

به نام خداوند جان و خرد



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

هدف آزمایش :

اندازه گیری طول موج های طیف گسیلی اتم هیدروژن

بررسی طیف های نشری عناصر

تهیه و تنظیم گزارش :

* امیررضا حکیمی ۴۰۳۱۱۴۰۲

شکوه شریعتمداریان ۴۰۳۱۱۰۲۵

امیرمحمد عبدالله پور ۴۰۳۱۱۰۳۲

تئوری آزمایش :

در فیزیک کلاسیک ، ساختار اتم بر اساس مدل سیاره‌ای توصیف می‌شود ؛ به این صورت که الکترون‌ها در مدارهای دایروی به دور هسته حرکت می‌کنند و نیروی جاذبه الکترواستاتیکی بین هسته و الکترون، نقش نیروی مرکز گرا را ایفا می‌کند. این نیرو طبق قانون کولن به صورت زیر بیان می‌شود :

$$F = K \frac{e^2}{r^2}$$

که در آن e بار الکترون ، r فاصله الکترون از هسته است. در حرکت دایروی ، این نیرو باید برابر نیروی مرکز گرا باشد :

$$F = K \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

این رابطه تنها پایداری مکانیکی مدار را توضیح می‌دهد، اما از دید الکترومغناطیس کلاسیک ، یک مشکل جدی وجود دارد . طبق معادلات ماکسول، هر ذره باردار که دارای شتاب باشد، باید انرژی به صورت تابش الکترومغناطیسی از دست بدهد . از آنجا که حرکت دایروی یک حرکت شتاب دار است، الکترون باید به طور پیوسته انرژی تابش کند ، شعاع مدار آن کاهش یابد و در نهایت به هسته سقوط کند . این نتیجه با واقعیت تجربی (پایداری اتم‌ها) در تضاد کامل است و نشان‌دهنده ناکارآمدی فیزیک کلاسیک در مقیاس اتمی می‌باشد.

برای حل این تناقض ، نیلز بوهر در سال 1913 مدلی نیمه کوانتومی برای اتم هیدروژن ارائه داد . او سه فرض اساسی مطرح کرد :

- اول اینکه الکترون تنها می‌تواند در مدارهای مشخص و مجاز حرکت کند و در این مدارها انرژی تابش نمی‌کند .

-دوم اینکه تنها مدارهایی مجاز هستند که اندازه حرکت زاویه‌ای الکترون در آن‌ها کوانتیده باشد :

$$m v r = n \hbar \quad n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

این شرط باعث می‌شود شعاع مدارها و در نتیجه انرژی الکترون، مقادیر گسسته داشته باشد. از ترکیب این شرط با رابطه نیروی کولن، شعاع مجاز مدارها به دست می‌آید که نشان می‌دهد فاصله الکترون از هسته نمی‌تواند هر مقداری باشد.

در ادامه، انرژی کل الکترون از مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل محاسبه می‌شود. انرژی پتانسیل الکترواستاتیکی برابر است با:

$$U = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

و انرژی جنبشی از رابطه $K = \frac{1}{2}mv^2$ به دست می‌آید. با جایگذاری شرایط تعادل و کوانتتش، انرژی ترازهای اتم هیدروژن به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{mk^2e^4}{\hbar^2}$$

که به صورت عددی ساده‌تر می‌توان نوشت:

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$$

این رابطه نشان می‌دهد که انرژی الکترون در اتم تنها می‌تواند مقادیر مشخص و گسسته‌ای داشته باشد و به هیچ عنوان پیوسته نیست. این گسستگی انرژی، اساس شکل‌گیری طیف خطی اتم‌ها را توضیح می‌دهد. هنگامی که الکترون از تراز بالاتر n_f به تراز پایین‌تر n_i منتقل می‌شود، اختلاف انرژی به صورت یک فوتون با انرژی مشخص گسیل می‌شود:

$$\Delta E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

با ترکیب این رابطه با انرژی ترازها، رابطه مشهور ریدبرگ برای طول موج خطوط طیفی به دست می‌آید:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

که در آن R ثابت ریدبرگ است. در اتم هیدروژن، سری‌های طیفی مختلف بر اساس مقدار n_f تعریف می‌شوند. در ناحیه مرئی، سری بالمر مشاهده می‌شود که در آن:

$$n_f = 2, \quad n_i = 3, 4, 5, \dots$$

این گذارها به ترتیب خطوط $H\alpha$ (قرمز)، $H\beta$ (آبی-سبز) و $H\gamma$ (بنفش) را ایجاد می‌کنند. وجود این خطوط نشان دهنده گسسته بودن انرژی و تأیید مستقیم مدل بوهر است.

