اندازه‌گیری ضریب شکست منشور و محاسبه ضرایب کوشی

پارسا رنگریز
۹۷۱۱۰۳۱۴

آزمایشگاه اپتیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف

۱۳ مهر ۱۴۰۰

چکیده

محاسبه ضریب شکست منشور و ضرایب کوشی با استفاده از طیف لامپ هلیوم و طیف سنج.

۱ مقدمه

در بسیاری از موارد در آزمایشگاه اپتیک و نیز دیگر آزمایش‌های مرتبطه در مهندسی و علوم از منشور استفاده می‌نماییم. به عبارتی این دستگاه یکی از پایه‌ترین دستگاه‌ها در علم اپتیک است و بدین صورت است که دانستن ضریب شکست که زوایای شکست و نیز دیگر خواص اپتیکی را آشکار می‌سازد، بسیار پراهمیت است. در ساخت تلسکوپ‌ها، استفاده از منشور بسیار فراوان است. همچنین برای شناسایی ساختار نور ورودی از منشور استفاده می‌گردد. دانستن مشخصات منشور از ملزومات اولیه این گونه آزمایش‌هاست.

۲ مدل و نظریه

برای محاسبه ضریب شکست منشور در یک طول موج معین با استفاده از زاویه راس منشور، α، و زاویه کمینه انحراف آن طول موج، می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\delta_m+\alpha}{2}\right)}{\sin\frac{\alpha}{2}} \quad (۱)$$

همچنین برای محاسبه ضریب کوشی برحسب طول موج λ از رابطه زیر استفاده می‌کنیم

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} \quad (۲)$$

۳ وسایل آزمایش

طیف سنج، منشور شیشه‌ای، لامپ هلیوم و منبع تغذیه، چراغ رومیزی

۴ روش آزمایش

۱.۴ تنظیم طیف سنج

در عکس شماره ۱ قطعات دستگاه طیف‌سنج مشخص شده‌اند. همچنین برای تنظیم اولیه طیف‌سنج لازم است سه مرحله به صورت زیر انجام پذیرد:

۱.۱.۴ مرحله اول

ابتدا دوربین چشمی دستگاه را مقابل تصویری در فاصله بسیار دور قرار داده و با استفاده از پیچ کنار دوربین سعی می‌کنیم تصویر واضحی از جسمی که در فاصله دور قرار دارد، مشاهده نماییم. (عکس شماره ۲)

۲.۱.۴ مرحله دوم

سپس دستگاه را در مقابل لامپ مورد نظر قرار داده و سعی می‌کنیم تصویر واضحی از باریکه نور مشاهده کنیم. برای تنظیم ضخامت باریکه نور از پیچ تنظیم ضخامت شکاف و برای تنظیم وضوح تصویر از پیچ تنظیم روی دوربین موازی‌ساز استفاده می‌کنیم و سعی می‌کنیم تصویر باریکه نور را بر روی تار مویی منطبق نماییم. (عکس شماره ۳)

شکل ۱: قطعات دستگاه طیف‌سنج

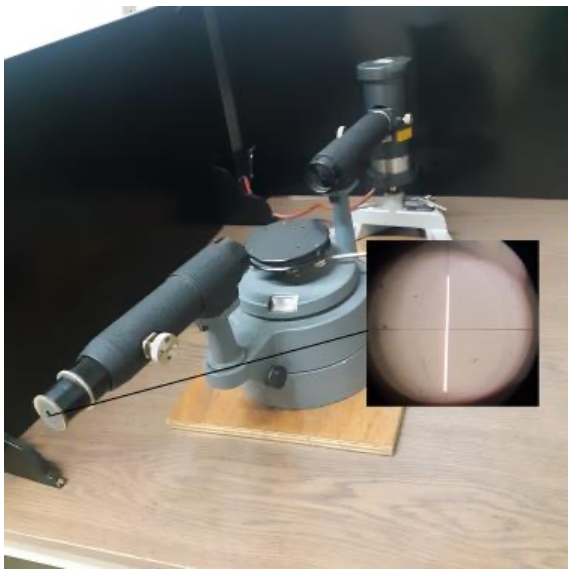
شکل ۲: یافتن تصویر واضح از جسم دور

۳.۱.۴ مرحله سوم

در این مرحله دوربین چشمی را ثابت کرده و پیچ تنظیم ورنیه را بازنمایی و با حرکت دادن صفحه ورنیه، صفر صفحه مدرج را بر روی صفر ورنیه منطبق کرده و سپس پیچ ورنیه را محکم نموده و دوربین چشمی را آزاد نمایید. در این حالت صفر دستگاه شما تنظیم شده است. دقت نمایید تا پایان آزمایش صفحه ورنیه حرکت نکند. (عکس شماره ۴)

