

بسم الله الرحمن الرحيم

گزارش آزمایشگاه فیزیک ۴ – دکتر ایرجی زاد

۱۸ فروردین ماه سال ۱۴۰۰

گروه اول – چهارشنبه از ساعت ۱۰:۰۰ الی ۱۴:۰۰

آزمایش پنجم

آزمایش ثابت ریدبرگ

حسین محمدی

۹۶۱۰۱۰۳۵

در این آزمایش سعی کردیم که مقدار ثابت ریدبرگ را محاسبه کنیم، برای این کار نیاز به روشی برای طیف سنجی اتم هیدروژن داشتیم و نیاز داشتیم که بتوانیم باریکه ی نور خروجی را پراشیده کنیم؛ به همین دلیل نیاز به وسایل اپتیکی یعنی طیف سنج نوری و توری پراش داشتیم.

ابتدا طیف سنج را تنظیم کردیم و سپس با به دست آوردن تعداد شکاف های طوری بر واحد طول، اقدام به بدست آوردن طول موج طیفهای گسیلی اتم هیدروژن کردیم و با جاگذاری در رابطه ریدبرگ، ثابت ریدبرگ یا R_{∞} را به دست آوردیم.

آزمایش اول:

در این آزمایش هدف ما تنظیم کردن طیف سنج بود، مطابق روشی که در دستور کار توضیح داده شد، بایستی اختلاف زاویه ی یک خط مشخص را که روی رتیکول افتاده است به دست بیاوریم، و با تفاضل آن و چرخاندن توری پراش، باریکه نور خروجی از موازی ساز را بر توری پراش عمود کنیم.

جدول داده های این آزمایش چنین است:

جدول 1: میزان چرخش مورد نیاز برای عمود ساختن توری

θ_k'	θ_k	مرتبه پراش (n)
20.91	20.91	1
20.14	20.14	1
21.89	21.89	1
20.99	20.99	1

اگر بخواهیم مقدار $\Delta\theta = \theta_k - \theta_{k'}$ را حساب کنیم و به اندازه نصف آن صفحه حامل را بچرخانیم، می بینیم که این مقدار صفر است و این یعنی که توری پراش از قبل بر باریکه های نور خروجی از موازی ساز عمود بوده است. پس این قسمت از آزمایش کامل و بدون نقص انجام شده است.

آزمایش دوم:

در این آزمایش هم هدف ما به دست آوردن کمیت d یا تعداد شکاف های توری پراش در هر میلی متر بود.

ابتدا جدول داده های این آزمایش را ببینید:

جدول ۲: زاویه پراش مرتبه اول طیف اتم سدیم برای به دست آوردن d

Colour	$\lambda(A)$	n(order)	$\theta(deg)$
Red	۶۱۵۴,۴	۱	۲۱,۸۹
Yellow	۵۸۹۰	۱	۲۱,۰۱
Green	۵۶۸۲,۷	۱	۲۰,۱۱

حالا به کمک رابطه ی $d(\sin(\theta)) = n\lambda$ می توان کمیت d را خواندن (بر حسب آنگستروم) و با ضرب کردن در فاکتور مناسب طول می توان تعداد خط بر هر میلیمتر را خواند.

جدول ۳ : زاویه پراش مرتبه اول طیف اتم سدیم برای به دست آوردن d

مرتبۀ	d	N(mm)
۱	۱۶۵۰۷,۴۴	۶۰۵,۷۸۷۵
۲	۱۶۴۲۸,۱۵	۶۰۸,۷۱۱۲
۳	۱۶۵۲۷,۹۵	۶۰۵,۰۳۵۶
میانگین	۱۶۴۸۷,۸۵	۶۰۶,۵۱۱۴

مقدار d فاصله ی بین دو خط است و برای خواندن تعداد خطوط در یک میلی متر باید برای هر سطر از جدول مقدار $\frac{10^7}{d}$ را تشکیل دهیم (هر 10^7 آنگستروم برابر با یک میلی متر است.) تا بتوان تعداد خطوط در یک میلی متر را خواند.

