



دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده مهندسی برق

آزمایشگاه اپتیک

(دانشکده فیزیک، طبقه 1، آزمایشگاه اپتیک و لیزر)

آزمایش 9: اندازه گیری ضریب شکست اجسام

نویسنده: ملیکا رجبی - 99101608

تاریخ انجام آزمایش: 1403.2.19

در این آزمایش قصد داریم با استفاده از سه روش مختلف شامل اندازه‌گیری عمق ظاهری و حقیقی یک تیغه‌ی متوازی‌السطوح پلاستیکی، اندازه‌گیری زاویه‌ی شکست نور بعد از عبور از نیم‌قرص پلاستیکی، و اندازه‌گیری زاویه‌ی بازتاب کلی، ضریب شکست را به‌دست بیاوریم. در هر بخش از رابطه‌ی ضریب شکست با پارامتر اندازه‌گیری شده استفاده خواهیم کرد. همچنین در قسمت آخر، با اندازه‌گیری زاویه‌ی تابش و شکست پرتوی لیزر از ظرفی که یک طرف آن آب و طرف دیگر آن روغن است، ضریب شکست نسبی این دو ماده را به‌دست می‌آوریم.

وسایل مورد نیاز برای آزمایش: میکروسکوپ ورنیه‌دار، لیزر هلیوم نئون، سطح چرخان مدرج، تیغه متوازی‌السطوح پلاستیکی، نیم قرص پلاستیکی، عدسی مرکب، ریل اپتیکی

۱ اندازه‌گیری ضریب شکست اجسام با استفاده از عمق ظاهری

در این قسمت، ابتدا پیچ میکروسکوپ را طوری تنظیم می‌کنیم که علامت روی کاغذ قرار داده شده در زیر چشمی میکروسکوپ به صورت واضح دیده شود. سپس عدد نشان داده شده توسط نمایشگر را می‌خوانیم و آن را S_1 می‌نامیم. حالا تیغه‌ی متوازی‌السطوح پلاستیکی را در زیر چشمی و روی کاغذ علامت زده شده قرار می‌دهیم. سپس پیچ میکروسکوپ را طوری تنظیم می‌کنیم که علامت روی کاغذ را با وجود تیغه به صورت واضح مشاهده کنیم. عدد نمایشگر را خوانده و آن را S_2 می‌نامیم. در ادامه دوباره پیچ میکروسکوپ را طوری تنظیم می‌کنیم که علامت روی خود تیغه را به صورت واضح مشاهده کنیم. عدد نمایشگر را در این حالت

S_3 می‌نامیم.

حالا با استفاده از رابطه‌ی زیر ضریب شکست را به دست می‌آوریم:

$$n = \frac{\text{عمق حقیقی}}{\text{عمق ظاهری}} = \frac{S_3 - S_1}{S_3 - S_2} \quad (۹-۱)$$

نتایج به صورت زیر شد:

جدول ۹-۱: اندازه‌گیری ضریب شکست با استفاده از عمق ظاهری

دفعات	S_1 (mm)	S_2 (mm)	S_3 (mm)	$S_3 - S_2$ (mm)	$S_3 - S_1$ (mm)	n
1	3.41	-3.81	-14.97	-11.16	-18.38	1.65
2	3.39	-3.49	-16.34	-12.85	-19.73	1.5
3	2.58	-3.01	-16.27	-13.26	-18.85	1.4
میانگین	3.13	-3.44	-15.86	-12.42	-18.99	1.52

محاسبه‌ی خطا:

$$\Delta S_1 = \Delta S_2 = \Delta S_3 = 1mm \quad (۹-۲)$$

$$\delta n = \sqrt{\left(\frac{-\Delta S_1}{S_3 - S_2}\right)^2 + \left(\frac{S_3 - S_2}{(S_3 - S_2)^2} \Delta S_2\right)^2 + \left(\frac{S_1 - S_2}{(S_3 - S_2)^2} \Delta S_3\right)^2} \quad (۹-۳)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{12.42}\right)^2 + \left(\frac{-1}{12.42}\right)^2 + \left(\frac{6.5}{(12.42)^2}\right)^2} \approx 0.12 \quad (۹-۴)$$

این خطا می‌تواند به دلیل خطای چشم در تشخیص نقطه‌ی مناسب و خطای میکروسکوپ در اندازه‌گیری باشد. برای افزایش دقت می‌توان از روش‌های

دیگری به جز تشخیص چشمی برای پیدا کردن نقطه‌ی واضح شدن علامت‌ها استفاده کرد. همچنین هرچه دقت میکروسکوپ مورد استفاده بیشتر باشد دقت انجام آزمایش هم بیشتر می‌شود.

