عنوان آزمایش:

اندازه‌گیری خطوط طیفی گازهای نجیب و بخار فلزات با استفاده از طیف‌سنج توری

هدف آزمایش:

۱- تنظیم طیف‌سنج توری؛

۲- کالیبراسیون طیف‌سنج توری با استفاده از لامپ هلیم؛

۳- اندازه‌گیری طیف خطوط "ناشناخته"؛

۴- شناسایی منبع نور "ناشناخته".

وسایل موردنیاز آزمایش:

۱- طیف‌سنج[1] و زاویه‌سنج[2]؛

۲- توری رولند با تقریباً ۵۷۰۰ خط بر سانتی‌متر؛

۳- لامپ طیفی هلیم، با اتصال ۹ پین؛

۴- لامپ طیفی سدیم، با اتصال ۹ پین؛

۵- محفظه نگهدارنده برای لامپ طیفی با اتصال ۹ پین؛

۶- منبع تغذیه ویژه لامپ‌های طیفی، ۲۳۰ V، ۵۰ Hz، ۱ A؛

۷- منبع ترانسفورماتور ۶ VAC، ۱۲ VAC؛

۸-پایه نگهدارنده V شکل کوچک.

دیگر ادوات مفیدی که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد:

۱- لامپ طیفی Ne، با اتصال ۹ پین؛

۲- لامپ طیفی Cd با اتصال ۹ پین؛

۳- لامپ طیفی Hg/Cd با اتصال ۹ پین؛

۴- لامپ طیفی Ti، با اتصال ۹ پین؛

1- Spectrometer
2 - Goniometer

تئوری آزمایش:

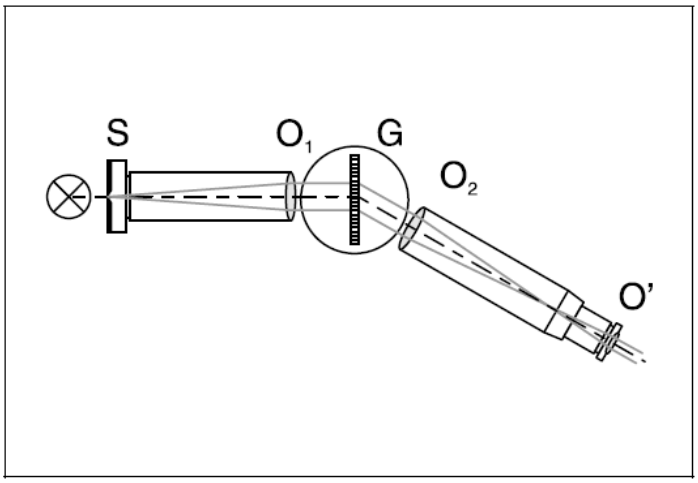
گازهای نجیب و بخار فلزات که برای روشنایی برانگیخته می‌شوند، خطوط طیفی، یعنی گزینش ویژه‌ای از طول‌موج‌هایی که مشخصه عناصر هستند، گسیل می‌کنند. با اندازه‌گیری دقیق این طول‌موج‌ها، می‌توان جمع‌بندی مستند در مورد طبیعت این منابع نوری کرد.

برای جداسازی این خطوط طیفی می‌توان از توری استفاده کرد. نور در توری پراشیده شده؛ پرتوهای نور با طول‌موج یکسان روی یکدیگر برهم‌نهاده می‌شوند و بیشینه‌های شدت تیز و واضحی را تولید می‌کند. نور طول‌موج بلند بیش از نور طول‌موج کوتاه منحرف می‌شود.

