اندازه گیری طول موج با استفاده از منحنی پاشندگی نوری

پارسا رنگریز
۹۷۱۱۰۳۱۴

آزمایشگاه اپتیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف

۲۱ مهر ۱۴۰۰

چکیده

محاسبه طول موج نوری در آزمایشگاه با استفاده از لامپ هلیوم یا کادمیم و آشنایی با معادله پراش و نیز بررسی تفاوت‌های الگویی طیف هلیوم و کادمیوم.

۱ مقدمه و نظریه

در ابتدا توری پراش را گونه‌ای روی صفحه حامل طیف‌سنج نصب می‌کنیم چنان که باریکه نوری که از دوربین موازی‌ساز خارج می‌شود، دقیقا عمود بر سطح توری پراش باشد. برای انجام چنین کاری با انتخاب یک خط طیفی خاص، زوایایی که از مشاهده این خط طیفی در طرفین توری پراش بدست می‌آید را از هم کم می‌کنیم و حاصل را به اندازه نصف این اختلاف می‌چرخانیم، پس از این است که توری عمود بر نورها خواهد بود.

جهت انجام آزمایش، لامپ هلیوم را پشت دریچه موازی‌ساز قرار داده و سپس اندازه زاویه پراش مرتبه اول را برای طیف اتم هلیوم انجام می‌دهیم و اندازه‌گیری می‌کنیم. سپس این اندازه‌گیری را برای مراتب دوم و سوم پراش تکرار کرده و با تغییر نوع لامپ به کادمیم آزمایش را تکرار می‌کنیم.

در نهایت طول موج با استفاده از معادله زیر قابل استخراج است.

$$a(\sin\alpha - \sin i) = k\lambda \qquad (۱)$$

که نیازمند دانستن فاصله بین شیارهای توری، زاویه پراش و بازتاب است.

۲ وسایل آزمایش

طیف‌سنجِ، توری پراش، لامپ هلیوم، لامپ کادمیوم، منبع تغذیه، چراغ رومیزی

۳ روش آزمایش

طیف‌سنج را مطابق دستوری که در آزمایش ۱ آمده است، تنظیم کنید. بعد از تنظیم اولیه، توری پراش را با احتیاط کامل در گیره‌های آن بر روی صفحه حامل نصب کنید. در حین کار مراقب باشید تا انگشت‌ان شما با قسمت‌های شفاف توری تماس پیدا نکند. توری باید به گونه ای نصب شود که سطح آن بر نور خروجی از موازی‌ساز کاملا عمود باشد. مطابق شکل پایین می‌توان این کار را بوسیله آزمایش ساده زیر انجام داد.

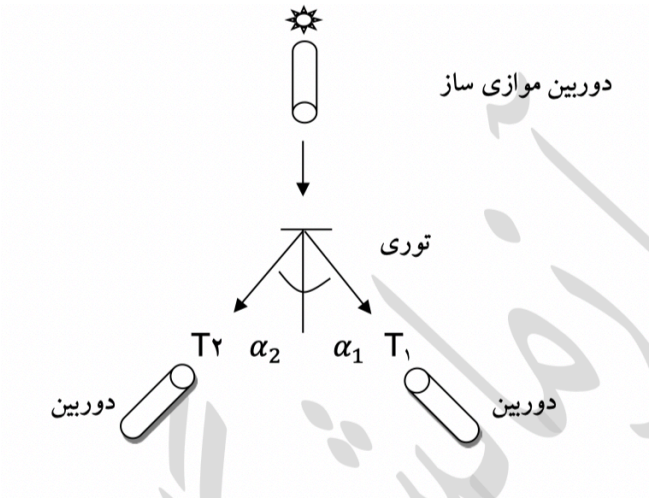
ابتدا دوربین را حرکت دهید تا تار مویی بر تصویر شکاف منطبق گردد. در این حالت باید صفر صفحه چرخان با صفر صفحه حامل برهم منطبق باشند. سپس دوربین را به سمت راست حرکت دهید تا تار مویی بر تصویر یکی از خطوط طیفی واضح و پررنگ لامپ هلیوم از مرتبه سوم منطبق گردد (موقعیت T_1)، زاویه α_1 را یادداشت کرده و با چرخاندن دوربین به سمت دیگر، تار مویی را بر تصویر همان خط طیفی منطق کنید (موقعیت T_2) و زاویه α_2 را یادداشت نمایید. در حالتی که نور بر سطح توری کاملا عمود باشد دو زاویه α_1 و α_2 برابر می‌شوند. صفحه حامل توری را به اندازه $\frac{\alpha_2-\alpha_1}{2}$ در جهت مناسب بچرخانید تا در این حالت زاویه تابش نور برابر صفر شده و نور بر صفحه توری کاملا عمود بتابد.

