ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Лабораторная работа 4.7.1 Двойное лучепреломление

Теория

Плоские волны в кристаллах

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$
 (1)

Если среды прозрачны и однородны то в них распорстраняются волны:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{i(\omega t - \vec{k}\vec{r})}, \vec{H} = \vec{H}_0 e^{i(\omega t - \vec{k}\vec{r})}$$

$$\tag{2}$$

Введем единичный вектор нормали к скорости распространения волны \vec{N} и направим его вдоль скорости, тогда

$$\vec{D} = -\frac{c}{v} \left[\vec{N}, \vec{H} \right], \vec{B} = \frac{c}{v} \left[\vec{N}, \vec{E} \right]$$
(3)

Оптические одноосные кристаллы

Введем тензор диэлектрической проницаемости ε ($\vec{D}=\varepsilon\vec{E}$). Все его значения описываются эллипсоидом инерции.

В кристаллах этот эллипсоид — эллипсоид вращения. В них оптическая ось — ось вращения эллипсоида. В них принято обозначать $\varepsilon_{\parallel} = \varepsilon_z, \varepsilon_{\perp} = \varepsilon_x = \varepsilon_y$

$$\vec{D}_{\parallel} = \varepsilon_{\parallel} \vec{E}_{\parallel}, \vec{D}_{\perp} = \varepsilon_{\perp} \vec{E}_{\perp} \tag{4}$$

Можно показать, что угол θ между волновой нормалью и осью вращения эллипсоида при разделении \vec{D} на \vec{D}_e — лежащая в главном сечении и \vec{D}_o — нормальная составляющая такой, что

$$\sin \theta = \frac{D_{e\parallel}}{D_e}, \cos \theta = \frac{D_{e\perp}}{D_e} \tag{5}$$

$$n = \frac{1}{\sin A} \sqrt{\sin^2 \phi_1 + \sin^2 \phi_2 + 2\sin \phi_1 \sin \phi_2 \cos A}$$
 (6)

Из этого, если $n_o-n_e\ll n_o$ и n_e , то

$$n(\theta) \approx n_e + (n_o - n_e)\cos^2\theta \tag{7}$$

Двойное лучепреломление в призме исландского шпата

При таком ходе луча и расположении призмы у нас повторяется ситуация из предыдущего параграфа теории. Тогда, можно посчитать показатель преломления изотропной среды по формуле

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\psi_m + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} \tag{8}$$

Здесь ψ_m — минимальный угол, на который призма преломляет луч. Если призма неизотропна, то этой формулой, строго говоря, можно воспользоваться только для обыкновенной волны, которая, как это было показано ранее, распространяется так же, как и в изотропной среде.

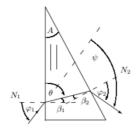


Рис. 1: Ход луча в призме

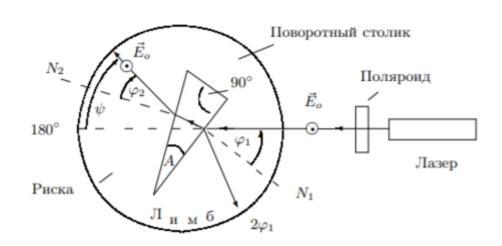


Рис. 2: Экспериментальная установка

Экспериментальная установка

$$\phi_2 = A + \psi - \phi_1 \tag{9}$$

Длина волны источника (Na-Ne): $\lambda_{Na-Ne} = 0.63$ мкм.

Ход работы

- 1. Отъюстируем систему, то есть сделаем так, что луч проходит через 0 и 180.
- 2. Определим угол A, для этого добьемся, чтобы отраженный луч шел ровно назад для меньшего катета (θ_1) и гипотенузы (θ_2) . По формуле

$$A = 180^{\circ} - (\theta_1 - \theta_2)$$

Найдем А

$$\theta_1 = (297 \pm 2)^{\circ}$$

$$\theta_2 = (154 \pm 2)^{\circ}$$

$$A = (37 \pm 2)^{\circ}$$

- 3. Определим разрешенное направление поляризатора. Для этого направив его на видимый свет, установим его в положение наименьшего пропускания.
- 4. Получаем изображение на лимбе как на рис. 5.
- 5. Вращая столик, снимем зависимость углов отклонения волн от угла падения, запишем данные в таблицу 1.
- 6. Далее с помощью программы рассчитаем все данные, необходимые для работы и построим график.