در مقابل ، در اتم‌های چندالکترونی مانند هلیوم ، جیوه و سدیم ، علاوه بر نیروی هسته- الکترون ، برهم‌کنش بین الکترون‌ها نیز وجود دارد. این برهم‌کنش باعث شکافت ترازهای انرژی و پیچیده شدن ساختار طیفی می‌شود. همچنین به دلیل وجود اسپین الکترون، حالت‌های مختلفی از نظر تقارن اسپینی ایجاد می‌شود که شامل :

-حالت Singlet (پادمقارن اسپینی)

$$S = 0 \quad \Rightarrow \quad \text{Multiplicity} = 2S + 1 = 1$$

-حالت Triplet (مقارن اسپینی)

$$S = 1 \quad \Rightarrow \quad \text{Multiplicity} = 2S + 1 = 3$$

این حالت‌ها باعث افزایش تعداد خطوط طیفی و پیچیده‌تر شدن طیف نسبت به اتم هیدروژن می‌شوند. بنابراین، بررسی طیف این عناصر نه تنها مدل بوهر را برای اتم هیدروژن تأیید می‌کند، بلکه نشان می‌دهد برای اتم‌های چندالکترونی، نیاز به استفاده از نظریه‌های دقیق‌تر مکانیک کوانتومی چندذره‌ای وجود دارد.

شرح دستگاه :

اسپکترومتر یکی از ابزارهای دقیق در فیزیک نور است که برای تجزیه نور بر حسب طول موج و اندازه‌گیری زاویه انحراف پرتوهای نوری به کار می‌رود . عملکرد این دستگاه بر پایه پدیده‌هایی مانند پراش و تداخل امواج نوری است . در این آزمایش ، از توری پراش استفاده می‌شود که نسبت به منشور دقت بالاتری در تفکیک خطوط طیفی دارد. این دستگاه از سه بخش اصلی تشکیل شده است .

- بخش اول ، کولیماتور است که وظیفه آن تبدیل نور خروجی از منبع به پرتوهای موازی می‌باشد . نور پس از عبور از یک شکاف باریک وارد عدسی همگرا شده و به صورت پرتوهای موازی خارج می‌شود . این کار اهمیت زیادی دارد ، زیرا در صورت موازی نبودن نور، اندازه‌گیری زاویه‌های پراش با خطا همراه خواهد بود.

- بخش دوم ، صفحه مدرج و توری پراش است. توری پراش از تعداد زیادی شیار موازی با فاصله بسیار کم تشکیل شده است. هنگامی که نور موازی به این توری برخورد می‌کند، هر شیار مانند یک منبع موج ثانویه عمل کرده و در نتیجه تداخل امواج، الگوی پراش ایجاد می‌شود. رابطه حاکم بر این پدیده به صورت

$$a \sin \theta = n\lambda$$

که a را ثابت نوری ($a = \frac{1}{N}$) که N تعداد روزنه در واحد طول است θ زاویه پراش و n مرتبه پراش و λ طول موج نور می باشد

- بخش سوم، تلسکوپ است که برای مشاهده خطوط طیفی و اندازه گیری زاویه ها استفاده می شود. این بخش دارای رتیکول (دو خط عمود بر هم) است که امکان تنظیم دقیق روی خطوط طیفی را فراهم می کند. با قرار دادن هر خط طیفی روی مرکز رتیکول، زاویه آن از روی صفحه مدرج خوانده می شود.

شرح آزمایش :

در ابتدا، منبع نور هیدروژن را روشن می کنیم و در مقابل کولیماتور قرار می دهیم تا نور خروجی به صورت یک باریکه ی موازی و بسیار باریک تنظیم شود. باریک بودن شکاف اهمیت دارد، زیرا باعث افزایش دقت در مشاهده خطوط طیفی می شود. سپس توری پراش روی صفحه ی دوار دستگاه نصب می شود به طوری که عمود بر مسیر نور باشد و در عین حال، موقعیت باریکه ی مستقیم در میدان دید تغییر نکند.

