

توجیه چگونگی پیدایش سریهای خطوط طیف نشری اتم هیدروژن

قابل توجه است که وقتی بوهر نظریه اتمی خود را ارائه داده بود، برخی از نکات در آن مبهم به نظر می‌رسید. این مسأله پذیرفته شدن نظریه بوهر را توسط دانشمندان با اشکالاتی مواجه کرده بود. برای روشن شدن موضوع، به دو نمونه از این ابهامات و ایرادات اشاره می‌شود:

1. وقتی که بوهر نظریه کلاسیک در مورد تابشهای الکترومغناطیسی (یعنی اینکه هر ذره

باردار نوسان کننده، انرژی خود را به طور پیوسته و تدریجی تابش می‌کند) را که تنها

روش توجیه تابش یک ذره باردار نوسان کننده نظیر الکترون در اتم بود کنار گذاشت و

تابش انرژی به وسیله اتم را به تغییر سطح انرژی الکترون از مدار ایستاده‌ای به مدار

ایستاده دیگر نسبت داد، درباره مکانیسم آن توضیحی نداده بود.

2. بوهر بطور دلخواه، هر جا که ضرورت ایجاد کرده بود، علاوه بر مکانیک کوآنتومی، از

مکانیک کلاسیک نیز در تدوین نظریه خود و بدست آوردن نتایج نهایی از آن، استفاده

کرد. با توجه به این ایرادها، وی به معیار و ملاکی بسیار روشن و قانع کننده نیاز داشت تا

پذیرش قطعی نظریه خویش را عملی سازد. هنگامی که موفق شد روابط طیفی که قبلاً از

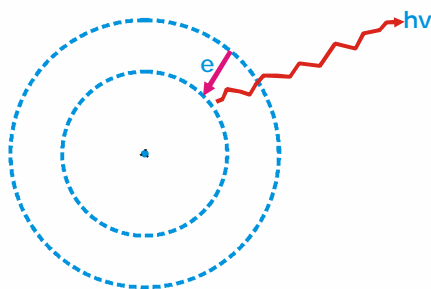
طریق تجربی توسط طیف‌شناسان کشف شده بود را از طریق محاسبات متکی بر نظریه

اتمی خود بدست آورد و دلیل تشکیل هر خط طیفی و چگونگی پیدایش سریهای

مشخص از خطوط طیفی در طیف نشری اتم هیدروژن را توجیه کند، توانست یکی از

روشنترین ملاک درستی نظریه خود را ارائه داده و همگان را به پذیرش آن وادارد.

بور در سال 1913 برای توجیه خطوط طیفی چنین فرض کرد که الکترون اتم هیدروژن در حالت معمولی در مدار معینی به فاصله مشخصی از هسته در حال گردش است. حال اگر مقدار خاصی انرژی جذب کند، برانگیخته می‌شود و موقتاً به مداری در سطح بالاتر می‌جهد. هرگاه عامل برانگیختگی برطرف شود و مثلاً اتم برانگیخته شده از منبع انرژی دهنده اندکی دور شود، الکترون نامبرده، فرصت پیدا می‌کند به حالت عادی خود باز گردد. به عبارت دیگر الکترون برانگیخته شده مطابق شکل زیر دوباره به همان سطح اولیه پایین می‌آید. در این راه معادل همان انرژی جذب شده به صورت طیفی با فرکانس معین پس داده می‌شود. (فوتونهایی با انرژی مشخص که مثلاً به صورت خطی قرمز تا بنفش جلوه می‌کند).



مطابق نظریه بور، پیدایش خطوط طیفی متعدد در هیدروژن نشانه وجود سطوح انرژی متعدد است که در فاصله‌های مشخص از هسته قرار می‌گیرند. الکترون هیدروژن با جذب مقادیر بیشتری انرژی می‌تواند به سطوح بالاتر بجهد که در برگشت، فوتونهای پرانرژی تری پس می‌دهد و در نتیجه خطوط طیفی جدیدی در ناحیه ماورای بنفش پدید می‌آورد. بور وجود مدارهای متعدد را در

ارتباط با سطوح انرژی گوناگون پیرامون هسته اتم در نظر گرفت. بدیهی است هر چه الکترون انرژی بیشتری بگیرد، به همان نسبت اوج می‌گیرد و به مدار بالاتر که سطح انرژی بیشتری دارد می‌رسد.

