اندازه‌گیری ثابت ریدبرگ

هدف آزمایش:

مطالعه طیف اتم هیدروژن و بدست آوردن ثابت ریدبرگ

مقدمه:

اتم هیدروژن ساده‌ترین سیستم کوانتومی است و شامل یک پروتون و یک الکترون می‌باشد. تئوری الکترودینامیک کوانتومی قادر است با دقت بسیار زیادی (حدود $۱/۱۰^{۸}$) انرژی‌های حاصل از گذار الکترون‌ها در اتم هیدروژن را توجیه کند. اما بدون استفاده از تصحیح‌های نسبیتی، ساختمان ریز و سایر مراتب بالاتر هم می‌توان با دقتی نسبتاً خوب ($۱/۱۰^{۵}$)، به همان نتایج رسید؛ چنین دقتی برای لوازم موجود درآزمایشگاه کفایت می‌کند. این روش به تئوری بور معروف است. فرضیات بور عبارتند از:

الف) الکترون در مداری به دور هسته قرار دارد. به طوری‌که اندازه حرکت زاویه‌ای آن برابر مضرب صحیحی از ثابت پلانک تقسیم بر ۲π است.

ب) در این مدار، الکترون‌ها انرژی تابش نمی‌کنند؛ مگر اینکه عمل گذار به مدارهای دیگر صورت گیرد.

با استفاده از دو اصل بالا می‌توان شعاع مسیر حرکت الکترون و انرژی کل الکترون (انرژی جنبشی + انرژی پتانسیل) را بدست آورد. نیروی جاذبه این الکترون با بار e- و پرتون با بار e+ (یا هسته با بارZe) نیروی کولنی است که در حالت تعادل برابر نیروی جانب مرکز است.

$$mvr = n\hbar \qquad \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(Ze).e}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$T = \frac{1}{2}mv^2$$

با استفاده از روابط بالا برای $Z=۱$ در اتم هیدروژن، شعاع و انرژی هر لایه بصورت زیر در می‌آید:

$R_\infty = 1.0974 \times 10^5 cm^{-1}$ و $R_\infty hc = 13.605\ ev$ و $E_n = -hcR_\infty \frac{1}{n^2}$

R_∞به عدد موجی *ریدبرگ* معروف است. ترازهای انرژی هیدروژن در شکل۱ نمایش داده شده است. انرژی هر گذار به صورت زیر داده می شود:

اندیس i مربوط به حالت اولیه و اندیسf مربوط به حالت نهایی است. از آنجایی که فرکانس نور با انرژی از رابطه$\mathrm{E} = \mathrm{h}\nu$ تبعیت می‌کند،$\frac{1}{\lambda} = \frac{E}{\mathrm{hc}}$. بنابراین می‌توان طول موج نور ساطع شده را از رابطه زیر که با دقت بسیار زیادی با اطلاعات بدست آمده از تجربه مطابقت دارد، بدست آورد.

خطوط طیفی را بر حسب تراز نهایی گذار می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی کرد. در صورتیکه n_f=۱ باشد دراین صورت n_i≥۲ و $\lambda_{i1} = 911\left(\frac{n_i^2}{n_i^2-1}\right) A°$ و تمام خطوط طیفی در ناحیه ماوراء بنفش قرار خواهند گرفت و سری بدست آمده بنام *سری لیمان* معروف است. از طرفی n_f=۲ و n_i≥۳ و $\lambda_{i2} = 3644\left(\frac{n_i^2}{n_i^2-4}\right) A°$و تمام خطوط طیفی در ناحیه مرئی قرار می‌گیرند و سری طیف‌های حاصل به *سری بالمر* معروف است.

اندازه‌گیری فرکانس نور تابش شده توسط اتم هیدروژن به دو صورت می‌تواند صورت گیرد:

۱- استفاده از خاصیت پراش از توری پراش

۲- استفاده از خاصیت پاشندگی دی‌الکتریک‌ها مثل منشور.

شکل۲ شمائی از یک توری پراش را نشان می‌دهد. چنانکه دیده می‌شود بین پرتوی که از یک شکاف عبور می‌کند و پرتوی که از شکاف دیگر آن می‌گذرد، اختلاف راه نوری وجود دارد که شرط تداخل سازنده به صورت زیر است:

d فاصله بین دو شکاف و λ طول موج نور و θ_i و θ_kزوایای پرتوهای تابشی و عبور کرده نسبت به خط عمود بر توری می‌باشند. می‌توان نشان داد که قدرت تفکیک توری به صورت $\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = nN$ می‌باشد، که nمرتبه پراش و N تعداد کل شکاف‌ها است.