۲.۴ آزمایش اول: اندازه‌گیری زاویه راس منشور

منشور را روی حامل خود طوری قرار دهید که یکی از رئوس آن به طرف شکاف موازی‌ساز باشد. در این حالت باریکه نور خارج شده از موازی‌ساز مطابق شکل زیر به دو باریکه تقسیم شده و هر کدام به یکی از سطوح منکسر کننده منشور می‌تابد. (عکس شماره ۵) دوربین را بچرخانید تا تصویر شکاف که از بازتاب باریکه نور در یکی از سطوح منشور بوجود می‌آید بطور واضح در دوربین دیده شود. دوربین را به گونه‌ای تنظیم کنید که تار مویی عمودی آن بر تصویر شکاف منطبق گردد. در این حالت، مطابق شکال بالا درجه ورنیه مدرج را خوانده و یادداشت کنید. دوربین را بگردانید تا تصویر شکاف حاصل از بازتاب باریکه نور از سطح دیگر منشور بدست آمده و بطور واضح در دوربین رویت گردد. دوربین را به گونه‌ای تنظیم کنید که تار موئی آن بر تصویر شکاف منطبق گردد و مجددا درجه ورنیه را خوانده و یادداشت کنید. با استفاده از دو مقدار بدست آمده برای θ_1 و θ_2 زاویه بین دو حالت را که زاویه θ نامیده شده است، می‌توان زاویه راس منشور را یافت چرا که $\alpha = \theta/2$.



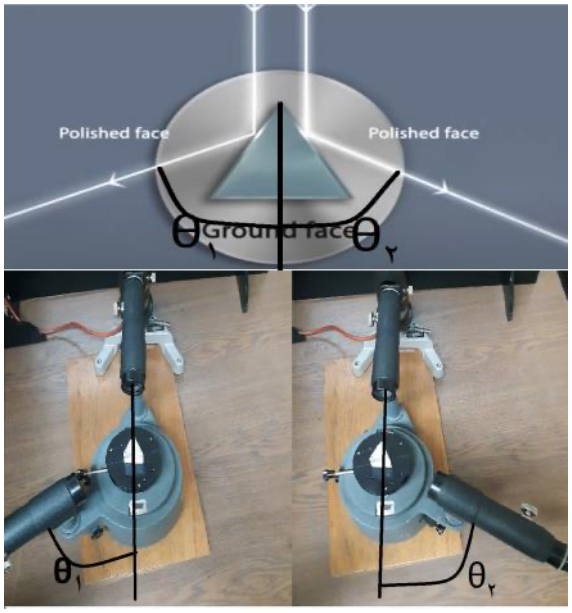
شکل ۳: تطبیق باریکه نور با تار مویی

شکل ۴: کالیبره کردن دستگاه

۳.۴ آزمایش دوم: اندازه‌گیری زاویه مینیمم انحراف و رسم منحنی پاشندگی منشور

در این قسمت منشور را بر روی صفحه حامل، مطابق آن‌چه در شکل نشان داده شده، مقابل دوربین موازی‌ساز قرار دهید و سعی کنید با حرکت دوربین چشمی خطوط طیفی را که از منشور خارج شده‌اند مشاهده نمایید.

در حالی که دوربین و صفحه حامل هر دو آزاد هستند حامل منشور را در جهتی مشخص گردانده و با دوربین یکی از خطوط طیفی هلیوم را تعقیب نمایید. بدون اینکه تصویر را از نظر دور بدارید حامل را به آهستگی بچرخانید تا وضعیت مینیمم انحراف برای آن خط طیفی پیدا شود. با دیدن این حالت، تار موئی را بر تصویر خط طیفی مورد نظر منطبق کرده و زاویه θ را از روی صفحه مدرج و ورنیه قرائت کرده و یادداشت کنید. این عمل را برای تک تک خطوط طیفی مشاهده و زاویه مینیمم انحراف قرائت نمایید.



شکل ۵: تقسیم شدن نور ورودی به منشور

شکل ۶: مشاهده طیف هلیوم

۵ جدول داده‌ها

۱.۵ ازمایش اول

جدول ۱: اندازه‌گیری زاویه راس منشور

$\theta_1(^o)$	$\theta_2(^o)$	$\theta(^o)$	$\alpha(^o)$
61.48	62.33	123.80	61.90
60.57	69.55	120.12	60.06
60.58	59.53	120.11	60.05

