§ 9. Преломление света

Направим в аквариум, наполненный водой, узкий пучок света. Если угол падения не слишком велик, то большая часть света пройдет в воду. Рассуждая, как и в случае с отражением, можно ожидать, что прошедший в воду луч остается лежать в плоскости падения (рис. 9.1).

Назовем острый угол φ_2, лежащий между прошедшим лучом и нормалью $\vec{N}$, проведенной к поверхности воды, углом преломления. Тщательные измерения показали, что между углом падения и углом преломления нет такой простой связи, как в случае с отражением.

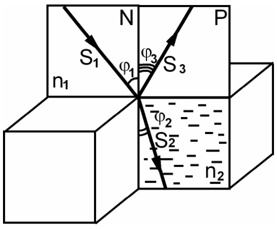

Рис. 9.1

Люди заметили это давно, но сам закон преломления света был открыт только в 1621 году голландским ученым Ван Снеллом (латинская транскрипция – Снеллиус). Впрочем, Снелл не опубликовал свое открытие, и закон преломления был повторно открыт в 1637 году знаменитым французским естествоиспытателем – Рене Декартом. Математическая формулировка закона Снелла такова:

$$\boxed{n_1 \sin\varphi_1 = n_2 \sin\varphi_2}. \qquad (9.1)$$

Здесь n_1 и n_2 – постоянные коэффициенты, характеризующие оптические свойства среды и не зависящие от угла падения. Называют эти коэффициенты показателями преломления среды.

Для разных сортов стекла n изменяется в пределах от 1,4 до 1,8, но наиболее типичное значение составляет приблизительно 1,5.

Поменяем в формуле (9.1) местами левую и правую части. Новая запись будет означать, что мы рассматриваем свет, распространяющийся из второй среды в первую. При этом оказывается, что ход оптических лучей обратим! Другими словами, если преломленный луч отразится строго в обратном направлении, то он пойдет тем же путем, что и луч падающий.

Задача 6. Незнайка с Гунькой решают следующую научную проблему: по известному углу падения φ_1 луча света требуется построить с помощью циркуля и линейки ход преломленного луча в среде с показателем преломления $n = 1{,}5$. Незнайка заявил, что для решения поставленной задачи ему необходимы калькулятор (чтобы делать вычисления) и транспортир (чтобы построить угол преломления).

Гунька сопел носом и никак не реагировал на Незнайкины возгласы. Прошло пять минут, и Гунька радостно воскликнул:

– Все! Сделал!

– Ну-ка, покажи, – угрюмо попросил Незнайка.

Гунька подвинул тетрадь и возбужденно начал объяснять (см. рис. 9.2).

– Прямая a – граница раздела двух сред. Сверху воздух, внизу – стекло. Возьмем на границе раздела двух сред точку O и из нее циркулем построим сверху полуокружность радиуса r_1. Затем увеличим расстояние между ножками циркуля в n раз (здесь n численно равно показателю преломления стекла) и снизу построим

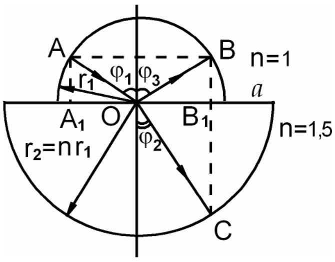

Рис. 9.2

вторую полуокружность радиуса $r_2 = r_1 n$. Теперь с помощью транспортира постро-им луч, падающий в точку O под углом φ_1.

Гунька на несколько секунд задумался и залпом выпалил:

– Теперьпостроим отраженный луч и из точки B, лежащей на пересечении полуокружности и отраженного луча, опустим на границу раздела сред перпендикуляр. Продолжим этот перпендикуляр до пересечения с нижней полуокружностью. Пусть это будет точка C. Проведем из точки O через точку C луч. Он и будет тем самым лучом, который требовалось построить в задаче!

– Не может быть! – Только и смог произнести Незнайка.

Докажите, что Гунька прав.

Решение. Опустим из точки A перпендикуляр AA_1 на прямую a. A_1O – проекция падающего луча AO. Ее длина равна $r_1 \sin\varphi_1$. OB_1 – проекция преломленного луча OC. Ее длина равна $r_1 \sin\varphi_2$. С другой стороны, OB_1 является проекцией отраженного луча OB. Поскольку угол падения φ_1 равен углу отражения φ_3, то треугольники OAA_1 и OBB_1 равны, следовательно, равны и отрезки A_1O и OB_1. Теперь, учитывая, что по построению $r_2 = nr_1$, мы можем записать: $A_1O = OB_1$ или $r_1 \sin\varphi_1 = nr_1 \sin\varphi_2$. После сокращение на общий множитель r_1 получаем выражение, в точности совпадающее с законом Снелла, что и доказывает правоту Гуньки.

