

4.7.1 – Двойное лучепреломление.

Цель работы. Изучение зависимости показателя преломления необыкновенной волны от направления в двоякопреломляющем кристалле; определение главных показателей преломления в кристалле.

В работе используются: гелий-неоновый лазер, вращающийся столик с неподвижным лимбом, призма из исландского шпата, поляроид.

Теоретическая часть. Двойное лучепреломление – явление, характерное для одноосных кристаллов, типичный пример неизотропной оптики. В неизотропной среде в общем случае векторы D и E неколлинеарны: $D = \varepsilon_{\parallel} E_{\parallel} + \varepsilon_{\perp} E_{\perp}$. Из уравнений Максвелла для гармонических волн получаем тогда

$$\mathbf{D} = -\frac{c}{\omega} \mathbf{k} \times \mathbf{H}, \quad \mathbf{H} = \frac{c}{\omega} \mathbf{k} \times \mathbf{E}.$$

Видим, что векторы \mathbf{D} , \mathbf{H} , \mathbf{k} взаимно перпендикулярны. Поскольку в анизотропной среде \mathbf{D} не коллинеарен \mathbf{E} , то получаем, что вектор Пойнтинга $\mathbf{S} = 4\pi/c \mathbf{E} \times \mathbf{H}$ (направление распространения энергии) не коллинеарен волновому вектору (распространение фронта волны)! Рассматривая полученный результат вместе с материальным уравнением, видим, что возможны лишь два случая – вектор \mathbf{D} перпенд. плоскости оптической оси кристалла и волнового вектора, либо же он лежит в главном сечении. В первом случае фазовая скорость не зависит от направления волнового вектора и равна $v = \omega/k = c/n_o$; такую волну называют *обыкновенной*, она ничем не отличается от плоской волны в изотропной среде. Во втором случае квадрат коэффициента преломления есть отношение вектора D и проекции E на его направление, потому

$$n_e = \frac{1}{\frac{\sin^2 \theta}{\varepsilon_{\parallel}} + \frac{\cos^2 \theta}{\varepsilon_{\perp}}},$$

где θ – угол между осью кристалла и \mathbf{E} . Соотв. фазовая скорость зависит от угла; такую волну называют *необыкновенной*. В общем случае всякая волна раскладывается в суперпозицию указанных типов волн.

В нашем опыте мы измеряем характеристики кристалла, используя призму.

Эксперимент. По полученным данным (см. таблицы в .ipynb) строим графики n_o и n_e от $\cos^2 \theta$ в Sigma Plot.

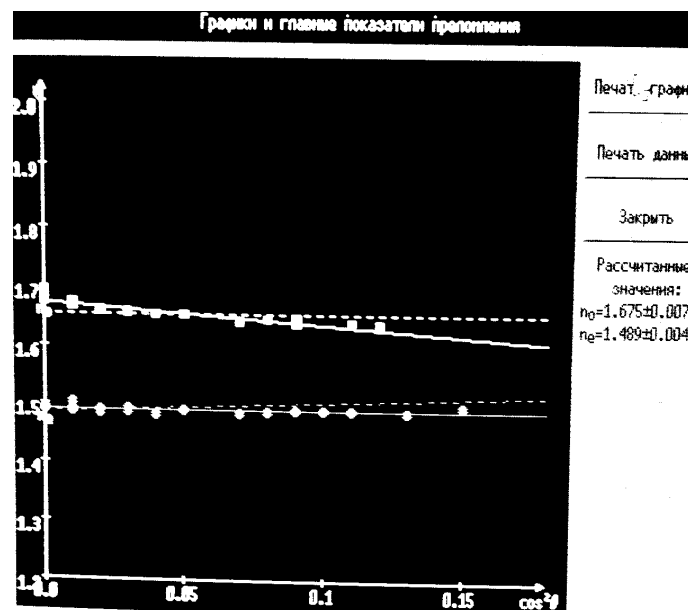


Рис. 1: Графики и главные показатели преломления.

φ_o	3.25	4	5.75	9.25	16	7.5	11.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	26.25	27.5	28.75	30	32.5	35	40	45	50	55
ψ_o	50	45	40	35	30	37	33	42	36.5	34.5	32	30.5	29.5	28.5	28	27	27	27	27	26.5	26.5	26.5	27	30	31	31.5
ψ_e	26	25.5	24.5	23	21	24.5	22	25	23.5	22.5	22	21.5	20.5	20.5	20	20	20	20	20	20	20	20.5	21	24.5	25.5	26
$\cos \theta_o$	0	0	0	0.01	0.03	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.11	0.12	0.15	0.17	0.20	0.24
$\cos \theta_e$	0	0	0	0.01	0.03	0.01	0.02	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.10	0.10	0.11	0.13	0.15	0.18	0.20	0.24	0.28
n_o	1.691	1.685	1.678	1.670	1.656	1.673	1.667	1.683	1.667	1.672	1.661	1.657	1.657	1.652	1.653	1.640	1.643	1.646	1.648	1.638	1.639	1.638	1.640	1.694	1.693	1.670
n_e	1.491	1.490	1.49	1.490	1.486	1.503	1.485	1.492	1.487	1.486	1.490	1.492	1.481	1.489	1.483	1.487	1.488	1.489	1.489	1.489	1.487	1.496	1.497	1.563	1.561	1.539

Из графиков получаем значения

$$n_o = 1.675 \pm 0.017,$$

$$n_e = 1.489 \pm 0.013,$$

что хорошо согласуется с табличными данными.

Рассчитаем средние значения углов наименьшего отклонения

$$\psi_{mo} = 26 \pm 1^\circ,$$

$$\psi_{me} = 21 \pm 1^\circ.$$

Расчёты показателей преломления с помощью универсальной зависимости дают

$$n_o = 1.67 \pm 0.03,$$

$$n_e = 1.5 \pm 0.04.$$

Углы падения, соответствующие полному внутреннему отражению:

$$\varphi_{1o} = 2.5 \pm 0.5^\circ,$$

$$\varphi_{1e} = 5.0 \pm 0.5^\circ.$$

Через углы наименьшего отклонения определяем

$$n_o = 1.65 \pm 0.07,$$

$$n_e = 1.48 \pm 0.06.$$

Вывод. Изучив явление двойного лучепреломления, мы измерили главные показатели преломления тремя различными способами и получили их взаимное согласие в пределах погрешностей.