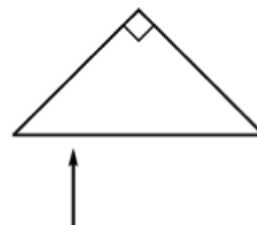
ЗАДАЧА 4. Сечение стеклянной призмы имеет вид равнобедренного треугольника с преломляющим углом φ . Луч света идёт вдоль одной боковой грани призмы по направлению к вершине. При каком наименьшем угле φ преломлённый луч претерпит полное отражение на другой боковой грани? Показатель преломления стекла равен n .

$$\varphi_{\min} = \arcsin \frac{2}{n} = \arcsin \frac{2}{1,5} = \arcsin \frac{4}{3}$$

ЗАДАЧА 5. Призма с преломляющим углом $\varphi = 60^\circ$ сделана из стекла с показателем преломления $n = 7/4$. При каком угле падения α светового луча на одну из граней он не сможет выйти через вторую грань?

$$\alpha_{\text{max}} \approx \left(\varphi \cos \varphi - \varphi \sin \varphi \sqrt{1 - \frac{1}{n^2}} \right) \sin \varphi \approx 30^\circ$$

ЗАДАЧА 6. (МОШ, 2012, 11) На призму, сечение которой имеет вид равнобедренного прямоугольного треугольника, перпендикулярно нижней грани падает луч от лазерной указки. Каким должен быть показатель преломления n материала, из которого сделана призма, чтобы свет от указки вышел из призмы наружу только через эту же грань?



$$n \geq \sqrt{2}$$

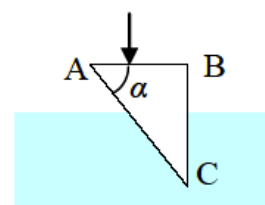
ЗАДАЧА 7. (МФТИ, 1994) На горизонтальном дне водоёма лежит монета радиуса $r = 2$ см. На каком максимальном расстоянии от монеты надо поместить в воде плоский экран радиуса $R = 5$ см, чтобы монету нельзя было обнаружить из воздуха при спокойной поверхности воды? Показатель преломления воды $n = 4/3$.

$$L_{\text{max}} \approx \sqrt{R^2 - r^2} \sqrt{1 - \frac{1}{n^2}} = 7.6 \text{ см}$$

ЗАДАЧА 8. («Покори Воробьёвы горы!», 2017, 10–11) Вплотную к торцу прямого цилиндрического прозрачного стержня расположен маленький источник света, испускающего свет во всех направлениях. При какой минимальной величине показателя преломления материала стержня n все лучи, попавшие в стержень через торец вблизи источника света, достигнут его другого торца?

$$n \geq \sqrt{2}$$

ЗАДАЧА 9. («Покори Воробьёвы горы!», 2015, 10–11) Прямоугольный клин из оптического стекла с показателем преломления $n_1 = 1.7$ помещён в глицерин ($n_2 = 1.47$), как показано на рисунке. При каких значениях угла α луч света, падающий перпендикулярно грани AB , выйдет в глицерин из грани AC ?

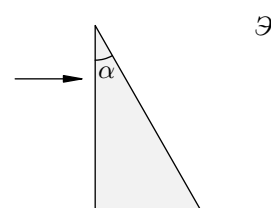


$$\alpha < \arcsin \frac{n_2}{n_1} \approx 59.8^\circ$$

ЗАДАЧА 10. («Покори Воробьёвы горы!», 2014, 10–11) Прозрачный цилиндр, верхний торец которого находится в воздухе, помещён в воду. Точечный источник света S расположен вне цилиндра на его оси вблизи верхнего торца. Найдите минимальный показатель преломления n материала цилиндра, при котором ни один луч, вошедший через основание, не выйдет через боковую поверхность наружу. Показатель преломления воды $n_{\text{в}} = 1.33$.

$$n_{\text{min}} \approx \sqrt{1 + \frac{2}{3} n_{\text{в}}^2} = 1.69$$

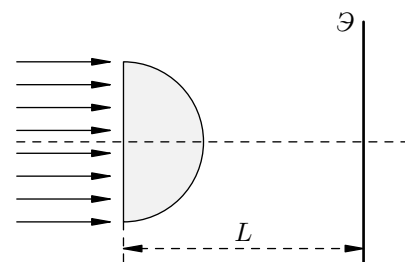
ЗАДАЧА 11. (МФТИ, 1979) На стеклянный клин перпендикулярно его грани падает тонкий луч света (см. рисунок). Показатель преломления стекла $n = 1.41$, угол при вершине $\alpha = 10^\circ$. Сколько светлых пятен будет видно на экране, поставленном за клином?



$$L_{\text{ва}} = 2$$

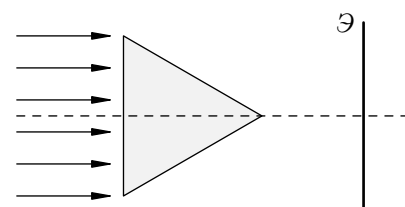
Задача 12. (МФТИ, 1979) На половину шара, изготовленного из стекла с показателем преломления $n = 1,41$, падает параллельный пучок лучей (см. рисунок). На расстоянии $L = 4,82$ см расположен экран Э. Определите радиус светлого пятна на экране, если радиус шара $r = 2$ см.