۲ اندازه‌گیری ضریب شکست جسم شفاف توسط شکست نور

در این قسمت لیزر هلیوم نئون را روشن کرده و روبروی سطح چرخان مدرج قرار می‌دهیم. نیم‌قرص شفاف را روی سطح قرار می‌دهیم به طوری که سطح صاف روبروی لیزر باشد و مرکز سطح چرخان روی سطح صاف آن قرار گیرد. سپس سطح چرخان را طوری تنظیم می‌کنیم که زاویه‌ی تابش برابر با 0 درجه باشد. در این حالت زاویه‌ی شکست باید روی 180 درجه باشد. در غیر این صورت می‌توان با بالا و پایین بردن نیم‌قرص (به طوری که تنظیمات قبلی تغییر نکند) این تنظیم را انجام داد.

حالا سطح چرخان را به تدریج می‌چرخانیم و برای زاویه‌های تابش متفاوت، زاویه‌ی شکست را اندازه گرفته و یادداشت می‌کنیم. با استفاده از این زوایا می‌توان ضریب شکست نیم‌قرص را با کمک رابطه‌ی زیر به دست آورد:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} \quad (۵-۹)$$

توجه شود که i زاویه‌ی تابش و r زاویه‌ی شکست است.

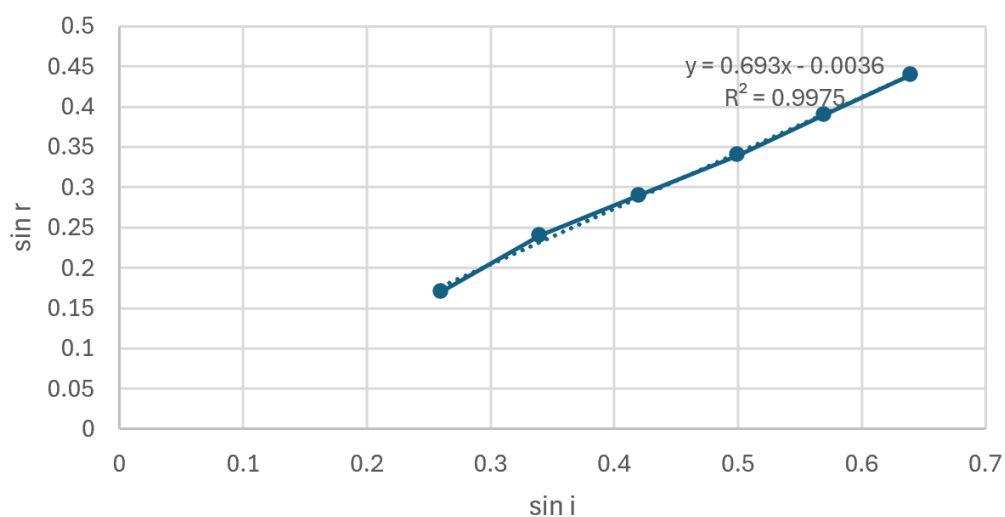
نتایج به صورت زیر شد:

جدول ۹-۲: اندازه‌گیری ضریب شکست توسط نور

$i (^{\circ})$	$r (^{\circ})$	$\sin i$	$\sin r$	n
15	10	0.26	0.17	1.53
20	14	0.34	0.24	1.42
25	17	0.42	0.29	1.45
30	20	0.5	0.34	1.47
35	23	0.57	0.39	1.46
40	26	0.64	0.44	1.45
میانگین				1.46

نمودار $\sin r$ بر حسب $\sin i$ به صورت زیر است:

نمودار سینوس زاویه‌ی شکست بر حسب سینوس زاویه‌ی تابش



شکل ۹-۱: نمودار سینوس زاویه‌ی شکست بر حسب سینوس زاویه‌ی تابش

همانطور که مشاهده می‌کنیم، شیب این خط تقریباً برابر با 0.693 است. معکوس این عدد تقریباً برابر با 1.443 است که اختلاف بسیار کمی با ضریب شکست به‌دست آمده در آزمایش دارد.