\bar{d} به دست می آید:

$$\bar{d} = 606.5 \frac{1}{mm}$$

آزمایش سوم:

حالا وقت به دست آوردن ثابت ریدبرگ است، در این آزمایش زوایای مرتبه اول پراش طیف اتم هیدروژن را خواندیم و با استفاده از رابطه $n\lambda = d \sin(\theta)$ طول موج طیف اتم هیدروژن را حاصل کردیم و با جایگذاری در رابطه ریدبرگ، ثابت ریدبرگ را به دست آوردیم.

جدول داده های این آزمایش را ببینید:

جدول ۴ : زاویه پراش مرتبه اول طیف اتم هیدروژن برای استفاده در بدست آوردن ثابت ریدبرگ

Colour	n(مرتبۀ پراش)	θ	$\sin(\theta)$	$\lambda(A)$	$\lambda(nm)$
Violet	۱	۱۴,۴۱	۰,۲۴۸۸۵۹	۴۱۰۳,۱۴۹	۴۱۰,۳۱۴۹
Blue	۱	۱۵,۳۷	۰,۲۶۵۰۵۱	۴۳۷۰,۱۲۶	۴۳۷,۰۱۲۶
Green	۱	۱۷,۳۲	۰,۲۹۷۷۰۸	۴۹۰۸,۵۶۷	۴۹۰,۸۵۶۷
Red	۱	۲۳,۶۲	۰,۴۰۰۶۶۹	۶۶۰۶,۱۶۸	۶۶۰,۶۱۶۸

برای حاصل کردن طول موج ها از رابطه $n\lambda = d \sin(\theta)$ استفاده کرده ایم.

و بایستی از رابطه ی $\frac{1}{\lambda_{if}} = R_{\infty}(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2})$ ، مقدار ثابت ریذبرگ را محاسبه کنیم، توجیه کنید که ما تمامی گذارهای بالمر را می شناسیم و می دانیم که از $n_i = 3, 4, 5, 6$ به $n_f = 2$ رخ می دهند؛ همچنین چون طول موج های بر حسب نانومتر هستند، پس واحد ثابت ریذبرگ عکس نانومتر می شود. با جایگذاری در رابطه بالا، به جدول زیر برای مقادیر R_{∞} می رسیم:

جدول ۵: ثابت ریذبرگ که به ازای طول موج های سری بالمر به دست آمده است.

$\lambda \text{ (nm)}$	$R_{\infty}(\frac{1}{nm})$
۴۱۰,۳۱۴۹	۰,۰۱۰۹۶۷
۴۳۷,۰۱۲۶	۰,۰۱۰۸۹۶
۴۹۰,۸۵۶۷	۰,۰۱۰۸۶۵
۶۶۰,۶۱۶۸	۰,۰۱۰۸۹۹
میانگین	۰,۰۱۰۹۰۷

و با در دست داشتن مقدار دقیق ثابت ریذبرگ، می توانیم خطای نسبی را هم بخوانیم:

$$R_{\infty} = 0.01097373 \frac{1}{nm}$$

$$\Delta R_{\infty} = \frac{0.01097373 - 0.010907}{0.01097373} = \pm 0.608\%$$

پرسش ها:

۱- مقدار \bar{d} و خطای آن را به دست آورید. از طریق آن تعداد خط های یک توری در یک میلی متر را به دست آورید و با مقدار ثبت شده روی توری مقایسه کنید.

$$\bar{d} = 606.5 \frac{1}{mm}$$

در آزمایش دوم مقدار \bar{d} را حاصل کردیم و خطاهای آن را محاسبه می کنیم:

خطای کاتوره ای آن که واریانس آن است در اکسل محاسبه شده است و مقدار $\delta \bar{d} = 1.94 \frac{1}{mm}$ است.