وسایل آزمایش:

اسپکترومتر که در شکل۳ نشان داده شده است. یکی از اجزای آن کلیماتور است که از یک شکاف قابل تنظیم و یک عدسی محدب تشکیل شده است. تلسکوپ شامل یک عدسی شیئی و یک عدسی چشمی متحرک می‌باشد. برای تنظیم اسپکترومتر، نخست باید تلسکوپ را روی اشیاء بسیار دور دست تنظیم کنید؛ بطوری که بتوانید تصویر کاملاً واضحی را مشاهده کنید. سپس با چرخش عدسی محدب تصویر روشنی از شکاف را بوجود آورید. در این حالت اسپکترومتر تنظیم شده است و تا آخر آزمایش به آن دست نزنید.

☚ همین که طرح واضحی ببینید به این معناست که اسپکترومتر تنظیم است. می‌توانید به جای تنظیم در بینهایت، سعی کنید خط روشن مرکزی را با وضوح خوبی ببینید.

☚دقت ورنیه موجود در دستگاه برابر یک *دقیقه* است.

☚در صورت نیاز می‌توان از پیچ‌های دستگاه برای تغییرات جزئی صفحه چرخان وسط اسپکترومتر و تلسکوپ استفاده کرد.

دیگر وسایل آزمایش توری پراش، لامپ هیدروژن، لامپ سدیم و منبع تغذیه مربوط به هر کدام می‌باشد. همچنین برای بهتر دیدن ورنیه می‌توان از یک ذره‌بین استفاده کرد.

☚ توری پراش بسیار ظریف است و از دست زدن به سطح آن و حتی پاک کردن آن باید خودداری کرد.

دقت کنید که توری پراش باید بر پرتوهای نور عمود باشد. برای این منظور نخست با استفاده از چشم و به طور تقریبی توری را در عمودی‌ترین حالت نسبت به مسیر پرتو ورودی قرار دهید. سپس مطابق شکل۵ با اندازه‌گیری زاویه پراش یکی از طیفهای سدیم از دو طرف توری، مثلاً برای طیف زرد سدیم در مرتبه n=۲، θ_k و θ'_k را به‌دست می‌آوریم.

در این حالت $\Delta\theta = \theta'_k - \theta_k$و با چرخش پیچ واقع در سمت چپ دستگاه، توری را به اندازه $\frac{\Delta\theta}{2}$ چرخانده و بر پرتوهای نور عمود کنید.

شرح آزمایش:

آزمایش ۱ - تنظیم توری

لامپ سدیم را روشن کنید و صبر کنید تا شدت نور آن بیشینه شود. سپس توری را در محل آن قرار دهید. در حالتی که پرتو عبوری از مرکز علامت + روی چشمی می‌گذرد، پیچ تنظیم ورنیه را باز کرده و پس از صفر کردن، آن را محکم کنید. در این زمان سعی کنید توری را به طور تقریبی عمود بر پرتو عبوری تنظیم کنید. این کار باید با چرخش صفحه‌ای که توری روی آن قرار دارد انجام شود (تا پایان هر سه آزمایش دیگر این صفحه را نمی‌چرخانید).

برای یک طیف که تیز و مشخص‌تر می‌باشد، از دو طرف توری زاویه پراش θ_k و θ'_kرا به‌دست آورده و با چرخش توری به اندازه $\frac{\theta'_k - \theta_k}{2}$، آن را عمودکنید.

☚برای چرخاندن توری، ابتدا یک خط طیف مشخص را در وسط میدان دید قرار دهید، سپس چشمی را به اندازه ی $\frac{\Delta\theta}{2}$بچرخانید. آنگاه توری را بچرخانید تا آن خط طیف در وسط میدان دید قرار گیرد.

در این آزمایش از جدول۱ استفاده کنید.