۱.۳ اندازه‌گیری زاویه پراش توری در مرتبه اول

پس از تنظیم محل توری زاویه پراش را برای طیف لامپ هلیوم در مرتبه اول ($K = 1$) اندازه بگیرید. این اندازه‌گیری را برای هر خط طیف حداقل سه بار تکرار کرده و نتایج را در جدول یادداشت کنید. با استفاده از معادله توری پراش، اندازه طول موج هر طیف را محاسبه کرده و در جدول یادداشت کنید. منحنی تغییرات α را بر حسب طول موج، λ رسم کنید. در این ازمایش مقدار $a = 25.4mm/2500$ است.

۲.۳ اندازه گیری زاویه پراش برای مرتبه‌های دوم و سوم

مطابق آزمایش اول زاویه پراش را برای مرتبه‌های دوم و سوم ($k = 2, 3$) پیدا کرده و نتایج را به ترتیب در جداول یادداشت کنید.



شکل ۱: دوربین موازی‌ساز

شکل ۲: انطباق خط نوری با تار مویی

۳.۳ تعیین طول موج‌های لامپ کادمیوم

حال به جای لامپ هلیوم از لامپ کادمیوم استفاده کنید. زاویه پراش را برای دو خط طیف کادمیوم پیدا کرده و با استفاده از منحنی‌های بالا طول موج‌های مربوط به لامپ کادمیوم را بدست آورید. با استفاده از رابطه مذکور اندازه طول موج این دو خط را محاسبه کرده و با نتایج بدست آمده مقایسه کنید.

۴ جدول داده‌ها

جدول ۱: جدول پراش طیف اتم هلیوم از توری در مرتبه اول

رنگ‌ها	$\alpha_1(^o)$	$\alpha_2(^o)$	$\alpha_3(^o)$	$\Delta\alpha(^o)$	$\lambda_{\text{real}}(A^o)$	$\lambda_{\text{obs}}(A^o)$	$\Delta\lambda$	$\langle\alpha\rangle$
آبی	2.40	2.38	2.40	0.008	4471.48	4243.9	5%	2.40
نیلی	2.48	2.50	2.48	0.008	4713.14	4410.0	6%	2.49
فیروزه‌ای	2.58	2.62	2.58	0.02	4921.93	4608.9	6%	2.60
آبی روشن	2.68	2.68	2.67	0.008	5015.67	4732.9	6%	2.67
زرد	3.15	3.18	3.15	0.02	5875.62	5600.6	5%	3.16
قرمز	3.60	3.58	3.62	0.01	6678.15	6379.5	4%	3.60
قهوه‌ای	3.80	3.80	3.82	0.008		6751.1		3.81

جدول ۲: جدول پراش طیف اتم هلیوم از توری در مرتبه دوم

رنگ‌ها	$\alpha_1(^o)$	$\alpha_2(^o)$	$\alpha_3(^o)$	$\Delta\alpha(^o)$	$\lambda_{\text{real}}(A^o)$	$\lambda_{\text{obs}}(A^o)$	$\Delta\lambda$	$\langle\alpha\rangle$
آبی	4.98	5.00	4.98	0.008	4471.48	4418.7	1%	4.99
نیلی	5.22	5.25	5.23	0.01	4713.14	4630.6	2%	5.23
فیروزه‌ای	5.50	5.47	5.50	0.02	4921.93	4860.1	1%	5.49
آبی روشن	5.57	5.62	5.62	0.02	5015.67	4957.2	1%	5.60
زرد	6.55	6.58	6, 63	0.03	5875.62	5821.2	0.9%	6.58
قرمز	7.48	7.46	7.50	0.01	6678.15	6613.1	1%	7.48

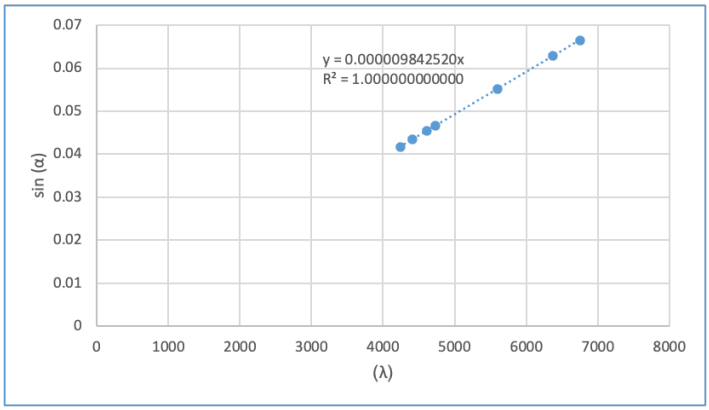
جدول ۳: جدول پراش طیف اتم هلیوم از توری در مرتبه سوم