همانطور که فرمودید مقدار ثبت شده روی توری عدد ۶۰۰ خط بر میلی متر بود، عددی که ما به دست آوردیم بزرگ تر است و این اختلاف را این طور می توان توجیه کرد که:

- مقدار زاویه θ که توسط آزمایشگر حاصل شده است، دارای خطاست، (چرا که خواندن از روی ورنیه ی کولیس، نیاز به این دارد که تشخیص دهیم که کدام خط بر خطوط دیگر منطبق شده است و ممکن است در این تشخیص دچار خطا شده باشیم).
- همچنین طول موج های گزارش شده برای اتم سدیم دارای خطای یک آنگستروم هستند.

۲- طیف زرد لامپ سدیم در مرتبه دوم به دو خط تفکیک می شود. اختلاف زاویه بین این دو را اندازه گیری کنید و از طریق آن اختلاف طول موج را محاسبه کنید.

(خط D_1 در زاویه 45.55° و خط D_2 در زاویه 45.61° مشاهده شده است).

باز از رابطه توری پراش استفاده می شود فقط این دفعه توجه کنید که پراش مرتبه دوم است پس $n = 2$ و می توان طول موج ها را مطابق جدول زیر به دست آورد:

جدول ۶: طول موج های رنگ زرد اتم سدیم در مرتبه دوم

$\theta(deg)$	$n(order)$	$\lambda(A)$
۴۵,۵۵	۲	۵۸۸۵,۰۲۳
۴۵,۶۱	۲	۵۸۹۱,۰۶۶

حالا اختلاف این دو را می توانیم به دست آوریم که $\Delta\lambda = 6.0423 \text{ A}$ است؛ بدیهی است که اگر از اول اختلاف زاویه $\Delta\theta = 0.06$ را جایگذاری می کردیم، به همین اختلاف برای طول موج می رسیدیم.

سوالات:

۱- با استفاده از \bar{d} ، ثابت ریذبرگ را به دست آورده و با مقدار تئوری مقایسه کنید.

در آزمایش سوم مقدار این ثابت را حاصل کردیم و به دست آوردیم که:

$$R_{\infty}^{\text{آزمایش}} = 0.010907 \frac{1}{nm}$$

و دیدیم که از مقدار نظری کمتر است و درصد خطای آن ۰.۶۰۸٪ بود.

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

در به دست آوردن طول موج طیف اتم هیدروژن از توری پراش، دو جا خطا وارد محاسبات می شود:

- خطای d که مقدار آن را در قسمت پرسش ها به دست آوردیم.
 - خطای زوایای خوانده شده توسط آزمایشگر یا θ که این مورد با اندازه گیری های زیاد به خطای کاتوره ای میل می کند. مقدار این خطا را نیز برابر یک دقیقه در نظر می گیریم یعنی کوچکترین واحد اندازه گیری مان.
 - خطاهای دیگری هم می تواند وارد آزمایش شود به عنوان مثال :
 - عمود نبودن توری پراش بر باریکه های نور خروجی از موازی ساز باعث خطا می شود؛ دقت کنید که ما در حد دقت خودمان (یعنی یک دقیقه)، این تعامد را انجام داده ایم.
 - تنظیم کردن دوربین چشمی به طوری که نور بی نهایت واضح دیده شود، نیز باید به درستی انجام شود.
 - چون خطوط طیفی دارای ضخامت هستند، منطبق کردن رتیکول بر آنها کمی دشوار است، البته این انطباق یا عدم انطباق رتیکول بر خط طیفی، گاهی در حد دقت های ما خطایی ایجاد نمی کند.
 - خطای آزمایشگر در خواندن این داده ها از روی ورنیه ی کولیس.
 - ممکن است دریچه ی ورود نور به طیف سنج اجازه عبور نور از محیط را بدهد که این باعث اعوجاج در طرح ظاهر شده روی رتیکول می شود و باید جلوی این خطا را با پوشاندن کامل دریچه در مقابل نورهای مزاحم گرفت.
- خطای کاتوره ای ثابت ریدبرگ را به دست می آوریم^۱:

$$\delta R_{\infty}^{\text{آزمایش}} = 4.29 \times 10^{-5} \frac{1}{nm} = 0.0000429 \frac{1}{nm}$$

که اندازه گیری این ثابت ساختار زیراتمی با این دقت به نظر بنده موفقیت خوبی برای آزمایشگاه عمومی است. خطای کمیت وابسته را هم می توان حساب کرد:

$$(\delta \lambda)^2 = (\delta d \sin(\theta))^2 + (d \cos(\theta) \delta \theta)^2$$

این کار را هم در فایل اکسل انجام داده ام و جدول زیر به دست آمده است:

^۱ در فایل اکسل قابل مشاهده است.

