

اندازه‌گیری ضریب شکست اجسام

پارسا رنگریز
۹۷۱۱۰۳۱۴

آزمایشگاه اپتیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف

۹ آذر ۱۴۰۰

۱ مقدمه

ضریب شکست اجسام، یکی از کلیدی‌ترین مشخصات یک جسم است که رفتار نور را به هنگام عبور از مرز مشخص می‌کند. در این آزمایش هدف ما این است که ضریب شکست اجسام مختلف را بدست آوریم. برای این کار سه روش داریم

۱. استفاده از میکروسکوپ و یافتن عمق ظاهری و عمق حقیقی، در حضور و عدم حضور تیغه شفاف
۲. قرار دادن جسم در هوا و تاباندن یک پرتو نور و محاسبه زاویه شکست و تابش و استفاده از رابطه اسنل- دکارت
۳. استفاده از زاویه حدی که در پدیده بازتاب کلی رخ می‌دهد

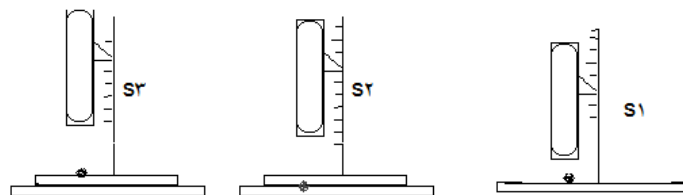
۲ وسایل آزمایش

میکروسکوپ ورنیه‌دار، لیزر هلیوم نئون، سطح چرخان مدرج، تیغه متوازی‌السطوح پلاستیکی، نیم قرص پلاستیکی، عدسی مرکب، ریل اپتیکی، چراغ رومیزی

۳ روش آزمایش

۱.۳ آزمایش اول: اندازه‌گیری ضریب شکست اجسام با استفاده از عمق ظاهری

در ابتدای آزمایش پیچ میکروسکوپ را طوری تنظیم کنید که تصویر واضحی از ذراتی که روی صفحه سیاه رنگ میکروسکوپ وجود دارند بدست آورید (S_1). اکنون تیغه متوازی‌السطوح پلاستیکی را که در دو طرف آن علامت‌هایی نشان داده شده است، بر روی صفحه سیاه رنگ میکروسکوپ قرار دهید. ارتفاع میکروسکوپ را تغییر داده و با چرخاندن پیچ میکروسکوپ تصویر روشنی از سطح پایینی تیغه بدست آورده و ارتفاع نقطه S_2 را یادداشت کنید. دوباره با ازدیاد ارتفاع میکروسکوپ و تنظیم دقیق آن توسط پیچ، تصویر روشنی از سطح بالایی تیغه پلاستیکی بدست آورید و ارتفاع S_3 را یادداشت کنید. این آزمایش را حداقل سه بار تکرار کرده و اعداد مربوطه را در جدول یادداشت نمایید. ضریب شکست تیغه متوازی‌السطوح را از رابطه



شکل ۱: شمایی از آزمایش اول

$$n = \frac{S_3 - S_1}{S_3 - S_2} \quad (1)$$

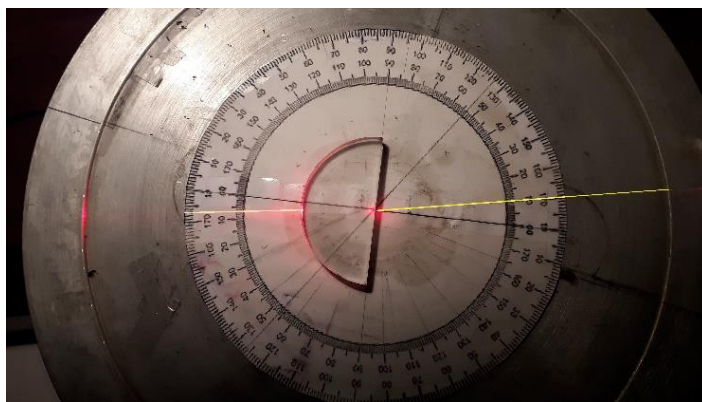
بدست آورده و مقدار آن را در جدول یادداشت کنید. از روی جدول ضریب شکست میانگین را حساب کنید.