2 см



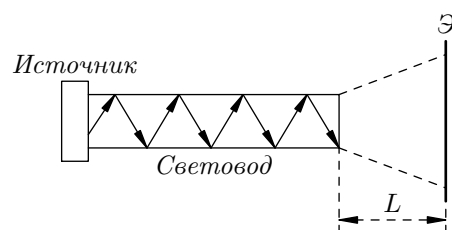
Задача 13. (МФТИ, 1983) Параллельный пучок света падает на основание стеклянного конуса ($n = 1,5$) вдоль его оси. Сечение пучка совпадает с основанием конуса, радиус которого $R = 1$ см. Высота конуса равна $\sqrt{3}$ см. Определить площадь светлого пятна на экране, перпендикулярном оси конуса и расположенном на расстоянии 1 см от вершины конуса (см. рисунок).

$$S = \pi R^2 (n^2 + 1) \frac{h}{R}$$

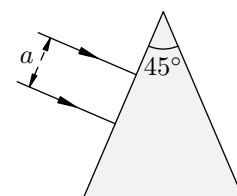


Задача 14. (МФТИ, 1977) Световод (длинная тонкая нить) изготовлен из прозрачного материала с показателем преломления $n = 1,2$. Один из торцов световода прижат к источнику рассеянного света, другой торец размещён на расстоянии $L = 5$ см от экрана (см. рисунок). Найдите диаметр светового пятна на экране.

$$D = 2L \sqrt{\frac{n^2 - 1}{n^2}}$$



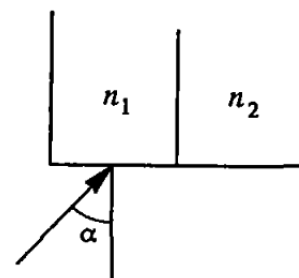
Задача 15. («Ломоносов», 2015, 10–11) На левую грань равнобедренной стеклянной призмы падает по нормали к ней параллельный пучок света шириной $a = 1$ см (см. рисунок), причём после прохождения левой грани пучок целиком попадает на правую грань призмы. Найдите ширину b пучка, выходящего из призмы, если угол при вершине призмы равен 45° , а показатель преломления стекла $n = 1,7$. Ответ приведите в миллиметрах, округлив до одного знака после запятой.



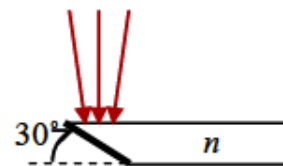
$$b = a \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\alpha - \beta)}$$

Задача 16. (МФТИ, 1997) Высокий прямоугольный сосуд разделён вертикальной перегородкой на два отсека (см. рисунок). Первый отсек заполнен жидкостью с показателем преломления $n_1 = 1,4$, второй — с показателем преломления $n_2 < n_1$. На дно первого отсека падает узкий пучок света под углом $\alpha = 30^\circ$. При каких значениях показателя преломления n_2 луч не сможет проникнуть во второй отсек? Все вертикальные стенки и дно являются прозрачными плоскопараллельными пластинами.

$$n_2 < n_1 \sin \alpha$$

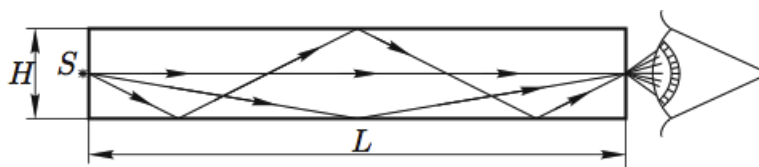


ЗАДАЧА 17. («Покори Воробьёвы горы!», 2016, 10–11) Плоскопараллельная пластина, изготовленная из прозрачного материала с показателем преломления $n = \sqrt{2} \approx 1,41$, срезана с одной стороны под углом 30° , и срез покрыт хорошо отражающим слоем. Узкие пучки параллельных световых лучей, излучаемые лазером, направляются на пластину в плоскости, перпендикулярной ребру среза, таким образом, что они отражаются от среза. При каких углах падения эти пучки попадут на край пластины, противоположный срезу, с интенсивностью, близкой к исходной? Размеры пластины очень значительно превышают её толщину.



$$\alpha_{\text{max}} \approx \frac{\pi}{1-\sqrt{2}} \text{ рад} \approx 0,6 \text{ рад}$$

ЗАДАЧА 18. (Всеросс., 2011, финал, 11) Вблизи левого торца хорошо отполированной прозрачной пластины, показатель преломления которой n , расположен точечный источник света S (рис.). Толщина пластины $H = 1$ см, её длина $L = 100$ см. Свет от источника падает на левый торец пластины под всевозможными углами падения ($0 - 90^\circ$). В глаз наблюдателя попадают как прямые лучи от источника, так и лучи, многократно испытавшие полное отражение на боковых гранях пластины.



- 1) Какое максимальное число отражений может испытать луч от источника, выходящий через правый торец пластины? Решите задачу для двух значений коэффициента преломления: $n_1 = 1,73$, $n_2 = 1,3$.
- 2) Укажите, в каком из этих двух случаев свет частично выходит из пластины через боковые грани.

$$\alpha_{\text{max}} = \left[\frac{\pi}{1} + \frac{H}{1-\sqrt{2}} \right] = \alpha_{\text{max}} \text{ рад} = \left[\frac{\pi}{1} + \frac{1-\sqrt{2}}{1} H \right] = \alpha_{\text{max}} \text{ рад}$$