در طیف‌سنج توری، نور خارج‌شده به‌صورت واگرا از میان شکاف عمومی S که پهنا و ارتفاع آن متغیر است، می‌گذرد و روی عدسی شیء O_1 می‌افتد، فاصله این عدسی شیئی از شکاف برابر طول کانونی آن است (شکل (۱)). شکاف و عدسی هر دو یک موازی‌ساز را تشکیل می‌دهند. پس از عدسی، نور به‌صورت یک باریکه موازی روی توری تابیده می‌شود، یعنی همه پرتوها در یک زاویه یکسان روی منشور فرود می‌آیند. توری نور را پراشیده کرده و طول‌موج‌های مختلف را در زاویای متفاوت منحرف می‌سازد. در نهایت، عدسی شیئی دوم O_2 همه پرتوهای موازی یک طول‌موج مشخص را متمرکز می‌کند تا شکاف S را در صفحه کانون عدسی تصویر کند. دراین روش، یک طیف خالص در صفحه کانونی شکل می‌گیرد و می‌توان این را با استفاده از چشمی O' مشاهده کرد. عدسی‌های شئی O_2 و چشمی O' با یکدیگر یک تلسکوپ نجومی را تشکیل می‌دهند که پرتوها را در بی‌نهایت فوکوس (متمرکز) می‌کند.

تلسکوپ به‌گونه‌ای روی بازوی گردان قرار گرفته‌است که زاویه انحراف را می‌توان اندازه‌گیری کرد. هنگامی‌که تلسکوپ می‌چرخد، تار رتیکول در صفحه کانونی چشمی روی خطوط طیفی مجزا قرار می‌گیرد. برای آن‌که بتوان زاویه و در نتیجه آن موقعیت نسبی خطوط را اندازه‌گیری کرد، تلسکوپ با یک دایره مدرج (یک دیسک با مقیاس با درجه‌بندی نیم درجه) ترکیب شده‌است تا یک زاویه‌سنج را تشکیل دهد. ورنیه، خواندن موقعیت را با دقت دقیقه زاویه‌ای امکان‌پذیر می‌سازد.

رابطه بین پراش و طول‌موج خطی است (طیف طبیعی، $\sin\alpha \sim \lambda$). اگر طول‌موج‌های منبع نور ناشناخته به زوایای انحراف از میان توری اختصاص داده‌شود، برخلاف طیف‌سنج منشوری (طیف پاششی)، ضروری نیست که طیف‌سنج در ابتدا کالیبره شود. بر اساس پراش خطوط طیفی مجزا، اختصاص این خطوط به طول‌موج‌های متناظر امکان‌پذیر است. سپس، این مقادیر با جدول مرجع مناسب مقایسه می‌شود تا منبع نوری تعیین شود.



شکل (۱): مسیر باریکه در یک طیف‌سنج توری.

نحوه انجام آزمایش

❖ تنظیم طیف‌سنج

به منظور انجام دقیق اندازه‌گیری‌ها، دستگاه باید به‌دقت تنظیم شود.

شکاف و تار رتیکول باید دقیقاً در صفحه کانونی عدسی شیئی مربوطه (مسیر باریکه تلسکوپ) موقعیت‌دهی شوند.

شکاف و سطوح توری باید موازی با محور چرخان تلسکوپ تنظیم شوند.

هنگامی‌که اتاق تا حدودی تاریک شود، برخی از گام‌های تنظیم و همچنین اندازه‌گیری‌های خطوط طیفی بسیار آسان‌تر انجام می‌شود.

❖ تنظیم مقدماتی

میزان شیب میز منشور فقط تا مقدار محدودی تغییر می‌کند. برای اینکه اطمینان حاصل شود که جای تغییر و جابه‌جایی کافی برای تنظیم باقی مانده‌است، میز را تا حد امکان در حین تنظیم مقدماتی (به‌صورت چشمی) افقی تنظیم کنید.

الف- تلسکوپ (a)، میز منشور (c) و لوله شکاف (موازی‌ساز) (e) را به‌صورت چشمی به‌صورت افقی تنظیم کنید (شکل (۲)).

ب- تلسکوپ و موازی‌ساز را با استفاده از پیچ تنظیم جانبی، (b) و (d)، به‌صورت جانبی در مرکز قرار دهید و سپس پیچ را محکم کنید. پیچ‌های تنظیم را در یک جهت خیلی شل نکنید، زیرا این پیچ‌ها از تلسکوپ و موازی‌ساز پشتیبانی می‌کنند.

