



УДК 535.015

© **В. И. Строганов**, Л. В. Алексеева, М. Н. Литвинова, В. А. Лебедев,  
И. А. Гаранькова, 2012

## НЕЗАВИСИМОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ СНОСА И ПРЕЛОМЛЕНИЯ НЕОБЫКНОВЕННЫХ ЛУЧЕЙ В АНИЗОТРОПНЫХ КРИСТАЛЛАХ

**Строганов В. И.** – д-р физ.-мат. наук, проф. кафедры «Физика»; **Алексеева Л. В.** – канд. физ.-мат. наук; **Литвинова М. Н.** – канд. физ.-мат. наук; **Лебедев В. А.** – асп.; **Гаранькова И. А.** – асп., e-mail: inna-alesha@yandex.ru (ДВГУПС)

В анизотропных кристаллах определенной конфигурации возможно наблюдать независимые друг от друга проявления сноса и преломления необыкновенных лучей. Данное обстоятельство позволяет изготовить призмы с необычными свойствами, в которых необыкновенный луч выходит из плоскости падения на значительное расстояние.

It is possible to observe the independent manifestation of shift and refraction of extraordinary rays in anisotropic crystals of a particular configuration. This fact allows one to design prisms with properties, in which the extraordinary ray emerges from the plane of incidence at a considerable distance.

*Ключевые слова:* плоскопараллельная пластинка, снос необыкновенного луча, анизотропные кристаллы, преломление необыкновенного луча.

В данной работе приведены особенности, возникающие при распространении наклонно падающих лучей через плоскопараллельную кристаллическую пластинку, изготовленную из одноосного кристалла. Свойства таких лучей достаточно хорошо известны, в особенности для случая, когда плоскость падения лучей и плоскость, в которой находится нормаль к пластинке и оптическая ось (плоскость оптической оси), совпадают. При нормальном падении лучей на пластинку необыкновенные лучи сносятся (отклоняются) на угол  $\gamma$  и выходят из пластинки параллельно обыкновенным лучам на расстоянии  $d = h \cdot \operatorname{tg} \gamma$  ( $h$  – толщина пластинки). Если же лучи падают наклонно, то помимо сноса лучей на угол  $\gamma$  необходим учет преломления (угол преломления  $\beta$ ) необыкновенных лучей. То есть угол  $\beta_1$  между нормалью к пластинке и вектором Умова-Пойтинга (в системе СГС)  $\vec{S} = [\vec{E} \times \vec{H}]$  для необыкновенного луча равен  $\beta_1 = \beta \pm \gamma$ . Знак перед  $\gamma$  зависит от направления оптической оси в пластинке [1–5].

Особенности в распространении необыкновенных лучей возникают, когда плоскость падения лучей на пластинку не совпадает с плоскостью оптической оси одноосного кристалла, то есть когда между этими плоскостями имеется угол  $\rho$ , который может меняться в пределах от  $0$  до  $90^\circ$ .

Сведения об этих особенностях упоминаются в монографиях, специальной литературе, но отсутствуют в учебной литературе. В связи с этим результаты, изложенные ниже, носят методический характер и будут полезны научным сотрудникам, конструкторам оптической аппаратуры, аспирантам и докторантам, изучающим оптику [1–6].

Таким образом, если световой луч падает на плоскопараллельную пластинку, изготовленную из оптически одноосного анизотропного кристалла под определенным углом, то на выходе из пластины наблюдается два луча, выходящие параллельно друг другу. Угол выхода этих лучей равен углу падения. При этом обыкновенный и необыкновенный лучи выходят в разных плоскостях. Расстояние  $l$  между плоскостями их выхода увеличивается с увеличением угла  $\rho$  ( $\rho$  – угол между плоскостью падения луча и плоскостью оптической оси), достигая максимального значения при  $\rho = 90^\circ$ . Возможен единственный угол  $\rho = 0^\circ$ , при котором плоскости выхода обоих лучей совпадают с плоскостью падения.

На рис. 1. приведен ход обыкновенного и необыкновенного лучей для плоскопараллельной пластинки, изготовленной из кристалла кальцита. Расчет выполнен для пластики толщиной 25 мм. Оптическая ось  $z-z$  находится под углом  $45^\circ$  к входной и выходной граням пластинки в плоскости 3, 4, 5, 6 (см. рис. 1 а). Луч света падает на пластинку под углом  $\alpha = 20^\circ$  относительно нормали  $N$  в плоскости 3, 7, 8, 6.