بالاخره لحظه‌ای فرا می‌رسد که ارتباط الکترون با هسته قطع می‌شود و اتم M به صورت یون M^+ در می‌آید. بر حسب نظریه بور، در اتمهای سنگینتر از هیدروژن در حالت معمولی، تعداد مشخصی الکترون در مدارهایی دور هسته در حال گردش هستند. به این ترتیب مدل بور با منظومه شمسی مشابهت دارد. چنانکه می‌دانید، سیاره‌ها در این منظومه در مدارهای مشخص و به فاصله‌های معین پیرامون خورشید در گردش هستند.

بوهر محاسبات خود را چنین ادامه داد:

$$hn = \Delta E = E_2 - E_1$$

$$hn = \frac{2p^2me^4}{h^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$n = \frac{2p^2me^4}{h^3} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad \text{ویا:}$$

اگر به جای پارامترهای رابطه بالا، مقدار عددی هر یک از آنها قرار داده شود، رابطه زیر بدست

می‌آید، که قبلاً توسط طیف‌شناسان کشف شده بود.

$$n = 3.291 \times 10^{15} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

با توجه به مفهوم عدد موجی و رابطه آن با فرکانس سرعت تابشهای الکترومغناطیسی

$$\bar{n} = \frac{2p^2me^4}{ch^3} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad \text{می‌توان نوشت:}$$

اگر در این رابطه هم، بجای پارامترها، مقدار عددی هر یک از آنها را قرار دهیم، این

رابطه یعنی، $\bar{n} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$ بدست می‌آید. یعنی همان رابطه‌ای که از طریق تجربی توسط

طیف‌شناسان در مورد عدد موجی کشف شده بود.

مثال. مقدار عددی ثابت رید برگ را برای اتم هیدروژن حساب کنید:

حل.

با مقایسه این دو رابطه می‌توان نوشت:

$$R_H = \frac{2p^2 m e^4}{ch^3}$$

$$= \frac{2(3/1416)^2 (9/1096 \times 10^{-31} \text{ kg}) \left(1/6022 \times 10^{-19} \text{ C} \times \frac{9/4805 \times 10^4 \text{ kg}^{1/2} \cdot \text{m}^{3/2} \cdot \text{s}^{-1}}{1 \text{ C}} \right)^4}{2/9979 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} (6/6262 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})^3}$$

$$= 10975 \times 10^3 \text{ kg}^3 \text{ m}^6 \text{ s}^{-6} / \text{mJ}^3 = 10975 \times 10^3 \text{ m}^{-1}$$

$$= 10975 \times 10^3 \text{ m}^{-1} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 109750 \text{ cm}^{-1}$$

بهر از این واقعیت که هر خط طیفی نشانه انتقال الکترون از یک سطح انرژی مجاز به سطح

انرژی مجاز دیگر است، استفاده کرد. و در توجیه پیدایش خطوط متعدد طیفی و سریهای مشخصی از