❖ **فوکوس کردن تلسکوپ در بی‌نهایت**

توجه: آزمایشگرانی که نیاز به تصحیح دید دارند، می‌توانند شی دور را به‌وضوح با تلسکوپ ببینند؛ ولی، در این حالت تلسکوپ طبق تعریف دقیقاً روی بی‌نهایت تنظیم نشده‌است. هنگامی‌که تلسکوپ و موازی‌ساز هر دو توسط همان آزمایشگر تنظیم شود، هنوز ممکن است که اندازه‌گیری با دقت انجام شود. هنگامی‌که آزمایشگر دیگری می‌خواهد طیف را مشاهده کند، فوکوس بعدی باید فقط با حرکت دادن چشمی (a4) انجام شود.

الف- چشمی را خارج کنید (a4)، منبع روشنایی (a3) را در تلسکوپ قرار داده و چشمی را با دهانه باز (روزنه) رو به پایین برای منبع روشنایی (a5) (شکل ۳) جایگزین کنید.

ب- تار رتیکول را با حرکت دادن چشمی (a4) در لوله چشمی فوکوس کرده و اگر ضرورت دارد آن را تنظیم کنید. اطمینان حاصل کنید که دهانه برای منبع روشنایی (a5) هنوز رو به پایین است.

پ- تلسکوپ تنظیم‌شده به‌صورت افقی را روی شیء دور (>۵۰۰m) با استفاده از پیچ تنظیم فوکوس (a1)، متمرکز (فوکوس) کنید.

اگر تنظیم صحیح انجام شده باشد، تصویر شیء مشاهده‌شده و تار رتیکول باید هر دو در صفحه کانونی عدسی شیئی قرار گرفته باشند، این موضوع در صورتی امکانپذیر است که اختلاف منظری بین شیء مشاهده‌شده و تار رتیکول متقاطع وجود نداشته باشد.

❖ **نکات ایمنی**

- ولتاژ نباید از بیشینه ولتاژ مجاز برای لامپ هلیم سامانه روشنایی (U_{max} =۸ V) فزونی یابد.

لامپ‌های طیفی و محفظه آن‌ها حین عملکرد خیلی داغ می شوند.

- اجازه بدهید لامپ‌ها قبل از تعویض یا جایگزین کردن خنک شوند.

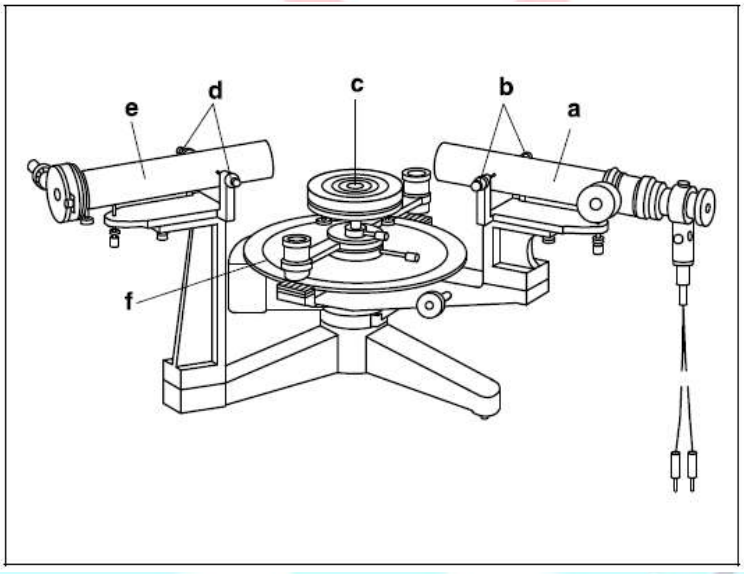
❖ **تنظیم منبع روشنایی**

الف- تلسکوپ را به سمت موازی‌ساز نشانه‌گیری کنند (شکاف را اندکی باز کنید).

ب-منبع روشنایی (a3) را به ولتاژ U_{max} =۶ V متصل کنید.

پ- با استفاده از پیچ دستگیره[1] (a2)، اندازه روشنایی را روی تلسکوپ به‌گونه‌ای تنظیم کنید که داخل شکاف به‌خوبی روشن شود، بدون آن‌که موقعیت چشمی تغییر کند.