جدول ۷: خطای وابسته طول موج های به دست آمده برای طیف اتم هیدروژن

$\lambda(A)$	خطای کمیت وابسته (آنگستروم)
۴۱۰۳,۱۴۹	۱۳,۹۱۴۴
۴۳۷۰,۱۲۶	۱۴,۷۱۵۱۱
۴۹۰۸,۵۶۷	۱۶,۳۴۵۱
۶۶۰۶,۱۶۸	۲۱,۵۶۹۶۲

پس به اندازه ماکسیمم این خطاها یعنی حدود ۲۲ آنگستروم در به دست آوردن طول موج های اتم هیدروژن خطا داشته ایم.

حالا نوبت به محاسبه ی خطای ثابت ریدبرگ می رسد چون مقادیر و ثابت هستند و خطا ندارند، به مقدار رابطه زیر می رسم:

$$\delta R_{\infty} = \left| \frac{\delta \lambda}{\lambda^2} \times \frac{1}{\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}} \right|$$

و جدول زیر را برای خطای ثابت ریدبرگ به دست می آوریم:

جدول ۸: خطای وابسته ثابت ریدبرگ حاصل شده برای طیف اتم هیدروژن

$\lambda(A)$	خطای کمیت وابسته طول موج (آنگستروم)	خطای وابسته ثابت ریدبرگ (معکوس نانومتر)
۴۱۰۳,۱۴۹	۱۳,۹۱۴۴	۰,۰۰۰۰۳۷۲
۴۳۷۰,۱۲۶	۱۴,۷۱۵۱۱	۰,۰۰۰۰۳۴۸
۴۹۰۸,۵۶۷	۱۶,۳۴۵۱	۰,۰۰۰۰۳۰۵
۶۶۰۶,۱۶۸	۲۱,۵۶۹۶۲	۰,۰۰۰۰۲۲۲

و ماکسیمم خطا را به عنوان خطا معرفی می کنیم:

$$\delta R_{\infty} = ۰,۰۰۰۰۰۳۷۲ \frac{1}{nm}$$

می توان دید که خطای کمیت وابسته بیشتر است و شاید قابل اعتماد تر باشد.

۳- با داشتن انرژی تراز دوم یعنی $E_2 = -3.4 \text{ ev}$ برای اتم هیدروژن، انرژی ترازهای دیگر را به دست آورید.

چون می دانیم که $E_2 = -\frac{E_1}{4}$ پس انرژی حالت پایه برابر $E_1 = -13.6 \text{ ev}$ است و انرژی ترازهای مختلف برابر است با:

جدول ۹: انرژی ترازهای مختلف اتم هیدروژن

شماره تراز	انرژی تراز (الکترون ولت)
۱	-۱۳,۶
۲	-۳,۴
۳	-۱,۵۱
۴	-۰,۸۵
۵	-۰,۵۴
۶	-۰,۳۷۸
۷	-۰,۲۷۸
۸	-۰,۲۱۳
۹	-۰,۱۶۸
۱۰	-۰,۱۳۶

۴- سری بدست آمده در گذارها $n_f = 3$ چه نام دارد و چه طول موج هایی برای آن به دست می آید؟ آیا نور حاصل قابل مشاهده است؟

این سری پاشن نام دارد و بر طبق اطلاعات موجود در اینترنت این طول موج ها وجود دارند:

$$\left(\frac{1}{\lambda} = R_{\infty} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)\right) \text{ (رابطه طول موج ها)}$$