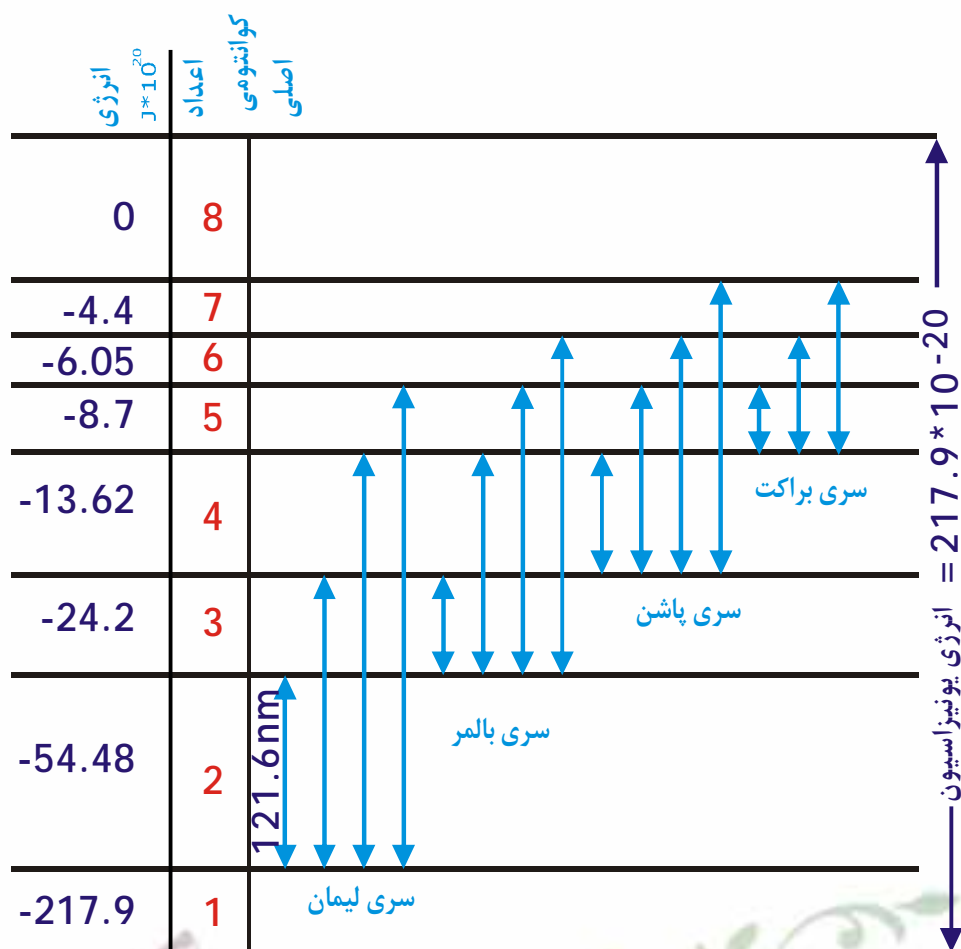
این خطوط در طیف نشری اتم هیدروژن، چنین نظر داد که سطح برانگیختگی در همه اتمهای هیدروژن

یکسان نیست. به علاوه، در هر اتم برانگیخته بسته به این که الکترون در بازگشت از سطح انرژی که در

آن قرار دارد، به کدام سطح انرژی پایین تر سقوط کند، کوآنتوم انرژی مشخصی تابش می‌شود و خط

طیفی مشخصی در طیف نما ظاهر می‌شود. چون تعداد اتمها در یک نمونه مورد بررسی فوق العاده زیادند،

از این رو، تعداد خطوط طیفی نیز زیاد بوده و مطابق آنچه که در شکل نشان داده شده است، می توان به منشاء هر سری از خطوط طیفی که توسط طیف شناسان در طیف نشری اتم هیدروژن کشف شده بود و با نظریه بوهر نیز مطابقت داشت، پی برد، شکل زیر نمایش جهشهای الکترونی که پیدایش سری پنجگانه خطوط طیف نشری اتم هیدروژن را توجیه می کند، را نشان می دهد.



نمایش جهشهای الکترونی سری پنجگانه خطوط طیف نشری اتم هیدروژن

باید توجه داشت که فقط سریهای طیفی بالمر و پاشن قبل از ارائه نظریه بوهر شناخته شده بودند. سریهای دیگر، بعد از آن و تا سال 1924 (سال کشف سری فوند) به تدریج در طیف نشری اتم هیدروژن کشف شدند.

همانطور که ملاحظه می‌شود، نتایجی که از طریق محاسبات متکی بر اصول نظریه اتمی بوهر به ویژه در مورد طیف نشری اتم هیدروژن بدست آمد با نتایجی که از طریق تجربی توسط طیف‌شناسان قبل از بیان این نظریه ارائه شده بود، هماهنگی کامل دارد. به بیان دیگر، بوهر برای بررسیها و نتایج تجربی محض طیف‌شناسان، پایه نظری محکمی ارائه داد و یا به بیانی دیگر، آنچه که طیف‌شناسان از طریق تجربی بدست آورده بودند، پشتوانه تجربی محکمی برای درستی نظریه بوهر محسوب شده، پذیرش و اعتبار جهانی آن را موجب شد.

مثال. فرکانس سه خط طیفی اول از سری لیمان را (بر حسب cm^{-1}) حساب کنید.