1 - Arresting Screw



a تلسکوپ؛

b پیچ تنظیم برای جابه‌جایی جانبی موازی‌ساز؛

c میز منشور؛

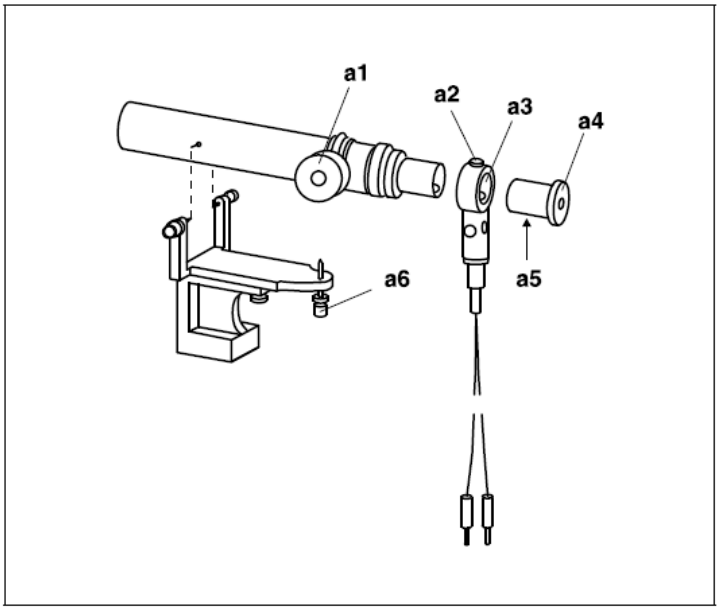
d پیچ تنظیم برای جابه‌جایی جانبی تلسکوپ؛

e موازی‌ساز؛

f واحد پایه طیف‌سنج.

شکل (۲): طیف‌سنج.

دکتر فاطمه دباغ کاشانی
دانشگاه علم و صنعت ایران



a1 پیچ تنظیم فوکوس

a2 پیچ دستگیره برای منبع روشنایی

a3 منبع روشنایی

a4 چشمی

a5 روزنه (دهانه) برای منبع روشنایی (قابل مشاهده نیست)

a6 پیچ تنظیم ارتفاع برای تلسکوپ

شکل ۳: تلسکوپ با منبع روشنایی.

❖ **تنظیم محور اپتیکی تلسکوپ عمود بر محور طیف‌سنج**

الف- توری را در نگهدارنده صفحه شیشه‌ای تخت (g) در مرکز میز منشور در زاویه 45° نسبت به موازی‌ساز (e) قرار دهید به‌گونه‌ای که خط (مجازی) بین دو پیچ تنظیم میز منشور، موازی با سطوح داخلی صفحه شیشه‌ای تخت باشد (شکل (۴)).

ب- تلسکوپ (a) را عمود بر یکی از سطوح صفحه شیشه‌ای تخت به‌گونه‌ای تنظیم کنید که تار رتیکول از این سطح بازتاب یابد.

پ- تار رتیکول افقی را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که بر بازتاب خود انطباق یابد. برای انجام این تنظیم با استفاده از پیچ تنظیم ارتفاع تلسکوپ (a6)، نیم اختلاف را تصحیح کنید (به شکل (۳) مراجعه کنید) و نیم دیگر را با استفاده از پیچ تراز میز منشور (c1) تنظیم کنید.

ت- دو گام زیر را تکرار کنید تا زمانی‌که تار رتیکول افقی و تصویر آیینه‌ای آن روی هر دو سطح صفحه شیشه‌ای تخت منطبق شوند.

