



فصل پنجم : آشنایی با فیزیک اتمی



فیزیک کلاسیک	موزه‌های اساسی فیزیک کلاسیک عبارتند از: مکانیک نیوتونی، ترمودینامیک، نظریه الکترومغناطیس ماکسول
فیزیک جدید	از زمانی آغاز شد که دانشمندان با پدیده‌ها و آزمایش‌هایی مواجه شدند که تبیین کامل و درست آن‌ها با نظریه‌های فیزیک کلاسیک امکان‌پذیر نبود. موزه‌های اساسی فیزیک جدید عبارتند از: <ul style="list-style-type: none"> ● نظریه نسبیت خاص: مربوط به مطالعه پدیده‌ها در تندی‌های بسیار زیاد و قابل مقایسه با تندی نور. ● نظریه نسبیت عام: مربوط به مطالعه هندسه فضا – زمان و گرانش ● نظریه کوانتومی: مربوط به مطالعه پدیده‌ها در مقیاس بسیار کوچک، مانند اتم‌ها و ذرات سازنده آن‌ها همراه با شافه‌های دیگری همچون فیزیک هسته‌ای، فیزیک ذرات بنیادی و کیهان‌شناسی
اثر فوتوالکتریک	جدا شدن الکترون از سطح فلز در اثر تابش نور را گویند. به الکترون‌های جداشده از سطح فلز در اثر تابش نور، فوتوالکترن گفته می‌شود. برای بروز اثر فوتوالکتریک لازم است بسامد نور تابشی از مقدار معینی به نام بسامد آستانه بیش‌تر باشد. در واقع بسامد آستانه حداقل بسامد مورد نیاز برای جداسازی الکترون از سطح فلز است. از طرفی طول موج آستانه حداکثر طول موج ممکن برای بروز اثر فوتوالکتریک می‌باشد.



تابع کار	کمینه انرژی لازم برای جداسازی الکترون از سطح یک فلز را گویند، که به جنس فلز بستگی دارد.
طیف پیوسته	طیفی است که شامل گستره پیوسته‌ای از طول موج‌هاست. طیف گسیلی جامدات این‌گونه است.
طیف خطی	طیفی است که فقط شامل طول موج‌های معینی می‌باشد. طیف گسیلی اتم‌های گاز این‌گونه است.
ایرادات مدل اتمی رادرفورد	<p>اولاً : پایداری اتم را نمی‌تواند توجیه کند.</p> <p>ثانیاً : گسیل طیف گسسته توسط اتم‌های گاز را نمی‌تواند توجیه کند.</p>
مدارهای مانا	وقتی الکترون در یکی از مدارهای مجاز حرکت کند، هیچ نوع تابش الکترومغناطیس گسیل نمی‌کند. از این‌رو گفته می‌شود الکترون در مدار مانا یا حالت مانا قرار دارد.
انرژی یونش الکترون	کم‌ترین انرژی لازم برای خارج کردن الکترون و جدا نمودن آن از قید جاذبه هسته را گویند.
خطوط فرانیهوفر	فطهای تاریک موجود در طیف دریافتی نور فرورشید است که ناشی از جذب برقی طول موج‌ها توسط گازهای اطراف فرورشید و جو زمین است.
نتایج مقایسه طیف گسیلی و طیف جذبی گازها	<ul style="list-style-type: none"> هم در طیف گسیلی و هم در طیف جذبی اتم‌های گاز هر عنصر، طول موج‌های معینی وجود دارد که از مشخصه‌های آن عنصر است. یعنی طیف گسیلی و طیف جذبی دو گازی همانند یکدیگر نیست. اتم‌های هر گاز دقیقاً همان طول موج‌هایی را از نور سفید جذب می‌کنند که اگر دمای آن‌ها به اندازه‌کافی بالا رود و یا به هر صورت دیگر برانگیخته شوند، آن‌ها را تابش می‌کنند.