δ_{n_e}	n_e	δ_{n_o}	n_o	$\delta_{\cos^2 heta_e}$	$\cos^2 \theta_e$	$\delta_{\cos^2 heta_o}$	$\cos^2 \theta_o$	$\delta_{ heta_e}$, $^{\circ}$	$ heta_e,^\circ$	$\delta_{ heta_o},^{\circ}$	$\theta_o,^\circ$	$\delta_{\phi_{2e}},^{\circ}$	$\phi_{2e},^{\circ}$	$\mid \delta_{\phi_{2o}}, ^{\circ}$	$\phi_{2o},^{\circ}$	$\delta_{\psi_e},^\circ$	$\psi_e,^\circ$	$\mid ~\delta_{\psi_o}, ^\circ$	$\psi_0,^\circ$	$\delta_{\phi_1}, ^\circ$	$\phi_1,^\circ$
0,10	1,48	0,11	1,65	0,0009	0,0139	0,0007	0,0111	6	83	6	84	6	48	6	58	2	21	2	31	2	10
0,09	1,50	0,10	1,67	0,0016	0,0298	0,0014	0,0239	4	80	57	81	6	43	6	52	2	21	2	30	2	15
0,08	1,49	0,09	1,66	0,003	0,052	0,002	0,042	4	77	4	78	6	37	6	45	2	20	2	28	2	20
0,08	1,50	0,09	1,66	0,004	0,079	0,004	0,065	4	74	4	75	6	32	6	39	2	20	2	27	2	25
0,08	1,50	0,09	1,65	0,006	0,111	0,005	0,092	4	71	4	72	6	27	6	33	2	20	2	26	2	30
0,08	1,50	0,09	1,65	0,008	0,147	0,007	0,122	4	67	4	70	6	22	6	28	2	20	2	26	2	35
0,08	1,51	0,09	$1,\!66$	0,010	0,181	0,008	$0,\!150$	4	65	4	67	6	18	6	24	2	21	2	27	2	40
0,08	1,52	0,09	$1,\!64$	0,012	0,218	0,010	0,186	బ	62	3	64	6	14	6	19	2	22	2	27	2	45
0,08	1,51	0,09	1,66	0,014	$0,\!256$	0,011	0,212	బ	60	3	63	6	10	6	16	2	23	2	29	2	50
0,08	1,53	0,09	1,65	0,016	0,287	0,013	0,246	သ	58	3	60	6	7	6	12	2	25	2	30	2	55
0,08	1,53	0,09	1,65	0,017	0,319	0,015	0,274	ယ	56	3	58	6	4	6	9	2	27	2	32	2	60
0,08	1,53	0,09	1,65	0,019	0,351	0,016	0,302	သ	54	3	57	6	<u> </u>	6	6	2	29	2	34	2	65
0,08	1,54	0,09	1,66	0,02	0,37	0,017	0,322	သ	52	3	55	6	-1	6	4	2	32	2	37	2	70

Таблица 1: Измеренные и все полученные данные в ходе эксперимента

7. Из графика мы получаем, что главные значения показателей преломления

$$n_o = 1,66 \pm 0,11$$

$$n_e = 1.49 \pm 0.09$$

8. Теперь из серии измерений мы получаем, что

$$\psi_{mo} = (26 \pm 1.5)^{\circ}$$

$$\psi_{me} = (20 \pm 1.5)^{\circ}$$

Отсюда, из формулы (8) получаем, что

$$n_o = 1.65 \pm 0.09$$

$$n_e = 1.50 \pm 0.09$$

9. Определим углы, соответствующие полному внутреннему отражению

$$\phi_{1o} = (-0.5 \pm 1)^{\circ}$$

$$\phi_{1e} = (-7.5 \pm 1)^{\circ}$$

Из этого, принимая, так как полное внтуреннее отражение, $\phi_2=90^\circ$ из формулы (6) получаем, что

$$n_o = 1.6 \pm 0.2$$

$$n_e = 1.5 \pm 0.2$$

Вывод

В итоге, мы подтвердили, что показатели преломления соответствующих волн соответствуют уже известным. Так же мы установили, что самый точный метод расчета показателей преломления — по наклону графика n от $\cos^2 \theta$.