تفاوت رابطه‌های بالمر و ریدبرگ در طیف اتم هیدروژن

و بررسی همپوشانی طیف اتم هیدروژن با استفاده از رابطه ریدبرگ

عباس عباسی، محمد شیخی
مدرسین فیزیک منطقه مراغه

چکیده

در این مقاله با تحلیل دو رابطه بالمر و ریدبرگ می‌خواهیم به بررسی اختلاف دیدگاه آن‌ها در طیف اتم‌ها به‌ویژه اتم هیدروژن و پیش‌بینی آن‌ها در خطوط طیفی بپردازیم و سپس با به‌دست آوردن محدودهٔ سری طیفی اتم هیدروژن با استفاده از رابطه ریدبرگ تداخل و همپوشانی سری‌ها را بررسی کنیم.

کلیدواژه‌ها: طیف اتم، رابطه بالمر، رابطه ریدبرگ

مقدمه

اتم هیدروژن ساده‌ترین اتم است و طیف آن اولین طیفی بود که به‌طور کامل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. آنگستروم تا سال ۱۸۸۵ میلادی طول موج چهار خط از طیف اتم هیدروژن را با دقت زیاد اندازه‌گیری کرد که به ترتیب در شکل(۱) نشان داده شده است.

بالمر که یک دبیر ریاضی و آمار در سوئیس بود با مطالعه این اعداد و کمی کار ریاضی و بدون هیچ دانش و تحلیل فیزیکی یک رابطه بین آن‌ها به‌دست آورد که به نام بالمر شناخته شد.

$$\lambda = 364/56 \frac{n^2}{n^2-4} \quad n = 3, 4, 5, 6, \ldots$$

که در آن داریم

توفیق بالمر درخصوص یافتن رابطه‌ای صرفاً ریاضی برای خط‌های طیف اتم هیدروژن در ناحیه مرئی موجب شد که تلاش‌های بیشتری در جهت یافتن خط‌های دیگر طیف اتم هیدروژن صورت گیرد. بالمر پیش‌بینی کرد که اتم هیدروژن ممکن است دارای خط‌های طیفی دیگری نیز باشد و روابط دیگری را نیز معرفی کرد که طول موج‌های حدسی بالمر از آن‌ها به‌دست می‌آمدند.

$$\lambda = 364/56 \frac{n^2}{n^2-9} \quad n = 4, 5, 6, 7, \ldots$$ که در آن

$$\lambda = 364/56 \frac{n^2}{n^2-16} \quad n = 5, 6, 7, 8, \ldots$$ که در آن

ولی داده‌های آن با نتایج تجربی متفاوت بود. در این میان

شکل۱: خطوط طیفی اتم هیدروژن در ناحیه مرئی

طول موج‌های دیگر اتم هیدروژن توسط لیمان، براکت و پاشن و دیگران اندازه‌گیری شد. در سال ۱۸۹۰ ریدبرگ با مشاهده این اختلاف، کار عمده خود در زمینه جست‌وجو برای طیف کامل اتم هیدروژن را آغاز کرد. ریدبرگ کار کردن با عکس طول موج را مناسب‌تر تشخیص داد لذا رابطه بالمر را به صورت زیر نوشت:

$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2})$ که در آن داریم $n = 3, 4, 5, 6, \ldots$ در این رابطه $R_H = 0/0109 \ (nm)^{-1}$ ثابت ریدبرگ نامیده شد. تا اینجا دو رابطه ذکر شده در به‌دست آوردن طیف خطوط هیچ اختلافی نداشتند. ولی برای طول موج‌های دیگر رابطه بالمر دقیق‌تر بود. لذا رابطه کلی زیر که به رابطه ریدبرگ معروف است برای به‌دست آوردن دیگر طول موج‌ها استفاده شد.

$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2})$ $n > n'$ که در آن

این رابطه کلی برای $n' = 2$ به رابطه بالمر تبدیل می‌شود و علاوه بر چهار خط دیگر، ریدبرگ n را به سمت بی‌نهایت ادامه داد. یعنی

$n = 6, 5, 4, 3, \ldots$

بیان اختلاف و حل آن:

با مقایسه کارهای بالمر و ریدبرگ اختلاف آن‌ها در جاهای دیگر بیشتر ظاهر می‌شود. مثلاً برای حالت $n' = 1$ که بالمر آن‌را نمی‌دانست رابطه ریدبرگ چنین می‌شود:

$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{1} - \frac{1}{n^2})$ که در آن $n = 2, 3, 4, 5, 6, \ldots$

این رابطه مربوط به رشته مشهور لیمان است. و رابطه مشابه بالمر آن چنین نوشته می‌شود: $\lambda = 364/56 \frac{n^2}{n^2 - n'^2}$

با قرار دادن $n' = 1$ داریم:

$\lambda = 364/56 \frac{n^2}{n^2 - 1}$

با معکوس کردن طرفین این رابطه داریم:

$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{364/56}(\frac{n^2 - 1}{n^2})$

$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{364/56}\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{n^2}\right) = 0/002743\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{n^2}\right)$

که به وضوح ضریب آن با ثابت ریدبرگ متفاوت است.