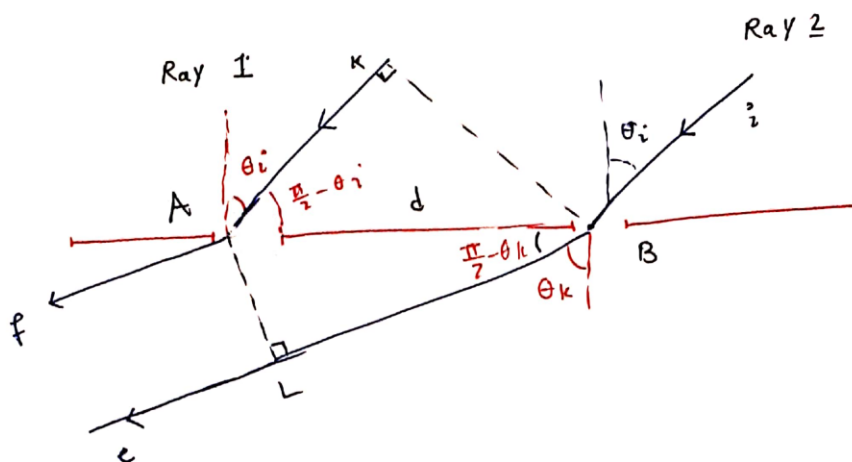
جدول ۱۰: انرژی گذارهای سری پاشن یا گذارها به تراز ۳^۲

λ (nm)	n
۱۸۷۰	۴
۱۲۸۰	۵
۱۰۹۰	۶
۱۰۰۰	۷
۹۵۴	۸
۸۲۰	∞

و تمامی طول موج های این سری در ناحیه فروسرخ هستند. (بالتر از ۷۴۰ نانومتر دیگر مرئی نیست و طبق دسته بندی سنتی فروسرخ نام دارد.)

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

^۲ توجه کنید منظور از n در جدول تراز است که الکترون به آن می رود.



از منظر موج مرئی که هرگاه اختلاف راه دو موج، مغزی صحیح از λ باشد، در این صورت مدافل سازنده است.

نویسنده که در این (1) در شکل بالا، نسبت به این (2)، مسیر KA را به هم پیوسته است، هم چنین پس از دو به هم پیوسته است. این (2)، راه BL را به هم پیوسته است. تفاضل این دو راه، باید مغزی صحیح از λ باشد.

$$\widehat{KAB} = \frac{\pi}{2} - \theta_i \rightarrow \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta_i\right) = \frac{\overline{KA}}{d} \rightarrow \overline{KA} = d \sin \theta_i$$

$$\widehat{ABL} = \frac{\pi}{2} - \theta_k \rightarrow \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta_k\right) = \frac{\overline{BL}}{d} \rightarrow \overline{BL} = d \sin \theta_k$$

پس اختلاف راه بین دو موج $\overline{BL} - \overline{KA}$ است و شرط سازنده بر مدافل این است که:

$$\overline{BL} - \overline{KA} = n\lambda \rightarrow d (\sin \theta_k - \sin \theta_i) = n\lambda$$

که n جان مرتبه پراش می شود. پس به راحتی حکم ثابت می شود.

۶- اگر توری پراش ۶۰۰ شکاف در یک میلی متر داشته باشد، برای مراتب یک و دو، طول موج های سدیم یعنی، ۶۱۵۴.۳ و ۵۸۰۰ و ۵۶۸۲.۲ آنگستروم در چه زوایایی در تلسکوپ مشاهده می شوند؟ (فرض کنید که در $\theta = 0$ رتیکول بر شکاف کلیما تور منطبق باشد.)

ابتدا d را بر حسب آنگستروم حساب می کنیم، توجیه کنید که d فاصله ی بین دو شکاف متوالی است پس مطابق صورت سوال، فاصله ی بین دو شکاف متوالی برابر $\frac{1}{6} mm$ است و اگر به آنگستروم تبدیل کنیم:

$$d = 16666.67 \text{ \AA}$$

حالا از رابطه پراش استفاده می کنیم تا زوایای مشاهده شده را به دست بیاوریم^۳:

جدول ۱۰: زوایای خوانده شده روی دوربین چشمی برای مرتبه اول پراش طیف سدیم

λ	مرتبه	$\sin(\theta)$	θ (rad)	θ (deg)
۵۶۸۲,۲	۱	۰,۳۴۰۹۳۲	۰,۳۴۷۹۰۸	۱۹,۹۳
۵۸۰۰	۱	۰,۳۴۸	۰,۳۵۵۴۳۷	۲۰,۳۷
۶۱۵۴,۳	۱	۰,۳۶۹۲۵۸	۰,۳۷۸۲۱	۲۱,۶۷

جدول ۱۱: زوایای خوانده شده روی دوربین چشمی برای مرتبه دوم پراش طیف سدیم

λ	مرتبه	$\sin(\theta)$	θ (rad)	θ (deg)
۵۶۸۲,۲	۲	۰,۶۸۱۸۶۴	۰,۷۵۰۳۰۸	۴۲,۹۹
۵۸۰۰	۲	۰,۶۹۶	۰,۷۶۹۸۱۱	۴۴,۱۱
۶۱۵۴,۳	۲	۰,۷۳۸۵۱۶	۰,۸۳۰۸۶۶	۴۷,۶۱

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

می توانیم طیف هر عنصر را که به منزله ی اثر انگشت آن عنصر است را شناسایی کنیم و آن را در بانکی اطلاعات ذخیره کنیم. سپس برای شناسایی عناصر سازنده یک ماده، می توانیم طیف سنجی را انجام دهیم، و طیف یافته شده را با طیف های موجود در بانک اطلاعاتی ذخیره کنیم، با این تطبیق می توان عناصر سازنده را پیدا کرد. امروزه در شناسایی جرایم، در پزشکی و در سایر اقدامات شناسایی عنصر از این روش استفاده می شود و طیف سنجی یک روش مطمئن و سریع برای یافتن عناصر سازنده یک ماده است.

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

محاسبه کردن طیف اتم ها و طیف نگاری اتم ها در اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰ بسیار رایج بود و آقای یوهانس ریدبرگ سوئدی هم به این موضوع علاقه مند بود و مدلی را برای توجیه طیف اتم های گروه قلیایی ارائه کرد که از قضا برای اتم هیدروژن بسیار خوب کار می کرد. رابطه ای که ایشان برای بدست آوردن طول موج گذارها ارائه کرده بود دارای یک ثابت بود که بعدا به افتخار ایشان به اسم ثابت ریدبرگ نام گذاری شد.

$$\frac{n}{N_0} = \frac{1}{(m_1 + e_1)^2} - \frac{1}{(m_2 + e_2)^2}$$

تصویر اول: دست نوشته ی آقای ریذبرگ و رابطه ی معروف طیف اتم هیدروژن

و بعد ها نیلز بور به کمک تئوری خود توانست مقدار دقیق این ثابت را به دست بیاورد.

$$R_{\infty} = \frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^3 c}$$

یافتن مقدار این ثابت از اهمیت بالایی برخوردار است چرا که اولاً: طیف سنجی اتم های قلیایی به کمک این روابط انجام می شد و این ثابت می توانست پیش بینی کننده طیف اتم های قلیایی باشد؛ در اواخر قرن نوزدهم که هیچ تئوری واضح و دقیقی برای پیش بینی گذارها و احتمال آن ها نبود؛ روابطی که آقای ریذبرگ و بالمر و سایرین ارائه می کردند، اگر چه ماهیت بنیادی نداشت ولی حداقل قدرت پیش بینی کردن گذارها را داشت.

ثانیاً: این روابط به ما مقداری عددی برای طول موج گذار های فرو سرخ و یا فرابنفش می دادند، در حالی که اندازه گیری آنها در سالهای مذکور کمی دشوار و برای فرابنفش غیر ممکن بود.

ثالثاً: بعدها مشخص شد که اطلاعات جزئی تری از الکترون به ما می دهد، مثل سرعت کلاسیکی آن در مدارها بور و اندازه شعاع مدارهای بور و...

رابعاً: پیش بینی انرژی یونش اتم هایی که در لایه آخر الکترونی خود دقیقاً یک الکترون دارند با کمک این ثابت انجام می شد و به نتایج خوبی منتج شد.