Плоскости падения, преломления и выхода (3, 7, 8, 6) для обыкновенного луча  $o$  находятся под углом  $\rho$  относительно плоскости оптической оси  $z-z$  (3, 4, 5, 6). Углы  $\rho$  могут принимать значения от  $\rho = 0^\circ$  (плоскость оптической оси) до  $\rho = 90^\circ$  (плоскость, перпендикулярная плоскости оптической оси).

Угол преломления обыкновенного луча  $o$  –  $12^\circ$ . Угол преломления необыкновенного луча  $e$  (без учета сноса) зависит от  $\rho$  и изменяется в пределах  $12,28^\circ$ – $12,68^\circ$ . Угол сноса в кристалле кальцита имеет величину порядка  $6^\circ$ .

В общем случае плоскость падения может находиться под любым углом  $\rho$  к плоскости, содержащей нормаль к пластинке и оптическую ось.

Если падающие лучи 9 лежат в плоскости оптической оси 3, 4, 5, 6 ( $\rho = 0^\circ$ ), то необыкновенный луч также находится в этой плоскости (см. рис. 1 б). То есть расстояние  $l$  между плоскостью выхода обыкновенного луча и плоскостью выхода необыкновенного луча равно нулю.

В общем случае, когда  $\rho > 0^\circ$ , плоскости выхода лучей из пластинки находятся на некотором расстоянии  $l$ , достигающем максимального значения при  $\rho = 90^\circ$  (см. рис. 2). При  $\rho = 90^\circ$  направления сноса и преломления взаимно ортогональны (см. рис. 1 г).

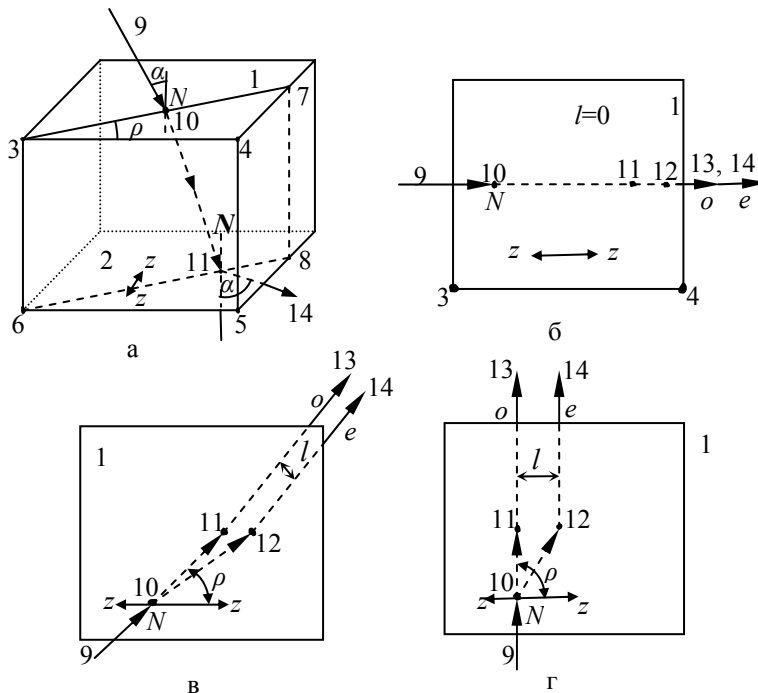


Рис. 1. Ход лучей в плоскопараллельной пластинке (а), изготовленной из одноосного кристалла кальцита, и схема выхода необыкновенного луча из плоскости падения (б, в, г – вид на пластинку сверху).

1, 2 – плоскости входа в пластинку и выхода из пластинки лучей соответственно.

3, 4, 5, 6 – боковая грань пластинки (плоскость оптической оси  $z-z$ ).

3, 7, 8, 6 – плоскость падения лучей, расположенная относительно плоскости оптических осей под углом  $\rho$ .

9 – падающий луч; 10 – точка входа луча в пластинку.