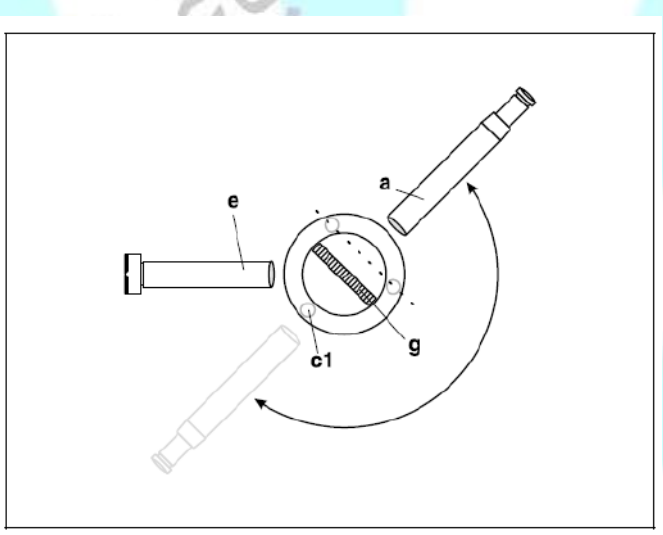
۱- مانند آنچه در شکل (۴) نشان داده شده‌است، تلسکوپ را 180° بچرخانید به‌گونه‌ای که تار رتیکول روی سطح مخالف توری بازتاب یابد.

۲- وارسی کنید که آیا تار رتیکول و تصویر آیینه‌ای آن منطبق شده‌اند یا خیر، اگر این اتفاق نیفتاد، نیم اختلاف را با استفاده از پیچ تنظیم ارتفاع تلسکوپ (a6) تصحیح کنید (به شکل (۳) مراجعه کنید) و نیم دیگر را با استفاده از پیچ تراز میز منشور (c1)، همانگونه‌که در بالا توضیح داده شد، تصحیح کنید.

ث- پیچ تنظیم ارتفاع تلسکوپ (a6) را با استفاده از مهره قفل محکم کنید.

ج- توری با نگهدارنده را از روی میز منشور بردارید. به تراز بودن توری نسبت به پیچ‌های تنظیم میز منشور توجه کنید، زیرا این تنها موقعیتی است که در آن توری موازی با محور چرخش تلسکوپ است و توری باید هنگام انجام آزمایش روی میز منشور جای گیرد.

چ- منبع روشنایی را از منبع تغذیه آن جدا کنید.



a تلسکوپ **b پیچ‌های تراز برای میز منشور**

C1 موازی‌ساز **d توری در نگهدارنده**

شکل (۴): طیف‌سنج با توری

❖ **تنظیم موازی‌ساز**

الف- شکاف را از بیرون با استفاده از لامپ روشنایی یا یکی از لامپ‌های طیفی روشن کنید.

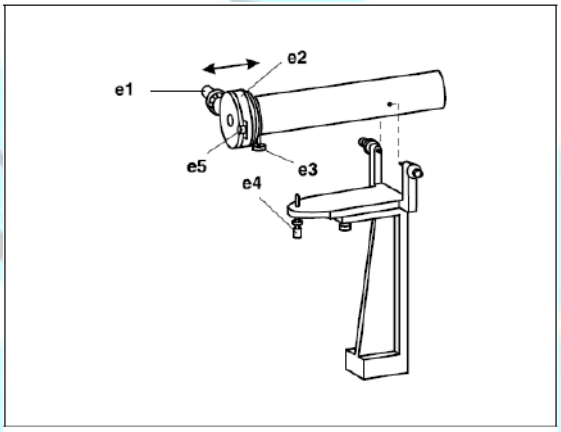
ب- تلسکوپ را به سمت موازی‌ساز نشانه‌گیری کنید و دهانه را با استفاده از پیچ میکرومتر برای پهنای شکاف (e1) اندکی باز کنید.

ت- شکاف را با استفاده از لغزنده (e5) به‌مقدار ارتفاع شکاف قابل مشاهده مناسب تنظیم کنید.

ت- با پیچ تنظیم ارتفاع موازی‌ساز (e4)، میانه شکاف را با تار رنیکول افقی تنظیم کنید و در موقعیت شکاف قفل کنید.

ج- پیچ دستگیره لوله موازی‌ساز (e3) را شل کنید و لوله موازی‌ساز (e2) را در جهت پیکان بلغزانید (به شکل (۵) مراجعه کنید) تا تصویر تیز و واضحی به‌دست آید.