۲.۳ آزمایش دوم: اندازه‌گیری ضریب شکست جسم شفاف توسط شکست نور

ابتدا ارتفاع سطح چرخان را برای نور لیزر میزان کرده و آن را تراز نمایید. جهت نور را طوری تنظیم کنید که سطح انتشار نور موازی سطح چرخان بوده و در امتداد دو نقطه مدرج صفر و ۱۸۰ درجه روی سطح چرخان عبور کند. دو محور عمود بر هم روی سطح چرخان وجود دارد که اگر نور بطور دقیق تنظیم شده باشد بایستی جهت امتداد نور لیزر موازی یکی از این محورها و بر دیگری عمود باشد. تنظیم اولیه جهت نور لیزر در اندازه‌گیری‌های بعدی بسیار مهم است و بایستی بدقت انجام گیرد. سپس سطح تخت نیم قرص پلاستیکی را بر یکی از محورهای سطح چرخان مماس کرده بطوری که مرکز آن بر مرکز سطح چرخان قرار داشته باشد و نور لیزر به این سطح بتابد و از آن شکسته شود. با چرخش سطح چرخان برای زاویه‌های تابش متفاوت زاویه‌های تابش متفاوت زاویه‌های شکست مربوط به آنها را از روی سطح چرخان بخوانید. اگر زاویه تابش i و زاویه شکست r باشد، ضریب شکست جسم شفاف را از رابطه

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} \quad (۲)$$

بدست آورده و نتایج را در جدول بنویسید.



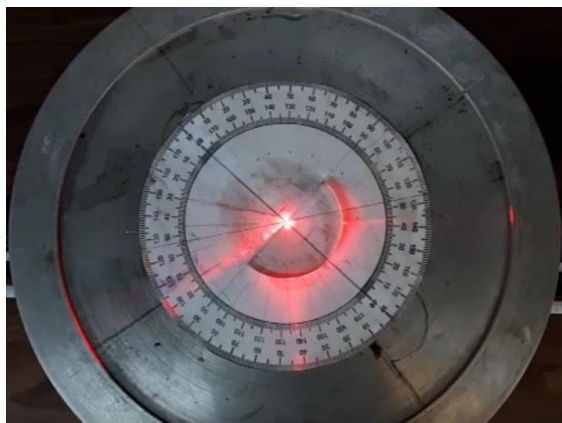
شکل ۲: سطح چرخان

۳.۳ آزمایش سوم: اندازه‌گیری ضریب شکست جسم شفاف توسط بازتاب کلی نور

بدون اینکه در تنظیم سطح چرخان و لیزر از آزمایش دوم تغییری ایجاد کنید، صفحه چرخان را ۱۸۰ درجه بچرخانید تا قسمت محدب نیم قرص مقابل لیزر قرار گیرد. زاویه بازتاب کلی را برای نیم قرص پلاستیکی پیدا نموده و ضریب شکست جسم را با استفاده از رابطه زیر بدست آورید

$$n = \frac{1}{\sin i_c} \quad (۳)$$

این آزمایش را حداقل سه بار تکرار کرده و نتایج را در جدول یادداشت کنید. از روی اعداد این جدول مقدار میانگین ضریب شکست را بدست آورید.



شکل ۳: سطح چرخان

۴.۳ آزمایش چهارم: اندازه‌گیری ضریب شکست نسبی

عدسی مرکب را در محل آن طوری قرار دهید که نور لیزر کاملاً بر دو سطح آن عمود باشد. توجه داشته باشید که نور لیزر محوری باشد. نور لیزر ابتدا وارد محیطی مانند آب شده و سپس در محیط دیگری که روغن است شکسته می‌شود. با اندازه‌گیری زاویه تابش i و زاویه شکست r می‌توان نسبت ضریب شکست دو محیط را طبق رابطه زیر بدست آورد

$$n_w \sin i = n_p \sin r, \quad n = \frac{n_w}{n_p} = \frac{\sin r}{\sin i} \quad (۴)$$

این آزمایش را حداقل سه بار تکرار کرده و در جدول یادداشت کنید.