<p>« ۱- در تبیین پایداری اتم و طیف گسیلی و جذبی اتم‌های گاز موفق بوده است.</p> <p>« ۲- در محاسبه انرژی یونش اتم هیدروژن موفق بود.</p> <p>در محاسبه انرژی یونش و طول موج‌های گسیلی و جذبی اتم‌های هیدروژن‌گونه نیز موفق بود.</p>	<p>موفقیت‌های مدل اتمی بور</p>
<p>« ۱- این مدل برای وقتی که بیش از یک الکترون به دور هسته می‌گردد، به‌کار نمی‌رود. زیرا در مدل بور، نیروی الکتریکی که یک الکترون بر الکترون دیگر وارد می‌کند به‌مساب نیامده است.</p> <p>« ۲- این مدل نمی‌تواند متفاوت بودن شدت طیف خط‌های گسیلی را توضیح دهد.</p>	<p>نارسایی‌های مدل اتمی بور</p>



اثر فوتوالکتریک و فوتون

دکتر علیرضا بیات



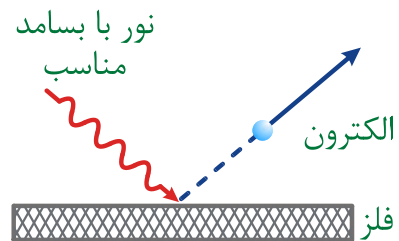
پویش علمی
ماندگار البرز



پویش جهاد علمی دبیرستان ماندگار البرز

اثر فوتوالکتریک :

وقتی نوری با بسامد مناسب مانند نور فرابنفش به سطحی فلزی بتابد، الکترون‌هایی از آن گسیل می‌شوند. این پدیده را اثر فوتوالکتریک و الکترون‌های جدا شده را فوتوالکترون می‌نامند.



تذکر: اثر فوتوالکتریک با هر بسامدی رخ نمی‌دهد هر چند شدت نور زیاد باشد.

بسامد آستانه: f_0

حداقل بسامد نور تابیده شده بر سطح فلز برای خارج کردن الکترون از فلز و ایجاد اثر فوتوالکتریک است.

❖ **نارسایی فیزیکی کلاسیک در توجیه اثر فوتوالکتریک :**

- ۱- اگر شدت نور فرودی به قدر کافی باشد، باید در هر بسامدی رخ دهد.
- ۲- اگر شدت نور فرودی بر سطح فلز زیاد شود، باید انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها نیز بیش‌تر باشد؛ اما تجربه آن را تأیید نمی‌کند.

فوتون :

دکتر علیرضا بیات



پویش علمی
ماندگارالبرز

انتشار نور و امواج الکترومغناطیسی با بسامد f به صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی است که هر بسته انرژی را فوتون می‌نامند.

انرژی n فوتون :



$$P t = E = n h f = n \frac{hc}{\lambda}$$

بسامد نور فرودی (Hz)

مدت زمان تابش چشمه (s)

توان چشمه (W)

ثابت پلانک
($6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)

تندی انتشار موج در خلأ ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

طول موج (m)

λ

P

۶۶: یک چشمه نور مرئی با توان 100 W فوتون‌هایی با طول موج 500 nm گسیل می‌کند. چه تعداد فوتون در هر ثانیه از این چشمه نور گسیل می‌شود؟ ($hc = 2 \times 10^{-25} \text{ J.m}$)

$$P \times t = \frac{n h c}{\lambda} \rightarrow 100 \times 1 = \frac{n \times 2 \times 10^{-25}}{500 \times 10^{-9}} \quad n = 2,5 \times 10^9$$

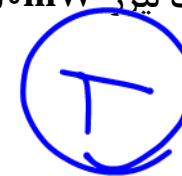
دکتر علیرضا بیات



پویش علمی
ماندگارالبرز



۶۷: توان باریکه نور خروجی یک لیزر 10 mW است. اگر بسامد نور خروجی $5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ باشد. در چه مدت زمانی تعداد فوتون‌های گسیل‌شده برابر 2×10^{18} می‌باشد؟



($h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)



نظریهٔ اینشتین :

۱- هر فوتون فقط با یک الکترون فلز برهم‌کنش می‌کند.