حل. با توجه به اینکه برای خطوط طیفی این سری $n_1 = 1$ و برای سه خط طیفی اول n_2 به ترتیب

برابر 2، 3 و 4 است. بنابراین، می‌توان نوشت:

$$\bar{n} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$\bar{n} = 109750cm^{-1} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = 109750 \left(1 - \frac{1}{4} \right) = 82313cm^{-1} \quad \text{خط اول}$$

$$\bar{n} = 109750cm^{-1} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) = 109750 \left(1 - \frac{1}{9} \right) = 97556cm^{-1} \quad \text{خط دوم}$$

$$\bar{n} = 109750cm^{-1} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{4^2} \right) = 109750 \left(1 - \frac{1}{16} \right) = 102891cm^{-1} \quad \text{خط سوم}$$

مثال. عدد موجی، طول موج (بر حسب A^0) و انرژی (بر حسب الکترون ولت) فوتونی که بر اثر

سقوط الکترون از چهارمین تراز برانگیخته اتم هیدروژن به اولین تراز برانگیخته آن، تابش می‌شود، را

حساب کنید. خط طیفی مربوط به چنین تابشی در کدام ناحیه تابشهای الکترومغناطیسی قرار داشته، به

کدام سری از خطوط طیفی مربوط بوده و چندمین خط از آن سری است.

حل.

$$\bar{n} = \frac{2p^2 me^4}{ch^3} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \text{ با استفاده از رابطه: می توان نوشت:}$$

$$\bar{n} = \frac{2p^2 me^4}{ch^3} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2} \right) = 109750 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{25} \right) cm^{-1} = 23048 cm^{-1}$$

$$I = \frac{1}{\bar{n}} = \frac{1}{23048 cm^{-1}} = 4/3387 \times 10^{-5} cm \times \frac{10^8 A^0}{1 cm} = 4338/7 A^0$$

$$E = hc\bar{n} = 6/626 \times 10^{-27} erg.s \times 2/9979 \times 10^{10} cm.s^{-1} \times 23048 cm^{-1}$$

$$= 4/578 \times 10^{-12} erg \times \frac{1 eV}{1/6022 \times 10^{-12} erg} = 2/857 eV$$

با توجه به مقدار طول موج این تابش و شکل خط طیفی آن در ناحیه مرئی تابشهای

الکترومغناطیسی قرار دارد. این خط طیفی به سری بالمر تعلق دارد و با توجه به مقدار $n_2 = 5$ ، می‌توان

دریافت که سومین خط این سری است. قابل توجه است که با وجود هماهنگی کامل نظریه اتمی بوهر با

نتایج تجربی طیف‌شناسان، بین مقدار ثابت ری‌دبرگ برای اتم هیدروژن

$(109677/5811 \pm 0/0057 cm^{-1})$ و مقداری که برای آن براساس نظریه اتمی بوهر از روی رابطه

بدست می‌آید $(109750 cm^{-1})$ تفاوت جزئی (حدود $73 cm^{-1}$) وجود دارد. دلیل این تفاوت عمدتاً

مربوط به این است که بوهر مانند رادرفورد، الکترون را ذره‌ای متحرک و هسته را جزئی ساکن در اتم فرض می‌کرد. از این رو، در روابط و محاسبات مربوط به شعاع و انرژی الکترون فقط جرم الکترون را تأثیر داده بود. زیرا در آن زمان تصور بر این بود که جرم هسته در مقایسه با جرم الکترون، فوق العاده زیادتر است. با چنین تصویری، فرض بر این بود که هسته دقیقاً در مرکز اتم قرار داشته و الکترون به دور محوری که از مرکز هسته می‌گذرد، به دور آن می‌چرخد. از این رو، بوهر از حرکت هسته و تأثیر جرم آن بر شعاع و انرژی جنبشی الکترون صرف‌نظر کرد.

واقعیت این است که جرم هسته در مقابل جرم الکترون آن اندازه زیادتر نیست که بتوان فرض فوق را قبول کرد. بلکه، نه تنها الکترون، بلکه هسته اتم نیز دور محور مشترکی که از مرکز ثقل آن دو می‌گذرد، می‌چرخند. در حقیقت، این مرکز ثقل آن دو است که ساکن است. در این صورت، علاوه بر جرم الکترون، باید جرم هسته (m_N) را نیز در محاسبات مربوط منظور کرد و به جای جرم الکترون، نسبت حاصل ضرب جرم الکترون در جرم هسته (m_N) به حاصل جمع این دو جرم یعنی $\frac{m_e \cdot m_N}{m_e + m_N}$ را که اصطلاحاً «جرم کاهش یافته» می‌نامند و با m یا m نشان می‌دهند بکار برد که برای اتم هیدروژن مقدار آن $9/1046 \times 10^{-28}$ گرم است.