چ- به‌وسیله چرخش لوله، شکاف را به‌صورت عمودی تنظیم کنید به‌گونه‌ای که موازی با تار رتیکول عمودی شود و سپس پیچ دستگیره لوله موازی‌ساز (e3) را محکم کنید.



e1 پیچ میکرومتر

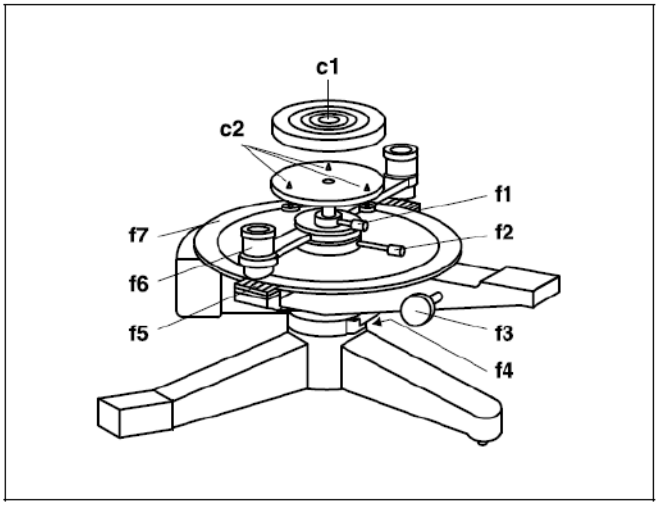
e2 لوله موازی‌ساز

e3 پیچ دستگیره برای لوله موازی‌ساز

e4 پیچ تنظیم ارتفاع برای موازی‌ساز

e5 لغزنده برای تنظیم ارتفاع شکاف

شکل (۵): موازی ساز



c1 میز منشور

c2 پیچ‌های تراز میز منشور

f1 پیچ دستگیره میز منشور

f2 پیچ دستگیره دایره مدرج

f3 پیچ تنظیم ظریف برای چرخش تلسکوپ

f4 پیچ دستگیره تلسکوپ (قابل مشاهده نیست)

f5 ورنیه‌ها

f6 ذره‌بین‌ها

f7 دایره مدرج

شکل (۶): واحد پایه طیف‌سنج و میز منشور

❖ چیدمان

الف- لامپ طیفی هلیم را در محفظه خود قرار داده و آن را روی پایه ایستاده مستقر کنید. همانگونه که در شکل (۷) نشان داده‌شده‌است، لامپ طیفی هلیم را به منبع تغذیه A ۱ متصل کرده و آن را روشن کنید.

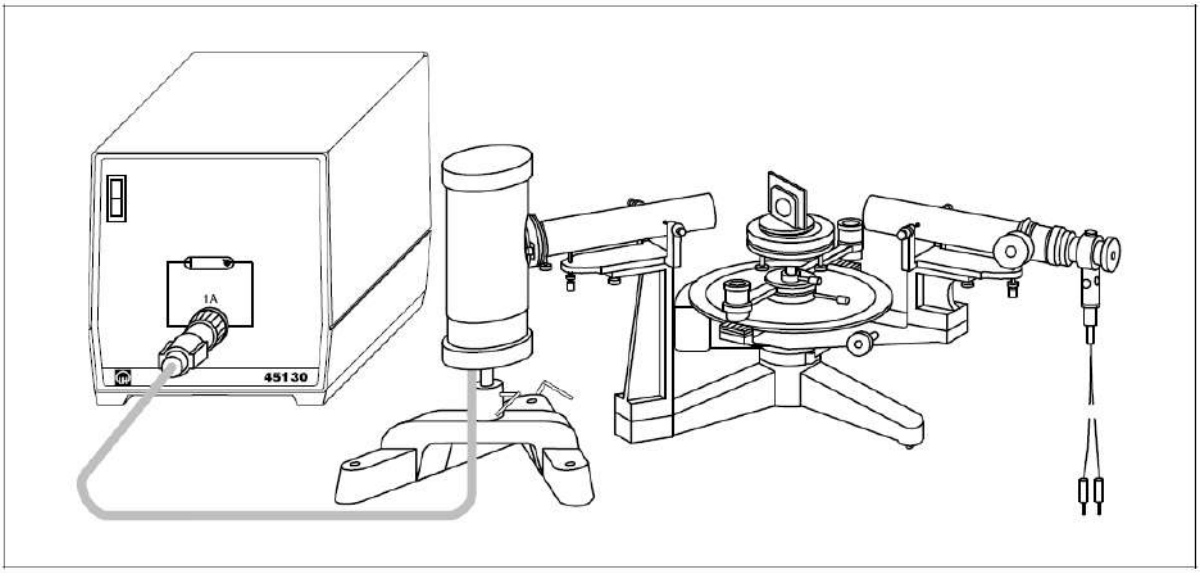
ب- شکاف را با لامپ طیفی هلیم روشن کنید. اطمینان حاصل کنید که لامپ طیفی هلیم روی محور اپتیکی موازی‌ساز موقعیت‌دهی شده‌است.