۲- افزایش شدت نور فقط سبب افزایش تعداد فوتوالکترون‌ها می‌شود. در حالی‌که انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بدون تغییر می‌ماند.

۳- (انرژی جنبشی فوتوالکترون) = (انرژی جدا کردن الکترون از فلز) - (انرژی فوتون)

قانون پایستگی انرژی در اثر فوتوالکتریک :

کار لازم برای جدا کردن الکترون (J)

$$hf = W + K$$

کار لازم برای جدا کردن الکترون (J)

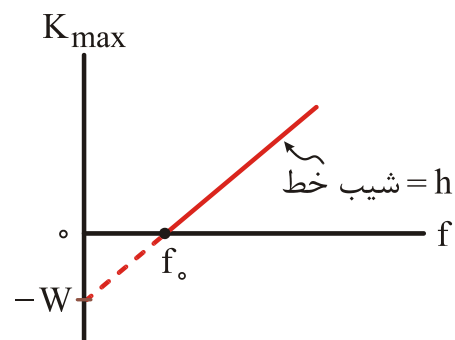
معادلهٔ فوتوالکتریک :

تابع کار فلز (J)

$$K_{\max} = hf - W_0$$

بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها (J)

• تابع کار فلز به جنس فلز بستگی دارد.



$$f_0 = \frac{W_0}{h} : \text{بسامد آستانه فوتوالکترون‌ها}$$

$$\lambda_0 = \frac{hc}{W_0} \Rightarrow \frac{hc}{\lambda_0} = W_0$$

بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها (J) →

اثر فوتوالکترونیک
اگر $f < f_0$ یا $\lambda > \lambda_0$ رخ نمی‌دهد

• λ_0 بلندترین طول موج برای گسیل فوتوالکترون‌هاست.

دکتر علیرضا بیات



پویش علمی
ماندگارالبرز



۶۸: نوری با بسامد $1/5 \times 10^{15} \text{ Hz}$ به سطح فلزی می‌تابد. اگر بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های گسیل‌شده 0.8 eV باشد، بسامد آستانه فلز چند هرتز است؟

$$h = 4 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$$

$$K_m = hf - W_0 \quad 0.8 \text{ eV} = 4 \times 10^{-15} \times 1.5 \times 10^{15} - W_0$$

$$W_0 = 5.2 \text{ eV} \quad W_0 = hf_0 \quad 5.2 = 4 \times 10^{-15} \times f_0$$

$$f_0 = \frac{5.2}{4} \times 10^{15} \text{ Hz}$$

۶۹: تابش فرابنفشی با طول موج 200 nm بر سطح تیغه‌ای از جنس آهن با تابع کار 4.5 eV تابیده می‌شود. بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های گسیل‌شده از سطح آهن چند الکترون‌ولت است؟ ($hc = 1240 \text{ eV.nm}$)

$$\text{①}$$





طیف خطی و معادله ریدبرگ

تابش گرمایی :

اجسام در هر دمایی که باشند از خود امواج الکترومغناطیسی گسیل می‌کنند که به آن تابش گرمایی می‌گویند.

طیف پیوسته :

گستره‌ای پیوسته از طول موج‌های الکترومغناطیسی از جسم جامد ملتهب، مانند رشته داغ لامپ روشن است.



تذکر : تشکیل این طیف ناشی از برهم‌کنش قوی بین اتم‌های سازنده جسم جامد است.

طیف گسیلی خطی :

گستره‌ای از طول موج‌های الکترومغناطیسی معینی است که از گازهای کم‌فشار و رقیق گسیل می‌شود.