محاسبه‌ی خطا:

$$\Delta i = \Delta r = 0.5^\circ \quad (۹-۶)$$

$$\left(\frac{\Delta n}{n}\right)^2 = \left(\frac{\sin(i + \Delta i) - \sin i}{\sin i}\right)^2 + \left(\frac{\sin(r + \Delta r) - \sin r}{\sin r}\right)^2 \quad (۹-۷)$$

$$\left(\frac{\Delta n}{1.46}\right)^2 = \left(\frac{\sin(35.5) - \sin 35}{\sin 35}\right)^2 + \left(\frac{\sin(23.5) - \sin 23}{\sin 23}\right)^2 \quad (۹-۸)$$

$$\Delta n = 1.46 \times \sqrt{\left(\frac{0.58 - 0.57}{0.57}\right)^2 + \left(\frac{0.4 - 0.39}{0.39}\right)^2} \quad (۹-۹)$$

$$\Delta n = 1.46 \times \sqrt{\left(\frac{0.58 - 0.57}{0.57}\right)^2 + \left(\frac{0.4 - 0.39}{0.39}\right)^2} \approx 0.045 \quad (۹-۱۰)$$

$$\rightarrow n \in [1.415, 1.505] \quad (۹-۱۱)$$

$$\rightarrow \frac{\Delta n}{n} \times 100 \approx 3.08\% \quad (۹-۱۲)$$

این خطا می‌تواند به علت خطای چشم در خواندن زوایا هنگام آزمایش و یا تنظیم اولیه دستگاه باشد. همچنین تکفام و موازی نبودن پرتوی لیزر و تقریب‌های محاسباتی هم می‌توانند عاملی دیگر برای خطای به‌دست آمده باشند. برای کاهش این خطا باید تنظیم اولیه و خواندن زوایا با روشی دقیق‌تر از تشخیص با چشم انجام شود.

۳ اندازه گیری ضریب شکست جسم شفاف توسط بازتاب کلی نور

در این قسمت، بدون اینکه تنظیمات قبلی را تغییر دهیم، سطح چرخان را 180 درجه می چرخانیم تا سطح محدب نیم قرص مقابل لیزر قرار گیرد. در قسمت قبلی، پرتوی نور با زاویه های متفاوت وارد نیم قرص شده و درون نیم قرص دچار شکست می شد. سپس با همان زاویه از نیم قرص خارج می شد چرا که سطح دیگر نیم قرص به صورت کمانی از دایره بود. در این قسمت از آزمایش می خواهیم پرتو بدون شکست وارد نیم قرص شود و در ادامه هنگام خارج شدن دچار شکست شود. به همین دلیل باید سطحی که کمانی از دایره است در مقابل لیزر و سطح صاف در سمت مخالف باشد.

حالا سطح چرخان را آنقدر می چرخانیم تا به زاویه ای برسیم که زاویه ی شکست حدودا 90 درجه است. در این حالت اگر کمی زاویه ی تابش را بیشتر کنیم، پدیده ی بازتاب کلی رخ خواهد داد. این زاویه را یادداشت می کنیم و با استفاده از رابطه ی زیر ضریب شکست را به دست می آوریم:

$$n = \frac{1}{\sin i_c} \quad (9-13)$$

نتایج به صورت زیر شد:

جدول ۹-۳: اندازه‌گیری ضریب شکست توسط بازتاب کلی

دفعات	$i_c (^{\circ})$	$\sin i_c$	n
1	42	0.67	1.49
2	41	0.66	1.52
3	42	0.67	1.49
میانگین	41.7	0.67	1.5

محاسبه‌ی خطا:

$$\delta i_c = 0.5^{\circ} \quad (۹-۱۴)$$

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{\sin(i_c + \delta i_c) - \sin i_c}{\sin i_c} \quad (۹-۱۵)$$

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{\sin 42.2 - \sin 41.7}{\sin 41.7} \approx 0.0098 \quad (۹-۱۶)$$

$$\rightarrow \frac{\Delta n}{n} \times 100 \approx 0.98\% \quad (۹-۱۷)$$

$$\rightarrow n \in [1.4902, 1.5098] \quad (۹-۱۸)$$

۴ اندازه‌گیری ضریب شکست نسبی

در این قسمت به جای نیم‌قرص شفاف، ظرفی را روی سطح چرخان قرار می‌دهیم که در سمتی از آن آب و در سمت دیگر روغن وجود دارد. ظرف را از سمتی که حاوی آب هست روبروی لیزر قرار داده و محور جدا کننده‌ی آب و روغن را روی مرکز سطح چرخان قرار می‌دهیم. سپس همانند قسمت دوم، زاویه‌ی تابش را روی 0 درجه و زاویه‌ی شکست را روی 180 درجه تنظیم می‌کنیم. حالا با چرخاندن سطح چرخان، به ازای هر زاویه‌ی تابش، زاویه‌ی شکست را اندازه گرفته و یادداشت می‌کنیم. سپس با استفاده از رابطه‌ی زیر ضریب شکست آب نسبت به روغن را محاسبه می‌کنیم:

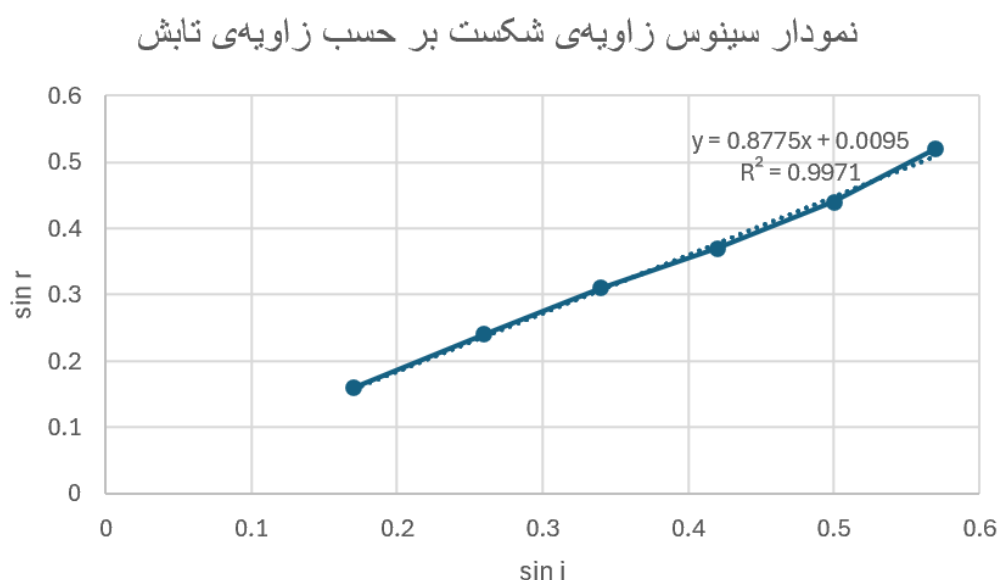
$$\frac{n_w}{n_o} = \frac{\sin r}{\sin i} \quad (۹-۱۹)$$

نتایج به صورت زیر شد:

جدول ۹-۴: اندازه‌گیری ضریب شکست نسبی

i (°)	sini	r (°)	sin r	$n_r = n_w/n_o$
10	0.17	9	0.16	0.94
15	0.26	14	0.24	0.92
20	0.34	18	0.31	0.91
25	0.42	22	0.37	0.88
30	0.5	26	0.44	0.88
35	0.57	31	0.52	0.91
میانگین				0.91

نمودار $\sin r$ بر حسب $\sin i$ به صورت زیر است:



شکل ۹-۲: نمودار سینوس زاویه‌ی شکست بر حسب سینوس زاویه‌ی تابش

همانطور که مشاهده می‌شود، شیب این نمودار همان ضریب شکست نسبی دو محیط و برابر با ۰.۸۷۷۵ است که به عدد به‌دست آمده از آزمایش بسیار نزدیک است.

محاسبه‌ی خطا:

$$\delta i = \delta r = 0.5^\circ = \frac{\pi}{180} 0.5 \text{ rad} \quad (۹-۲۰)$$

$$\delta n = \sqrt{\left(\frac{-\sin r \cos i}{\sin^2 i} \delta i\right)^2 + \left(\frac{\cos r}{\sin i} \delta r\right)^2} \quad (۹-۲۱)$$

$$\delta n = \sqrt{\left(\frac{-\sin 18 \cos 20}{\sin^2 20} \delta i\right)^2 + \left(\frac{\cos 18}{\sin 20} \delta r\right)^2} \quad (9-22)$$

$$\delta n = \frac{\pi}{180} \times \sqrt{\left(\frac{-0.31 \times 0.94}{0.12} \times 0.5\right)^2 + \left(\frac{0.95}{0.34} \times 0.5\right)^2} \approx 0.032 \quad (9-23)$$

این خطا می‌تواند به علت تکفام و موازی نبودن پرتوی لیزر، خطای چشم در خواندن زوایا و تنظیم اولیه، تراز نبودن سطح چرخان در طول آزمایش و دایروی نبودن ظرف باشد. برای کاهش آن می‌توان از ابزار دقیق برای انجام آزمایش و همچنین تشخیص زوایا استفاده کرد.

۵ نتیجه‌گیری

در این آزمایش با سه روش به‌دست آوردن ضریب شکست و روابط مربوط به آن‌ها آشنا شدیم. همچنین میزان خطای هر روش و منشا خطا در هر کدام را بررسی کردیم. در ادامه ضریب شکست نسبی دو ماده را با استفاده از یکی از این روش‌ها اندازه گرفتیم و با رسم نمودار هم صحت آن را بررسی کردیم.