در گام بعدی، ابتدا باریکه ی مستقیم (بدون پراش) در مرکز دید دوربین قرار داده شده و روی رتیکول منطبق می شود. زاویه ی مربوط به این وضعیت به عنوان زاویه ی مرجع (مبدأ) ثبت می گردد. پس از آن، با چرخاندن تدریجی دوربین به دو سمت، خطوط طیفی حاصل از پراش نور مشاهده می شوند. هر خط طیفی به نوبت روی رتیکول تنظیم شده و زاویه ی مربوط به آن خوانده می شود. این کار برای تمام خطوط قابل مشاهده تکرار می شود. پس از اندازه گیری زوایا، با کم کردن زاویه ی مرجع از زوایای ثبت شده، زاویه ی پراش هر خط به دست می آید. سپس با استفاده از رابطه ی توری پراش، می توان طول موج هر خط طیفی را محاسبه کرد. در این رابطه، فاصله ی بین شیارهای توری (که از معکوس تعداد شیارها در واحد طول به دست می آید)، زاویه ی پراش و مرتبه ی پراش در تعیین طول موج نقش دارند. معمولاً از مرتبه ی اول استفاده می شود، زیرا شدت خطوط مناسب تر بوده و تداخل بین خطوط کمتر است.

حال تمامی این مراحل را برای عناصر جیوه، هلیوم، سدیم انجام می دهیم و داده های بدست آمده را در جدول جایگذاری می کنیم.

داده های بدست آمده برای جیوه

رنگ طیف	θ	λ اندازه گیری شده (nm)	λ جدول (nm)	نوع گذار 1/nm	$\Delta \lambda$ nm	$\Delta \lambda / \lambda$
زرد	10	578.8	579	1/300	0.2	0.0003
سبز	9.5	550.1	546.1	1/300	4.0	0.0073
آبی	8.6	498.4	502.5	1/300	4.1	0.0081
بنفش	7.6	440.8	435.8	1/300	5.0	0.0114
بنفش	7	406.2	406.2	1/300	0.0	0.0000
زرد	19.6	568.5	579	1/590	10.5	0.0181
زرد	19.4	562.9	577	1/590	14.1	0.0244
سبز	18.3	532.1	546	1/590	13.9	0.0254
آبی	16.4	478.5	502.5	1/590	24.0	0.0477
بنفش	14.5	424.3	435.8	1/590	11.5	0.0263
بنفش	13.5	395.6	405.2	1/590	10.6	0.0260

داده های بدست آمده برای هلیوم

رنگ طیف	θ	λ اندازه گیری شده (nm)	λ جدول (nm)	نوع گذار 1/nm	$\Delta \lambda$ nm	$\Delta \lambda / \lambda$
قرمز	11.9	687.3	687	1/300	0.3	0.0004
زرد	10.2	590.2	588	1/300	2.2	0.0037
آبی	8.7	504.2	505	1/300	0.8	0.0015
آبی	8.2	475.4	471	1/300	4.4	0.0093
بنفش	7.9	458.1	448	1/300	10.1	0.0225
بنفش	7.7	446.6	443	1/300	3.6	0.0081
زرد	19.1	554.6	588	1/590	33.4	0.0568
آبی	16.4	478.5	492	1/590	13.5	0.0274
آبی	16.0	467.1	471	1/590	3.9	0.0082
آبی	15.2	444.3	443	1/590	1.3	0.0029
بنفش	14.6	427.2	414	1/590	12.2	0.0293
بنفش	14.1	412.9	412	1/590	0.9	0.0021

داده های بدست آمده برای سدیم

رنگ طیف	θ	λ اندازه گیری شده (nm)	λ جدول (nm)	نوع گذار 1/nm	$\Delta \lambda$ nm	$\Delta \lambda / \lambda$
قرمز	10.8	624.6	614	1/300	10.6	0.0172
زرد	10.2	590.2	590	1/300	0.2	0.0003
سبز	9.9	573.0	569	1/300	4.0	0.0070
آبی	9.0	521.4	497	1/300	24.4	0.0491
آبی	8.9	515.7	495	1/300	20.7	0.0418
آبی	8.2	475.4	490	1/300	14.6	0.0297
قرمز	21.0	607.4	614	1/590	6.6	0.0107
زرد	20.0	579.6	590	1/590	10.4	0.0176
زرد	19.9	576.9	587	1/590	10.1	0.0172
سبز	19.2	557.4	569	1/590	11.6	0.0203
سبز	17.5	509.6	497	1/590	12.6	0.0253
آبی	17.3	495.5	495	1/590	0.5	0.0010
آبی	15.9	464.3	490	1/590	25.7	0.0524

