

Road to IPhO

К 20-летию оптоволоконна

Введение

Как известно, луч света, попадая на границу раздела двух диэлектриков, преломляется и отражается. Угол преломления ϕ_2 зависит от угла падения ϕ_1 и показателей преломления сред n_1, n_2 (см. **Рис. 1**). Данная зависимость выражается законом Снелла:

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2,$$

где n_1, n_2 – показатели преломления сред, соответствующих углам распространения луча ϕ_1, ϕ_2 .

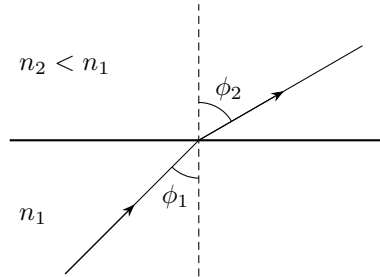


Рис. 1. Преломление света при прохождении из одной среды в другую

Часть А. Полусфера (1.5 балла)

На **Рис. 2** показан ход двух лучей (a, b) разных цветов в прозрачной полусфере, распространяющихся вдоль одного радиуса. После преломления на нижней поверхности полусферы лучи выходят под углами θ_a, θ_b к нормали (см. **Рис. 2**) соответственно.

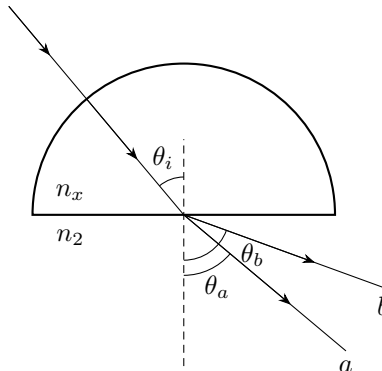


Рис. 2. Распространение света в полусфере

A1 Какой из лучей (a или b) имеет бóльшую скорость распространения в полусфере? Обоснуйте свой ответ. **0.5**

A2 При постепенном увеличении угла θ_i до 45° луч b перестает выходить из полусферы. То же происходит с лучом a при $\theta_i = 50^\circ$. Вычислите разность показателей преломления лучей при распространении в полусфере. **1.0**

Часть В. Цилиндрический стержень (3.5 балла)

Цилиндрический стержень, имеющий показатель преломления $n_1 = 1.50$, находится в воздухе (показатель преломления $n_2 = 1.00$). Левый конец стержня покрыт полимером с показателем преломления $n_3 = 1.40$ (см. **Рис. 3**). Луч попадает из полимера в стержень под углом θ к его оси, как указано на рисунке. При некоторых значениях θ возможна ситуация, когда весь попавший в стержень свет, полностью отражаясь от стенок стержня, возвращается в полимер.

Цилиндрический стержень с показателем преломления n_1 . Левый конец покрыт полимером с показателем преломления n_3 . Коэффициент преломления воздуха n_2 . Выполняется соотношение $n_2 < n_3 < n_1$.

Road to IPhO

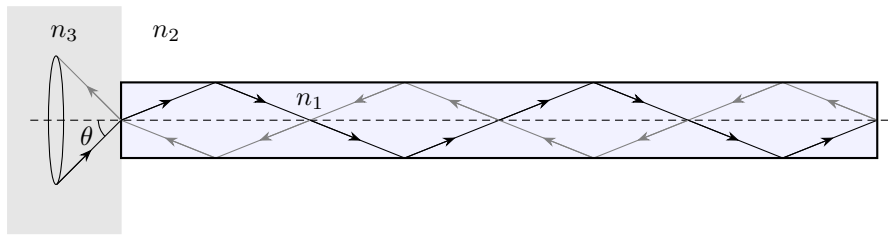


Рис. 3. Цилиндрический стержень с показателем преломления n_1 . Левый конец покрыт полимером с показателем преломления n_3 . Коэффициент преломления воздуха n_2 . Выполняется соотношение $n_2 < n_3 < n_1$

B1 Определите диапазон углов θ , соответствующих описанной ситуации. **2.0**

B2 Как изменится полученный ответ, если **1.5**

1. Правый конец стержня покрыт толстым слоем масла с показателем преломления 1.60?
2. Вся конструкция погружена в воду с показателем преломления 1.33?

Часть С. Оптоволокно (5.0 баллов)

Оптоволокно цилиндрического сечения состоит из двух частей: сердцевины и оболочки (см. Рис. 4). Показатель преломления сердцевины n_1 , оболочки – n_2 , причём $n_2 < n_1$. Показатель преломления воздуха $n_3 = 1$.

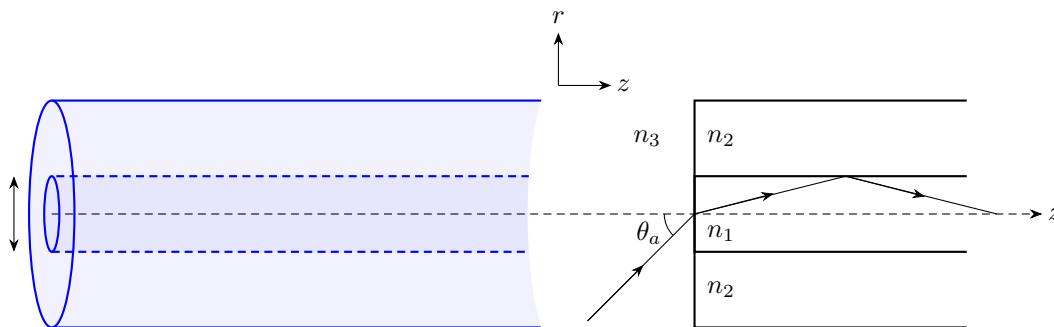


Рис. 4. Схематическое изображение оптоволокна

C1 Рассмотрим луч, распространяющийся в плоскости, содержащей ось оптоволокна. Обозначим за θ_a максимальный угол между входящим лучом и осью оптоволокна, при котором свет распространяется в сердцевине, не выходя из неё. Получите выражение для θ_a . Ответ выразите через n_1, n_2, n_3 . **2.0**

C2 Пусть рассмотренное оптоволокно согнули так, что радиус кривизны его оси равен 1.0 см. Диаметр сердцевины равен 50 мкм. Каким будет значение угла θ_a , при котором никакой из лучей не выйдет за пределы сердцевины? **2.6**

C3 Пусть показатель преломления сердцевины равен 1.45, показатель преломления оболочки равен 1.44. Вычислите значения углов θ_a для случаев **C1** и **C2**, когда оптоволокно находится в воздухе. **0.4**