شکل ۴: سطح چرخان

۴ جدول داده‌ها

جدول ۱: اندازه‌گیری ضریب شکست با استفاده از عمق ظاهری

N	$S_1(mm)$	$S_2(mm)$	$S_3(mm)$	$S_3 - S_2(mm)$	$S_3 - S_1(mm)$	n	Δn
1	-0.51	-8.69	-20.04	11.35	19.53	1.720	0.0006
2	-0.51	-7.48	-20.83	13.35	20.32	1.522	0.0006
3	-0.66	-7.12	-20.24	13.12	19.58	1.492	0.0006

جدول ۲: اندازه‌گیری ضریب شکست توسط نور

$i(^{\circ})$	$r(^{\circ})$	$\sin i$	$\sin r$	n	Δn
10	7	0.17 ± 0.02	0.12 ± 0.02	1.4	0.2
20	13	0.34 ± 0.02	0.22 ± 0.02	1.5	0.1
30	20	0.50 ± 0.01	0.34 ± 0.02	1.46	0.08
40	26	0.64 ± 0.01	0.44 ± 0.02	1.49	0.06
50	31	0.77 ± 0.01	0.52 ± 0.02	1.49	0.05
60	35	0.866 ± 0.008	0.57 ± 0.01	1.51	0.04

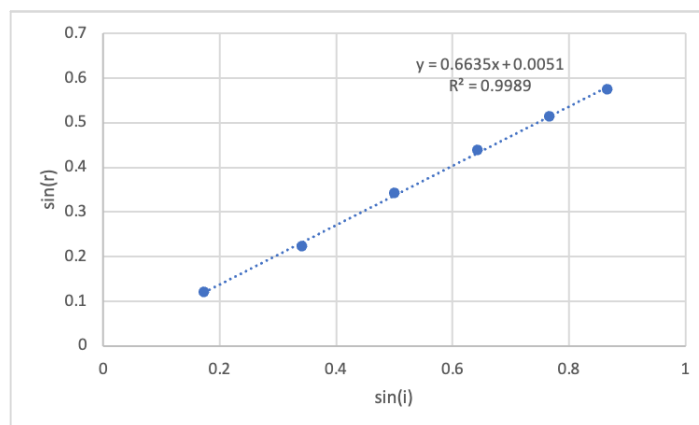
جدول ۳: اندازه‌گیری ضریب شکست توسط بازتاب کلی

N	$i_c(^{\circ})$	$\sin i_c$	n	Δn
1	43	0.68 ± 0.01	1.47	0.03
2	43	0.68 ± 0.01	1.47	0.03
3	44	0.70 ± 0.01	1.44	0.03

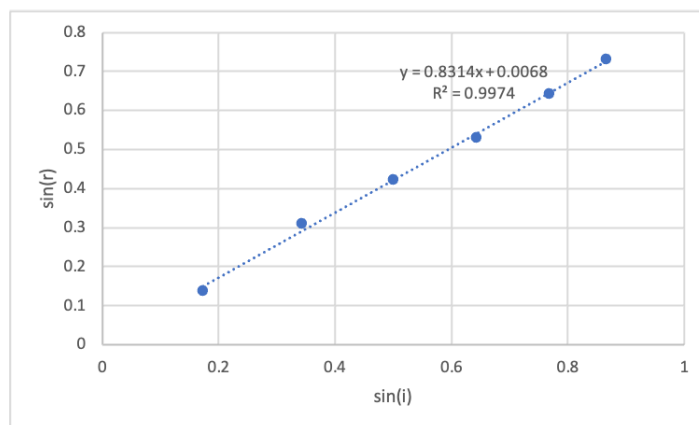
جدول ۴: اندازه‌گیری ضریب شکست نسبی

$i(^{\circ})$	$r(^{\circ})$	$\sin i$	$\sin r$	n	Δn
10	8	0.17 ± 0.02	0.14 ± 0.02	0.8	0.1
20	18	0.34 ± 0.02	0.31 ± 0.02	0.90	0.07
30	25	0.50 ± 0.01	0.42 ± 0.02	0.85	0.04
40	32	0.64 ± 0.01	0.53 ± 0.02	0.82	0.03
50	40	0.77 ± 0.01	0.64 ± 0.01	0.84	0.02
60	47	0.866 ± 0.008	0.73 ± 0.01	0.84	0.02