☚ نکته مهمی که معمولاً به آن توجه نمی‌شود، وجود نورهای مزاحم است. عامل این نورها هم می‌تواند مربوط به آزمایش‌های دیگر در اطرافتان باشد و هم ممکن است از بازتاب‌های کدر نور لامپ سدیم یا هیدروژن از سطوح صاف میز ایجاد شود. حتماً تا آنجا که ممکن است از این چنین بازتاب‌هایی جلوگیری کنید.

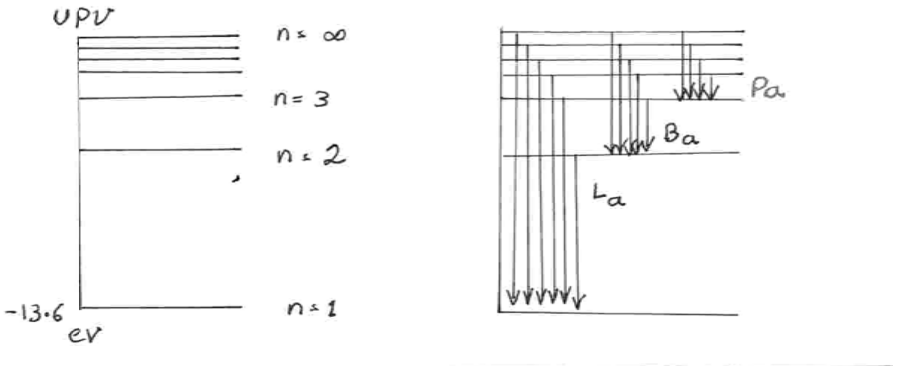
آزمایش ۲: بدست آوردن d

پس از اطمینان از عمود بودن توری، برای طول موج‌های مندرج در جدول۲ مربوط به لامپ سدیم،فاصله ثابت بین شکاف‌ها را به‌دست بیاورید.

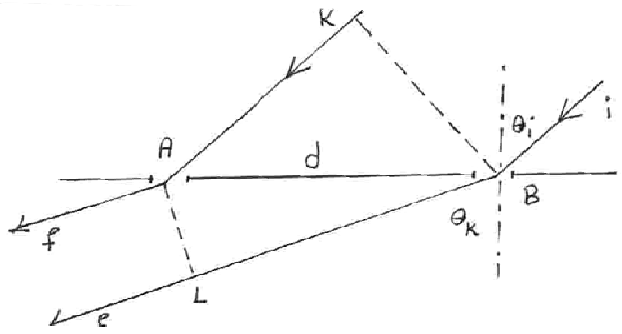
آزمایش ۳: بدست آوردن طیف‌های سری بالمر

لامپ هیدروژن را روشن کرده و برای طیفهای منفرد با رنگهایی که در جدول ۳ داده شده است طول موج رابدست آورید. برای انتخاب طیف مورد نظر، می‌توانید از نظر دستیار آزمایشگاه استفاده کنید.

تصاویر:

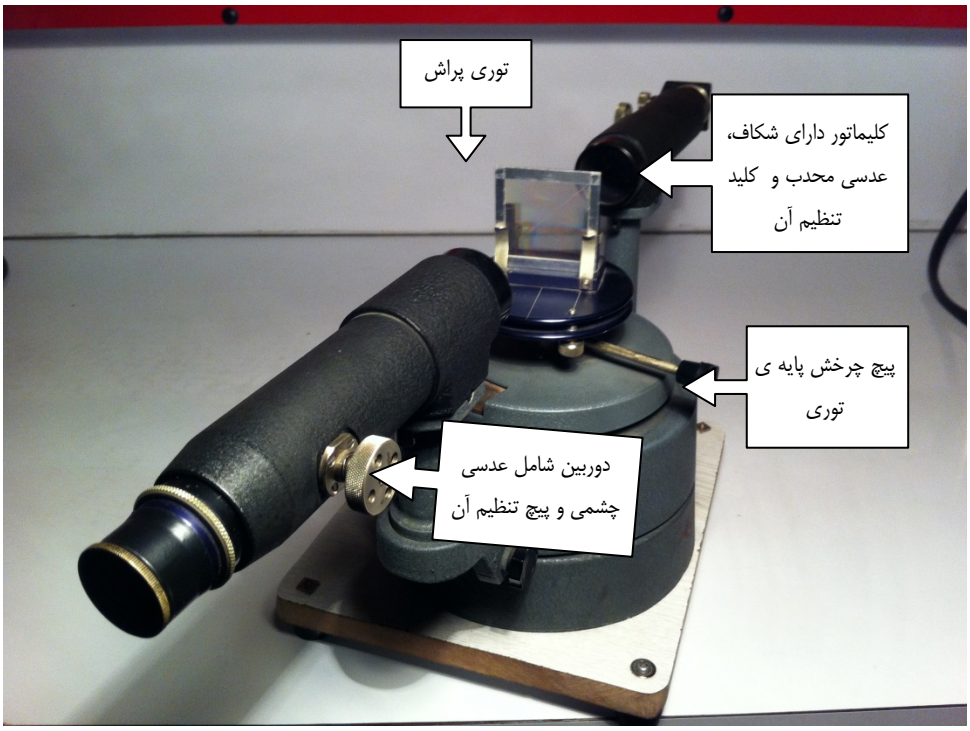


شکل۱.گذارهای مجاز برای اتم هیدروژن

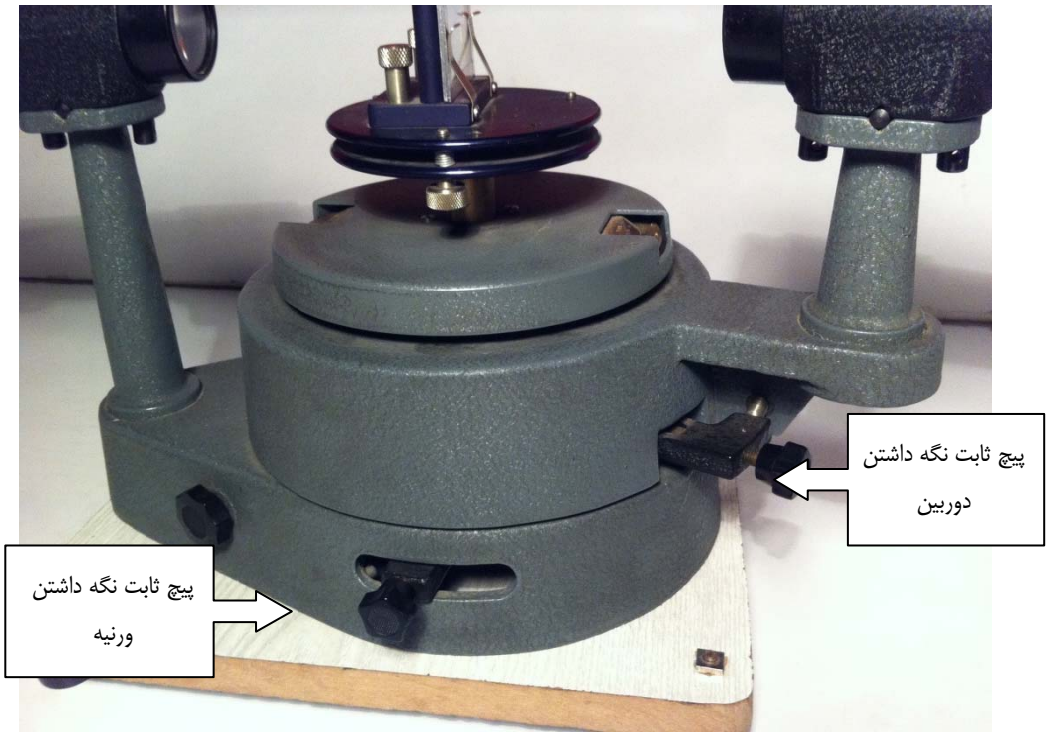


شکل۲. عبور نور از دو شکاف مجاور توری و ایجاد اختلاف راه نوری

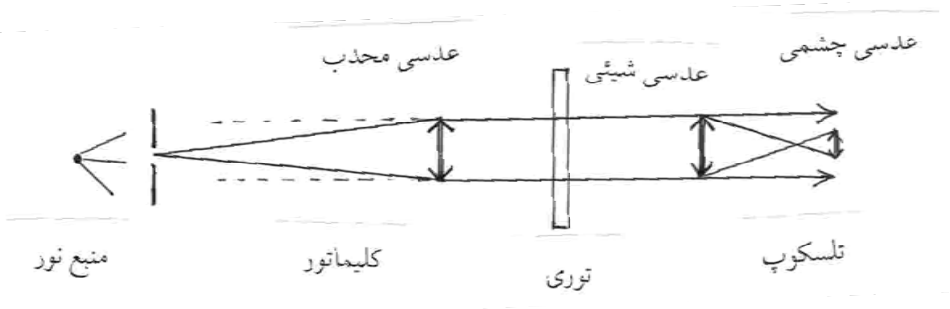
شکل ۳ (الف). لامپ هیدروژن



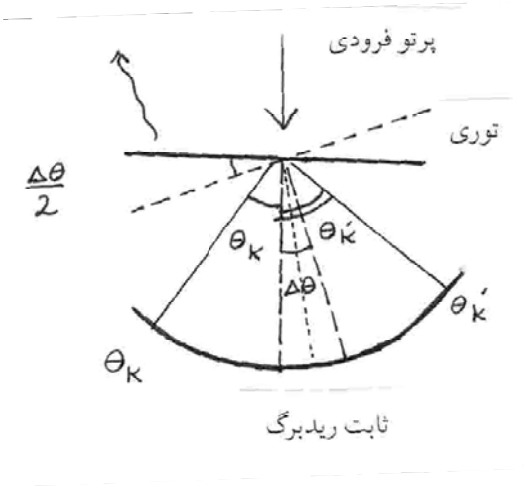
شکل ۳ (ب). طیف‌سنج نوری و اجزای آن



شکل۳ (ج). پیچ های تنظیم دستگاه



شکل۴. مسیر حرکت نور از لامپ تا چشم



شکل۵. عمود کردن توری

جداول و داده‌ها:

جدول۱- میزان چرخش مورد نیاز برای عمود ساختن توری

مرتبه پراش(n)	θ_k	$\theta_{k'}$	$\Delta\theta$	$\Delta\theta/2$

جدول۲ - فاصله بین شکافهای توری

	$\lambda(^oA)$	مرتبه پراش(n)	θ	d
قرمز	۶۱۵۴/۴			
زرد	۵۸۹۰			
سبز	۵۶۸۲/۷			

جدول۳- زاویه انحراف و طول موج چند طیف لامپ هیدروژن

	مرتبه پراش (n)	θ	Sinθ	λ(°A)
بنفش				
آبی				
سبز				
قرمز				

پرسش‌ها:

در زمان انجام آزمایش به سوالات زیر پاسخ دهید:

۱- مقدار $\bar{d}$ و خطای آن را بدست آورید. از طریق آن تعداد خط‌های توری در یک میلیمتر از آن را بدست آورید و با مقدار ثبت شده روی توری مقایسه کنید.