پ- توری را روی میز منشور مستقر کرده و تلسکوپ را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که نوری که از شکاف می‌گذرد از میان منشور بگذرد (هنگامی‌که از بالا به آن نگاه می‌شود، به شکل (۱) مراجعه کنید) و طیف را می‌توان در تلسکوپ مشاهده کرد.

ت- برای انجام دقیق‌تر آزمایشات بعدی، توری را روی محور چرخش تلسکوپ و عمود بر محور اپتیکی موازی‌ساز (مرکز میز منشور) قرار دهید.

با کاهش پهنای شکاف تفکیک‌پذیری افزایش می‌یابد و همزمان با آن شدت نور طیفی کاهش می‌یابد.

ث- با استفاده از پیچ میکرومتر شکاف (e1)، پهنای شکاف را به‌صورت مناسب تنظیم کنید.



شکل (۷): چیدمان کامل آزمایش پس از تنظیم.

❖ انجام آزمایش

ب-کالیبره کردن طیف سنج با استفاده از لامپ طیفی هلیم

توجه: طیف‌سنج با دو ورنیه مخالف تجهیز شده‌است. به‌منظور کمینه کردن خطاهای خوانش و جبران هر گونه عدم تطابق مرکزیت درجه‌بندی دایره نسبت به محور چرخش، مقدار میانگین هر دو خوانش مشخص شود.

الف- اندازه‌گیری طیف خط هلیم:

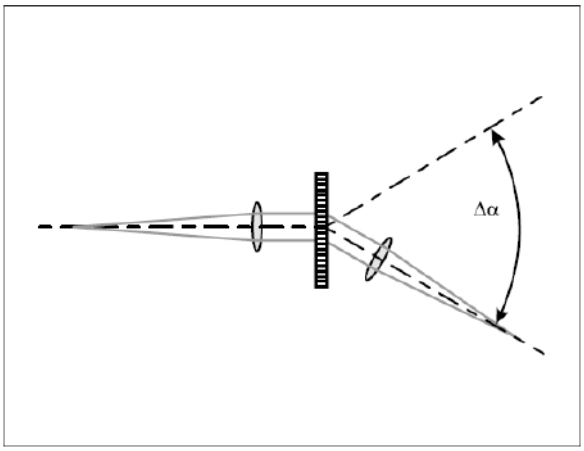
۱- پیچ دستگیر تلکسوپ (f4) را محکم کنید و تار رتیکول عمودی تلسکوپ را با هر خط طیفی مراتب پراش برابر در هر دو سمت بیشینه اصلی را به نوبت با استفاده از پیچ تنظیم ظریف (f3) تنظیم کنید.

موقعیت متناظر تلسکوپ را با استفاده از ذره بین (f6) و ورنیه (f5) روی دایره مدرج بخوانید و این مقدار را در جدول آزمایش (جدول (۱)) ثبت کنید.

جدول (۱): مقادیر اندازه گیری‌شده برای لامپ طیفی هلیم، اندازه‌گیری برای مرتبه اول پراش (n=۱)

(داده‌های مستندات علمی به طول‌موج‌ها در هوا در دما و فشار استاندارد و در خلاء رجوع می‌کند (برای توصیف $\Delta\alpha$ به شکل (۸) مراجعه کنید).