۵ نمودار داده‌ها



شکل ۵: نمودار سینوس زاویه شکست بر حسب سینوس زاویه تابش در نمونه عدسی مرکب



شکل ۶: نمودار سینوس زاویه شکست بر حسب سینوس زاویه تابش در نمونه نیم قرص پلاستیکی

۶ خطا

۱.۶ آزمایش اول

خطای اندازه‌گیری میکروسکوپ برابر با 0.01 میلی‌متر است، پس

$$\Delta S_1 = \Delta S_2 = \Delta S_3 = 0.01mm \quad (۵)$$

و بنابراین خطای مد نظر می‌شود:

$$\Delta(S_3 - S_2) = \sqrt{\Delta S_3^2 + \Delta S_2^2} = 0.01mm \quad (۶)$$

به طور مشابه برای خطای عمق حقیقی نیز می توان نوشت:

$$\Delta(S_3 - S_1) = \sqrt{\Delta S_3^2 + \Delta S_1^2} = 0.01mm \quad (7)$$

در نهایت

$$n = \frac{S_3 - S_1}{S_3 - S_2} \Rightarrow \Delta n = \sqrt{\left(\frac{\Delta(S_3 - S_1)}{S_3 - S_2}\right)^2 + \left(\frac{(S_3 - S_1)\Delta(S_3 - S_2)}{(S_3 - S_2)^2}\right)^2} = 0.1 \quad (8)$$

از عوامل خطا می توان به زیر اشاره کرد:

۱. کالیبره نبودن سنجه میکروسکوپ
۲. عدم دقت آزمایشگر برای تنظیم تطابق نقطه روی صفحه
۳. شفاف نبودن کامل تیغه متوازی السطوح و خراش و شکستگی موجود در آن

۲.۶ آزمایش دوم

برای محاسبه خطای خط برازش در نمودارها می توان نوشت:

$$\Delta b = b\sqrt{\frac{1}{n-2}\left(\frac{1}{R^2} - 1\right)} \Rightarrow \Delta n = 0.01 \quad (9)$$

همچنین خطای زاویه های تابش و شکست برابر با یک درجه است. همچنین

$$\left(\frac{\Delta n}{n}\right)^2 = \left(\frac{\sin(i + \Delta i) - \sin(i)}{\sin(i)}\right)^2 + \left(\frac{\sin(r + \Delta r) - \sin(r)}{\sin(r)}\right)^2 \Rightarrow \Delta n = 0.04 \quad (10)$$

از عوامل خطا در این آزمایش می توان به زیر اشاره کرد:

۱. خطای مشاهده و اندازه گیری با مقاله
۲. ضخامت نور تابیده شده

۳.۶ آزمایش سوم

خطای زاویه حدی برابر با یک درجه است و مقدار خطای ضریب شکست از رابطه زیر بدست می آید

$$n = \frac{1}{\sin i_c} \Rightarrow \frac{\Delta n}{n} = \frac{\sin(i_c + \Delta i_c) - \sin i_c}{\sin i_c} \Rightarrow \Delta n = 0.02 \quad (11)$$

۴.۶ آزمایش چهارم

همانند بخش آزمایش دوم است با این تفاوت که مقادیر خطا بدین صورت هستند که برای جدول داریم

$$\Delta n = 0.1 \quad (12)$$

و برای نمودار داریم

$$\Delta n = 0.01 \quad (13)$$

از عوامل خطا در این آزمایش می تواند ضخامت مرز بین آب و روغن باشد که هر چقدر بیشتر باشد، دچار خطای بدتری می شود و بنابراین باید تا جایی که می شود از قطر این لایه کاست.

۷ نتیجه گیری

۱.۷ آزمایش اول

مقدار ضریب شکست از این آزمایش به صورت زیر بدست می آید

$$n = 1.6 \pm 0.1 \quad (14)$$

۲.۷ آزمایش دوم

مقدار ضریب شکست از دو روش جدول و ترسیم به صورت زیر است

$$n_T = 1.48 \pm 0.04, \quad n_P = 1.51 \pm 0.01 \quad (۱۵)$$

۳.۷ آزمایش سوم

مقدار ضریب شکست در این روش برابر است با

$$n = 1.46 \pm 0.02 \quad (۱۶)$$

۴.۷ آزمایش چهارم

مقدار ضریب شکست از دو روش جدول و ترسیم به صورت زیر است

$$n_T = 0.8 \pm 0.1, \quad n_P = 0.83 \pm 0.01 \quad (۱۷)$$

مشخصا از روی جوابها می توان دید که بدست آوردن ضریب شکست از روش ترسیم به قطع روش مطمئن تر و دقیقی است و باید این جوابها را بیشتر مد نظر داشت.