۲- طیف زرد لامپ سدیم در مرتبه دوم به دو خط تفکیک می‌شود. اختلاف زاویه بین این دو را اندازه گرفته و از آن اختلاف طول موج آن‌ها را محاسبه کنید.

پاسخ سوالات زیر را در جلسه بعد تحویل دهید.

۱- با استفاده از $\bar{d}$، ثابت ریدبرگ را بدست آورید و با مقدار تئوری مقایسه کنید.

۲- خطای کل آزمایش را بدست آورده و علل خطا را مشخص کنید.

۳- با داشتن انرژی تراز دوم $E_2 = -3.4eV$ برای اتم هیدروژن، انرژی ترازهای دیگر را بدست آورید.

۴- سری بدست آمده در گذارهای $n_f = 3$ چه نام دارد و چه طول موج‌هایی برای آن بدست می‌آید؟ آیا نور حاصل قابل مشاهده است؟

۵- رابطه $d(Sin\theta_t - Sin\theta_i) = n\lambda$ را اثبات کنید.

۶- اگر توری پراش ۶۰۰ شکاف در یک میلیمتر داشته باشد، برای مراتب یک و دو، طول موج‌های سدیم یعنی ۶۱۵۴/۳ و ۵۸۰۰ و ۵۶۸۲/۲ آنگستروم از چه زوایایی در تلسکوپ مشاهده می‌شود. (فرض کنید در $\theta = 0$ رتیکول بر شکاف کلیماتور منطبق باشد).

۷- از این آزمایش چگونه در تشخیص جنس مواد استفاده می‌شود؟

۸- توضیح دهید که ثابت ریدبرگ چیست و اندازه‌گیری آن چه اهمیتی دارد؟

۹- چرا توری پراش باید بر پرتوهای نور عمود باشد؟

یادداشت ----------