$\alpha_{\text{right}}(^\circ)$	$\alpha_{\text{Left}}(^\circ)$	$\Delta\alpha(^\circ)$	$\lambda(\text{nm})$	$\lambda_{air}(\text{nm})$	$\lambda_{\text{vacuum}}(\text{nm})$
				۴۴۷٫۰	۴۴۷٫۱
				۴۷۱٫۲	۴۷۱٫۳
				۴۹۲٫۱	۴۹۲٫۲
				۵۰۱٫۵	۵۰۱٫۶
				۵۸۷٫۴	۵۸۷٫۶
				۶۶۷٫۶	۶۶۷٫۸
				۷۰۶٫۳	۷۰۶٫۵



شکل (۸): دیاگرام طرحواره برای توصیف زاویه $\Delta\alpha$.

دکتر فاطمه دباغ کاشانی
دانشگاه علم و صنعت ایران

توجه: ممکن است با استفاده از طیف‌سنج توری خطوطی با شدت پایین مشاهده شود که متعلق به طیف متعلق با بخار فلز یا گاز نجیب مربوطه نباشد. به‌واسطه فرآیند ساخت، ممکن است گازهای دیگری نیز در حباب لامپ روشنایی وجود داشته باشد، در لامپ‌های بخار فلزی، آرگون (Ar) به‌صورت افزوده به‌عنوان گاز پایه وجود دارد.

۱- با استفاده از رابطه $\lambda = \frac{\sin\frac{\Delta\alpha}{2}}{n.N}$، n- مرتبه پراش، $\Delta\alpha$ اختلاف زاویه بین خطوط طیفی مرتبه n ام راست و چپ، N تعداد خطوط توری، λ طول‌موج هستند- جدول (۱) را تکمیل کنید.

ب- تعیین فاصله بین دو خط D سدیم:

۱- لامپ طیفی هلیم را خارج کرده و لامپ طیفی سدیم را جایگزین آن کنید. هنگامی‌که شکاف روشن‌سازی می‌شود، مجدداً اطمینان حاصل کنید که لامپ در محور اپتیکی موازی‌ساز موقعیت‌دهی شده‌است.

۲- دو خط زرد D سدیم را برای مرتبه اول پراش در دو سمت بیشینه اصلی پیدا کنید.

۳- تار رتیکول عمودی تلسکوپ را با هر خط طیفی تنظیم کنید و مقدار زاویه را بخوانید و مقادیر را در جدول آزمایش (جدول (۲)) ثبت کنید.

۳- اندازه‌گیری را برای خطوط مرتبه دوم پراش تکرار کنید. جدول (۲) را تکمیل کنید.

جدول (۲): خطوط D سدیم، اندازه‌گیری‌شده در مراتب پراش n=۱ و n=۲.

خط	n	$\alpha_{right}(^\circ)$	$\alpha_{Left}(^\circ)$	$\Delta\alpha(^\circ)$	$\lambda(nm)$	$\lambda_{Lit.}(nm)$
D_1	۱					۵۸۹٫۴۱۸
	۲					
D_2	۱					۵۸۸٫۸۲۱
	۲					

اطلاعات افزوده

طیف‌سنج و زاویه‌سنج به‌عنوان طیف‌سنج منشوری نیز استفاده می‌شوند. در این پیکربندی، انحراف وابستگی خطی به طول‌موج ندارد، و ما برای انجام اندازه‌گیری‌ها نیاز به منحنی کالیبراسیون داریم. این کار با استفاده از لامپ طیفی با طیف معلوم (شناخته‌شده) انجام می‌شود. همچنین، تفکیک‌پذیری طیف‌سنج منشوری به بزرگی یک طیف‌سنج توری خوب نیست.

هر چند، شدت طیف منشور بیشتر است، زیرا بخش قابل‌توجهی از تابش در طیف‌سنج توری در مرتبه صفر پراشیده‌نشده تلف می‌شود، و باقی‌مانده در چندین مرتبه پراش در دو سمت مرتبه صفرم پراش توزیع می‌شود. در نتیجه، خطوط طیفی با شدت کمتر شاید قابل مشاهده باشند، یا اصلاً با طیف‌سنج توری قابل مشاهده نیستند.

دانشگاه علم و صنعت ایران