رنگ‌ها	$\alpha_1(^o)$	$\alpha_2(^o)$	$\alpha_3(^o)$	$\Delta\alpha(^o)$	$\lambda_{\text{real}}(A^o)$	$\lambda_{\text{obs}}(A^o)$	$\Delta\lambda$	$\langle\alpha\rangle$
آبی	.7.57	7.60	7.55	0.02	4471.48	4461.5	0.2%	7.57
نیلی	7.98	7.97	7.98	0.008	4713.14	4469.5	0.4%	7.97
فیروزه‌ای	8.30	8.35	8.35	0.02	4921.93	4906.4	0.3%	8.33
آبی روشن	8.50	8.48	8.50	0.008	5015.67	5000.0	0.3%	8.49
نارنجی	9.98	9.98	10.00	0.008	5875.62	5875.1	0.009%	9.99
قرمز	11.35	11.35	11.38	0.02	6678.15	6676.6	0.02%	11.37

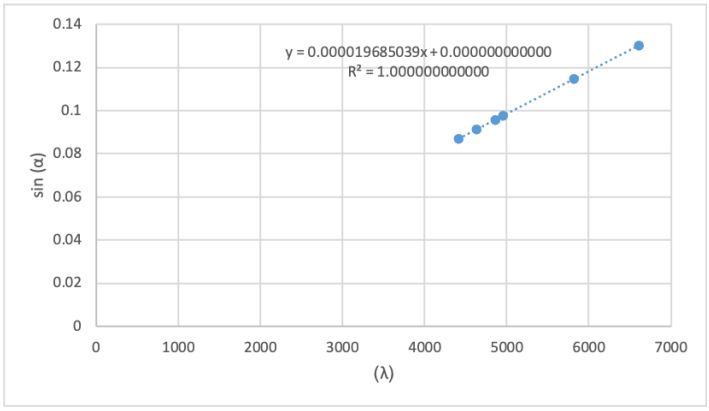
جدول ۴: جدول پراش طیف اتم کادمیوم از توری در مرتبه اول

رنگ‌ها	$\alpha_1(^o)$	$\alpha_2(^o)$	$\alpha_3(^o)$	$\Delta\alpha(^o)$	$\lambda_{\text{real}}(A^o)$	$\lambda_{\text{plot}}(A^o)$	$\Delta\lambda$	$\langle\alpha\rangle$
آبی	.2.50	2.50	2.30	0	4678.16	4431.7	5%	2.50
آبی	.2.75	2.77	2.75	0.008	5085.82	4892.3	3%	2.76

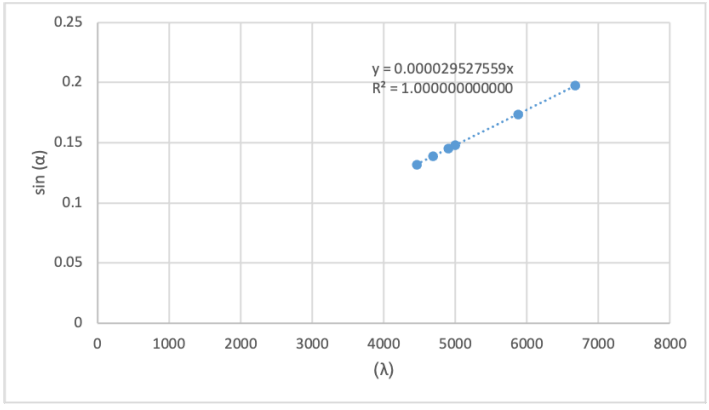
۵ نمودار داده‌ها



شکل ۳: نمودار سینوس زاویه پراش و طول موج در مرتبه اول پراش لامپ هلیوم



شکل ۴: نمودار سینوس زاویه پراش و طول موج در مرتبه دوم پراش لامپ هلیوم



شکل ۵: نمودار سینوس زاویه پراش و طول موج در مرتبه سوم پراش لامپ هلیوم

۶ 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:

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2} \qquad (۲)$$

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

$$\Delta\lambda = a\sqrt{(\Delta\alpha\cos\alpha)^2 + (\Delta i\cos i)^2} \tag{۳}$$

که i زاویه بدست آمده از رابطه پراش است. برای محاسبه خطای خط برازش در نمودارها می‌توان نوشت:

$$\Delta b = b\sqrt{\frac{1}{n-2}\left(\frac{1}{R^2}-1\right)} \tag{۴}$$

با توجه به اینکه خطای دستگاه اندازه‌گیری در مرتبه یک دقیقه بعبارتی 0.02 درجه است، بنابراین خطای گزارش شده در جداول بالا کمار از مقدار خطای دستگاه است و مقدار حقیقی خطا همین مقدار مذکور است.

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، صفر نکردن زاویه تابش

۷ نتیجه‌گیری

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.

همچنین دیده می‌شود که در مراتب بالای اتم هلیوم، دقت محاسبه طول موج بالاتر می‌رود و این نشان می‌دهد که هر چه در مراتب بالای پراش محاسبات را انجام دهیم، به نتایج دقیق‌تری خواهیم رسید. همچنین خطاهای زاویه تابش محاسبه نشده است چرا که مقادیر آن در دسترس نبود.