از این اعداد به دست می‌آید که زاویه راس منشور برابر است با

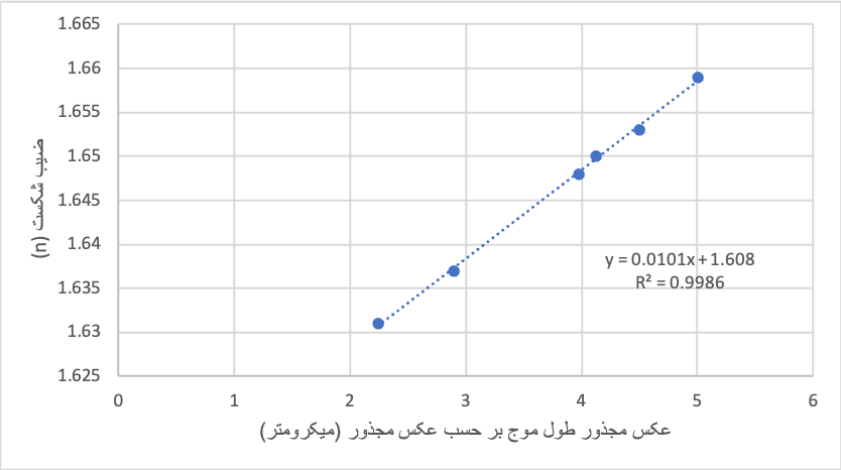
$$\boxed{\langle\alpha\rangle = 61^o \pm 1^o} \quad (۳)$$

۲.۵ آزمایش دوم

جدول ۲: ضریب شکست و زوایای مینیمم انحراف لامپ هلیوم

Δn	n	$\Delta\langle\delta\rangle\,(^o)$	$\langle\delta\rangle\,(^o)$	$\delta_3(^o)$	$\delta_2(^o)$	$\delta_1(^o)$	$\lambda(A^o)$	رنگ
0.01	1.63	0.01	50.26	50.26	50.25	50.27	6676	قرمز
0.02	1.64	0.02	50.94	50.92	50.95	50.95	5875	زرد
0.02	1.65	0.02	52.02	52.02	52.00	52.03	5015	فیروزه‌ای
0.02	1.65	0.02	52.21	52.19	52.23	52.22	4921	آبی
0.03	1.65	0.03	52.58	52.57	52.57	52.62	4713	بنفش
0.04	1.66	0.04	53.18	53.15	53.17	53.23	4471	یاسی

۶ نمودار داده‌ها



شکل ۷: نمودار ضریب شکست بر حسب عکس مجذور طول موج

با توجه به نمودار بالا، شیب و عرض از مبدا به صورت زیر خواهد بود:

$$B = 1.01 \times 10^{-2}(\mu m)^2 \tag{۴}$$

$$A = 1.608 \tag{۵}$$

۷ خطا

به طور کلی اگر y یک تابعی از x_i تا x_n باشد و برای هر کدام از x_iها، $\langle x_i\rangle$ و Δx_i مشخص باشند، آنگاه Δy اینگونه محاسبه می‌شوند:

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\Delta x_i\right)^2} \tag{۶}$$

بنابراین در تمامی جداولی که میانگین حساب می‌شده این مقدار خطا محاسبه گشته و سپس با خطای دستگاه‌ها مقایسه شده و بیشینه این خطا بعنوان خطا گزارش شده است. بنابراین خواهیم داشت

$$(\Delta n)^2 = \left(\frac{1}{2}\frac{\cos\left(\frac{\alpha+\delta_m}{2}\right)}{\sin\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)}\Delta\delta_m\right) + \left(\frac{1}{2}\frac{\cos\left(\frac{\alpha+\delta_m}{2}\right)\sin\frac{\alpha}{2} - \cos\frac{\alpha}{2}\sin\left(\frac{\alpha+\delta_m}{2}\right)}{\sin^2\frac{\alpha}{2}}\Delta\alpha\right)^2 \tag{۷}$$

برای محاسبه خطای خط برازش در نمودارها می‌توان نوشت:

$$\Delta b = b\sqrt{\frac{1}{n-2}\left(\frac{1}{R^2}-1\right)} \tag{۸}$$

اکنون نوبت این است که عوامل خطا را بررسی کنیم.
خطای تطبیق دقیق نور بر روی نوار مویی. خطای دستگاه اندازه‌گیری زاویه، مقدار طول موج نادقیق، موازی آمدن کامل نور بر روی منشور، خطای آزمایش‌گر

۸ نتیجه‌گیری

اکنون نوبت این است که خطاهای مساله را وارد کنیم و مقادیر تقریبی ضرایب کوشی را بدست آوریم.

$$\boxed{B = 1.01 \times 10^{-2}(\mu m)^2 \pm 0.02 \times 10^{-2}(\mu m)^2} \quad (۹)$$

$$\boxed{A = 1.6080 \pm 0.0007} \quad (۱۰)$$

همان‌طور که دیده می‌شود خطای مساله بسیار پایین است و بنابراین یک آزمایش خوبی انجام گرفته است. دلیل این خطای پایین، استفاده از ابزارآلات نوری است که با بیش‌ترین حساسیت استفاده می‌شوند. همچنین خطای مساله تنها و تنها مربوط به دستگاه‌ها نیست و می‌تواند به خطای آزمایش‌گر نیز مرتبط باشد که در این صورت است که می‌توان باز گفت که خطای آزمایش کم‌تر از مقدار بدست آمده است.