11, 12 – точка выхода из пластинки обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно.

13, 14 – обыкновенный и необыкновенный лучи.

$N$  – нормаль к входной грани пластинки;  $\alpha$  – угол падения и угол выхода лучей из пластинки;  $l$  – расстояние между плоскостью падения и плоскостью выхода необыкновенного луча. Значения  $\rho$ . градусы: б –  $0^\circ$ ; в –  $45^\circ$ ; г –  $90^\circ$

При определении угла сноса необыкновенного луча  $\gamma$  в кристаллической пластинке необходимо учитывать зависимость [1, 6] показателей преломления на выходе из кристаллической пластинки:

$$n_{ed}(\theta) = \frac{n_o n_e}{\sqrt{n_o^2 + (n_e^2 - n_o^2) \cos^2 \theta}}, \quad (1)$$

где:  $\theta$  – угол между волновым вектором и оптической осью кристалла,  $n_o$  – показатель преломления обыкновенного луча,  $n_e$  – показатель преломления необыкновенного луча.

$$\cos\theta = \cos\alpha \cos\rho \sin\beta_e + \sin\alpha \cos\rho, \quad (2)$$

где:  $\alpha$  – угол между входной поверхностью пластинки и оптической осью,  $\beta_e$  – угол преломления. В рассматриваемом случае  $\alpha = 45^\circ$ .

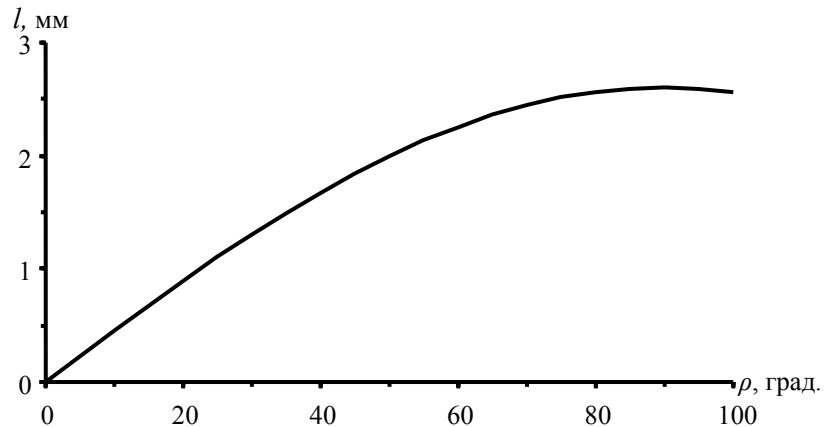


Рис. 2. Зависимость расстояния между плоскостями выхода обыкновенных и необыкновенных лучей от азимутального угла  $\rho$  для пластинки из кальцита толщиной 25 мм.

$\rho$  – угол между плоскостью падения и плоскостью оптической оси,  $l$  – расстояние между плоскостями выхода

Расстояние  $l$  между плоскостями выхода лучей пропорционально толщине пластинки, величине двупреломления и определяется углом между плоскостью падения и плоскостью оптической оси. Для пластинки из кальцита толщиной 25 мм максимальное значение  $l$  равно 2,63 мм.

Кроме того, только в одном частном случае ( $\rho = 0^\circ$ ) обыкновенный и необыкновенный лучи лежат в плоскости, совпадающей с плоскостью падения.

### Библиографические ссылки

1. Константинова А. Ф. Оптические свойства кристаллов / А. Ф. Константинова, Б. Н. Гречушников, Б. В. Бокуть, Е. Г. Валяшко. – Мн.: Навука і тэхніка, 1995.
2. Федоров Ф. И. Отражение и преломление света прозрачными кристаллами / Ф. И. Федоров, В. В. Филиппов. – Мн.: Наука и техника, 1976.
3. Кизель В. А. Отражение света / В. А. Кизель. – М.: Наука, 1973.
4. Мурый А. А., Строганов В. И. Отражение необыкновенных волн в кристаллах // ИВУЗ. Приборостроение. – 2005. – Т. 48. – № 5.
5. Творогов С. Д. // ИВУЗ. Физика. – 1998. – № 2.
6. Ахманов С. А., Никитин С. Ю. Физическая оптика. – М.: Изд-во Московского университета, 1998.