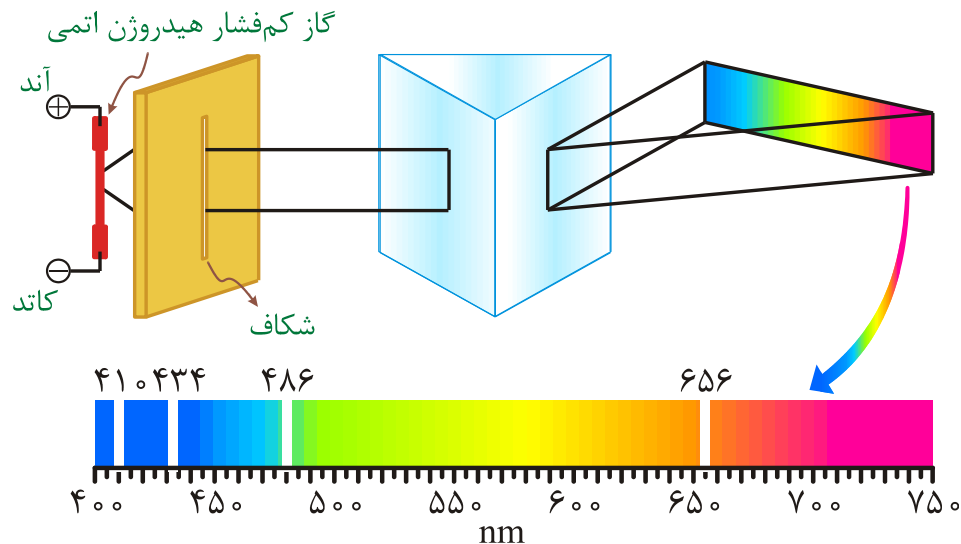


تذکر :

۱- طول موج‌های طیف خطی برای اتم‌های هر گاز منحصر به فرد است.

۲- طیف خطی سرخ‌های مهمی را درباره نوع و ساختار اتم‌های آن گاز، مشخص می‌کنند.

۳- طیف خطی هیچ دو عنصری یکسان نیست.





برای تعیین طول موج های طیف گسیلی خطی، هیدروژن استفاده می شود.

ثابت ریذبرگ (10^7 nm^{-1})

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

شمار تراز پایین تر

شماره تراز بالاتر

$$n = n' + k$$

• طول موج k امین خط هر رشته :

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{(n' + k)^2} \right)$$

کمترین فاصله
بیشترین فاصله

تذکره : رابطه بلندترین و کوتاه ترین طول موج هر رشته :

$$n = n' + 1 \Rightarrow \frac{1}{\lambda_{\max}} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{(n' + 1)^2} \right)$$

$$n \Rightarrow \infty \Rightarrow \frac{1}{\lambda_{\min}} = R \left(\frac{1}{n'^2} \right)$$

مدل‌های اتمی

مدل رادرفورد (هسته‌ای) :

اتم دارای هسته‌ای بسیار چگال و کوچک با بار مثبت است که الکترون‌ها در فاصله نسبتاً دور در اطراف هسته‌اند و در حالت طبیعی اتم از نظر الکتریکی خنثی است.

دکتر علیرضا بیات

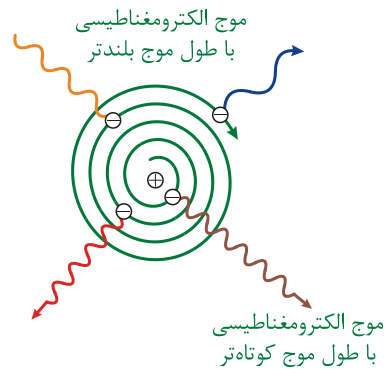


پویش علمی
ماندگارالبرز

نارسایی مدل رادرفورد :

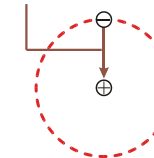
۱- عدم توجیه پایداری اتم

۲- عدم توجیه طیف گسیلی خطی



(ب)

نیروی ربایش الکتریکی که از طرف هسته به الکترون وارد می‌شود.



(الف)

الف) اگر الکترون نسبت به هسته ساکن فرض شود بر اثر نیروی ربایش الکتریکی، روی هسته سقوط می‌کند.

ب) اگر الکترون دور هسته بچرخد، طیفی پیوسته گسیل می‌کند و سرانجام روی هسته فرو می‌افتد.



مدل اتمی بور (اتم هیدروژن) :

۱- شعاع مدارها کوانتیده‌اند.