علت گسسته بودن طیف عناصر گازی و پیوسته بودن طیف عناصر جامد و مایع را توضیح دهید؟

علت گسسته بودن طیف گازها و پیوسته بودن طیف جامدات و مایعات در گازها، اتم‌ها تقریباً از هم دور هستند و برهم‌کنش کمی با یکدیگر دارند. بنابراین: هر اتم مثل یک «سیستم جداگانه» رفتار می‌کند. ترازهای انرژی الکترونی کاملاً مشخص و مجزا هستند. هنگام گذار الکترون بین این ترازها، فقط طول موج‌های خاصی گسیل یا جذب می‌شود. در نتیجه طیف خطی (گسسته) دیده می‌شود. در جامد و مایع، اتم‌ها بسیار نزدیک‌اند و برهم‌اثر قوی دارند. ترازهای انرژی اتم‌ها با هم برهم‌کنش کرده و به نوارهای انرژی (band) تبدیل می‌شوند. به دلیل برخوردها و برهم‌کنش‌های زیاد، اختلاف انرژی‌ها «پخش» می‌شود. در نتیجه تعداد بسیار زیادی طول موج نزدیک به هم تولید می‌شود که در مجموع طیف پیوسته ایجاد می‌کند.

اگر توری پراش ۶۰۰ شکاف در یک میلی‌متر داشته باشد، برای مراتب یک و دو، طول موج‌های سدیم یعنی 6154 - 5800 - 5682 آنگسترم از چه زوایایی در تلسکوپ مشاهده می‌شود.

$$d \sin \theta = m \lambda$$

$$m = 1 \begin{cases} \lambda = 5682 \Rightarrow \theta = 20^\circ \\ \lambda = 5800 \Rightarrow \theta = 20.4^\circ \\ \lambda = 6154 \Rightarrow \theta = 21.7^\circ \end{cases} \quad m = 2 \begin{cases} \lambda = 5682 \Rightarrow \theta = 43.0^\circ \\ \lambda = 5800 \Rightarrow \theta = 44.1^\circ \\ \lambda = 6154 \Rightarrow \theta = 47.5^\circ \end{cases}$$

از این آزمایش چگونه در تشخیص جنس مواد استفاده می‌شود؟

هر عنصر:

فقط در طول موج‌های مشخص نور گسیل یا جذب می‌کند. این طول موج‌ها مانند «اثر انگشت نوری» آن عنصر هستند. در نتیجه با مشاهده خطوط طیفی (زاویه‌ها یا طول موج‌ها) می‌توان فهمید ماده از چه عناصری تشکیل شده است.

حتی در مخلوط‌ها، هر عنصر به‌صورت جداگانه قابل شناسایی است.

مثال: سدیم همیشه خطوط زرد مشخص دارد، هیدروژن خطوط سری بالمر دارد.

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

ثابت ریدبرگ یکی از مهمترین ثابتهای فیزیکی در طیف سنجی اتمی است که به ویژه در توصیف طیف هیدروژن کاربرد دارد.

ثابت ریدبرگ با نماد R نمایش داده می شود و مقدار آن تقریباً برابر است با :

$$R = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

این ثابت در فرمول ریدبرگ برای پیش بینی طول موج خطوط طیفی اتم هیدروژن به کار می رود :

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

– اهمیت آن برابر است با :

– تعیین دقیق طول موجهای هیدروژن

– تأیید مدل اتمی بور

– پایه گذاری فیزیک کوانتومی

– استفاده در تحلیل طیف ستارگان و تعیین ترکیب آنها

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

برای اتم هیدروژن داریم :

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV} \Rightarrow \begin{cases} n=1 & \Rightarrow E_1 = -13.6 \text{ eV} \\ n=2 & \Rightarrow E_2 = -3.4 \text{ eV} \\ n=3 & \Rightarrow E_3 = -1.51 \text{ eV} \\ n=4 & \Rightarrow E_4 = -0.85 \text{ eV} \end{cases}$$

سری بدست آمده در گذارهای $n=3$ چه نام دارد و چه طول موجهایی برای آن بدست می آید؟ آیا نور حاصل قابل مشاهده است؟

اگر گذارها به تراز $n_f = 3$ سری طیفی آن سری پاشن شناخته می شود .

حال برای بدست آوردن طول موج های این سری از رابطه رید برگ استفاده می کنیم .

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad n_i = 4, 5, 6, \dots$$

اکنون چند مقدار مهم را محاسبه می کنیم .

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_{4 \rightarrow 3} = 1875 \text{ nm} \\ \lambda_{5 \rightarrow 3} = 1282 \text{ nm} \\ \lambda_{6 \rightarrow 3} = 1094 \text{ nm} \\ \lambda_{\min} = 820 \text{ nm} \end{array} \right.$$

تمام طول موج های سری پاشن در ناحیه فرورسرخ (infrared) قرار دارند (بزرگتر از حدود 700 nm) بنابراین برای چشم انسان قابل مشاهده نیستند .