می‌توان این کار را برای $n' = 3$ که به رشته پاشن معروف است نیز انجام داد. داریم:

$\frac{1}{\lambda} = 0/02468\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{n^2}\right)$

که این اختلاف در این رابطه نیز مشهود است. در حقیقت با معکوس کردن رابطه بالمر و قرار دادن $n'^2 = 4$ در ضریب این رابطه برای تمام سری‌ها و آزاد گذاشتن n' در مخرج کسر به رابطه ریدبرگ می‌رسیم. ظاهراً طبیعت بالمر را برای به‌دست آوردن طیف اتم هیدروژن به‌گونه‌ای راهنمایی کرده و سپس کار ریدبرگ آن‌را کامل‌تر کرده است چراکه اگر ابتدا خطوط نامرئی یعنی رشته لیمان آشکارسازی می‌شد با معکوس کردن رشته لیمان ریدبرگ نمی‌توانست دیگر خطوط را با آن دقت پیش‌بینی کند و کار سخت‌تر از یک معکوس کردن رابطه می‌شد.

جدول(۱): رابطه ریدبرگ و گسترهٔ طول موج هر رشته در اتم هیدروژن

نام سری	n'	رابطه ریدبرگ	n	گستره طول موج
لیمان	۱	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{1} - \frac{1}{n^2})$	n=۲,۳,۴,۵,....	فرا بنفش
بالمر	۲	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2})$	n=۳,۴,۵,۶,....	فرابنفش و مرئی
پاشن	۳	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2})$	n=۴,۵,۶,۷,....	فروسرخ
براکت	۴	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2})$	n= ۵,۶,۷,۸,....	فروسرخ
پفوند	۵	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2})$	n=۶,۷,۸,۹,....	فروسرخ
همفری	۶	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{6^2} - \frac{1}{n^2})$	n=۷,۸,۹,۱۰,....	فروسرخ

در ادامه می‌خواهیم همپوشانی رشته‌ها را به‌دست آوریم. با استفاده رابطه ریدبرگ می‌توان رشته‌های طیف اتم هیدروژن را به‌دست آورد که در جدول (۱) آمده است.

حال می‌خواهیم ببینیم کدام رشته‌های مربوط به رابطه ریدبرگ با هم همپوشانی دارند و به عبارت دیگر خطوط طیفی نزدیک به هم در یک ناحیه دارند. برای پاسخ دادن به این پرسش کافی است برای هر رشته با n' مشخص بلندترین و کوتاه‌ترین طول موج را به‌دست آوریم که با قرار دادن به ترتیب $n=\infty$ و $n=n'+1$ به‌دست می‌آید. نتایج حاصل از این محاسبه‌ها در جدول(۲) آورده شده است. چیزی که مشاهده می‌شود همپوشانی رشته‌ها از رشته پاشن به بعد آغاز می‌شود. برای درک واضح‌تر می‌توان محدودهٔ سری‌ها را در یک خط طیف رسم نمود که در شکل(۲) به‌طور کیفی رسم شده است.

می‌توان نتیجه گرفت که دو رشته لیمان و بالمر هیچ همپوشانی ندارند و همپوشانی از رشته پاشن به بعد که با رشته براکت همپوشانی دارد آغاز می‌شود. البته نتیجه این بحث جواب یک پرسش کنکور بود که در سال هشتاد و دو برای رشته ریاضی سراسری طراحی شده بود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی دو رابطه بالمر و ریدبرگ در پیش‌بینی طیف اتم هیدروژن پرداخته شد و منشأ اختلاف آن‌ها را در جهت به‌دست آوردن طیف اتم‌ها بررسی شد. در ادامه با به‌دست آوردن کوتاه‌ترین و بلندترین رشته‌های مختلف در رابطه ریدبرگ، همپوشانی رشته از نظر طول موج بررسی شد که دیده شد این همپوشانی از رشته پاشن آغاز می‌گردد.

منابع

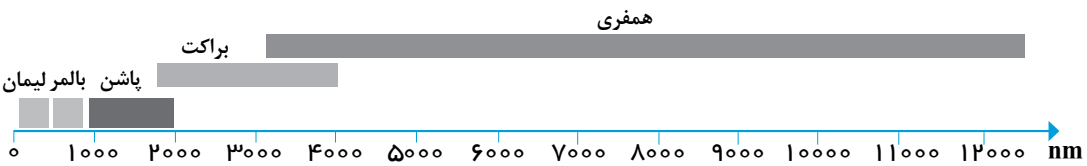
۱. کتاب درسی فیزیک رشته ریاضی و فیزیک- دورهٔ پیش‌دانشگاهی- رشته ریاضی و فیزیک. آموزش و پرورش- بخش دوم کتاب- فصل سوم- ص۲۰۶- ۱۳۸۴.

۲. سؤالات اختصاصی کنکور سراسری رشته ریاضی- درس فیزیک- سؤال ۱۹۵- سازمان سنجش آموزش کشور- ۱۳۸۲

۳. سایت اینترنتی:
http://www.abbasisci.blogfa.com/page/spectroscope.aspx

جدول(۲): کوتاه‌ترین و بلندترین طول موج هر رشته در اتم هیدروژن

نام سری	n'	کوتاه‌ترین طول موج بر حسب nm	بلندترین طول موج برحسب nm	گستره طول موج
لیمان	۱	۹۱	۱۲۲	فرا بنفش
بالمر	۲	۳۳۶	۶۶۳	فرابنفش و مرئی
پاشن	۳	۸۲۵	۱۸۸۷	فروسرخ
براکت	۴	۱۴۶۷	۴۰۷۷	فروسرخ
پفوند	۵	۲۲۹۳	۷۵۰۶	فروسرخ
همفری	۶	۳۳۰۲	۱۲۴۴۸	فروسرخ



شکل۲: رسم محدوده رشته‌های طیفی اتم هیدروژن به‌طور کیفی