شماره مدار یا تراز $r_n = a_0 n^2$ شعاع مدار مانای n ام
شعاع بور $(5/29 \times 10^{-11} \text{ m})$

۲- مدارها و انرژی الکترون‌ها در هر اتم کوانتیده‌اند.

یکریبرگ $(13/6 \text{ eV})$
 $E_n = \frac{-E_R}{n^2}$

۳- هنگامی که الکترون در یکی از مدارهای مجاز (حالت مانا) است، تابش الکترومغناطیسی گسیل نمی‌شود.

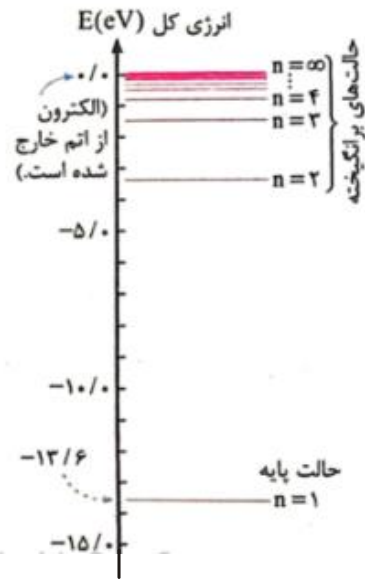
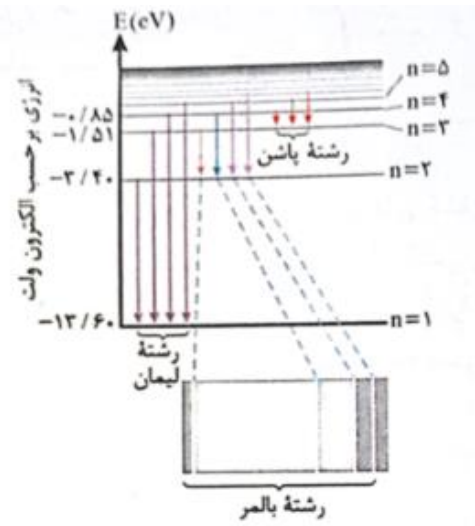
۴- الکترون می‌تواند از یک حالت مانا به حالت مانای دیگر برود.

۵- هنگام گذار الکترون از حالت مانا با انرژی بیش‌تر E_U به حالت مانای با انرژی کم‌تر E_L ، یک فوتون تابش می‌شود.

تطابق مدل بور با معادله ریدبرگ :

$$\underbrace{E_U - E_L}_{\text{اختلاف انرژی بین دو تراز}} = \underbrace{hf}_{\text{انرژی فوتون تابش شده}}, \quad \frac{1}{\lambda} = \frac{E_R}{hc} \left(\frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2} \right)$$

❖ شکل‌های زیر، سه رشته طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی را روی نمودار تراز انرژی نشان می‌دهد که بر اساس مدل اتمی بور رسم شده است.



نمودار ترازهای انرژی برای الکترون اتم هیدروژن

دکتر علیرضا بیات



پویش علمی
ماندگارالبرز



- **۱- حالت پایه :** پایین‌ترین تراز انرژی به ازای $n = 1$ که $-13/6 \text{ eV}$ است را حالت پایه می‌گویند. در اتم هیدروژن و در دمای اتاق، الکترون اغلب در حالت پایه قرار دارد.
- **۲- حالت‌های برانگیخته :** به انرژی‌های به ازای $n = 2$ و بالاتر، حالت‌های برانگیخته می‌گویند. اولین حالت برانگیخته به ازای $n = 2$ و دومین آن به ازای $n = 3$ و... است.
- **۳- انرژی یونش الکترون :** انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه و رساندن آن به حالت برانگیخته $n = \infty$ ($E_{\infty} = 0$) را انرژی یونش الکترون می‌نامند.



❖ موفقیت‌های مدل بور :

➤ ۱- توجیه پایداری اتم

➤ ۲- گسیل طیف خطی

➤ ۳- کاربرد برای اتم هیدروژن گونه

❖ نارسایی‌های مدل بور :

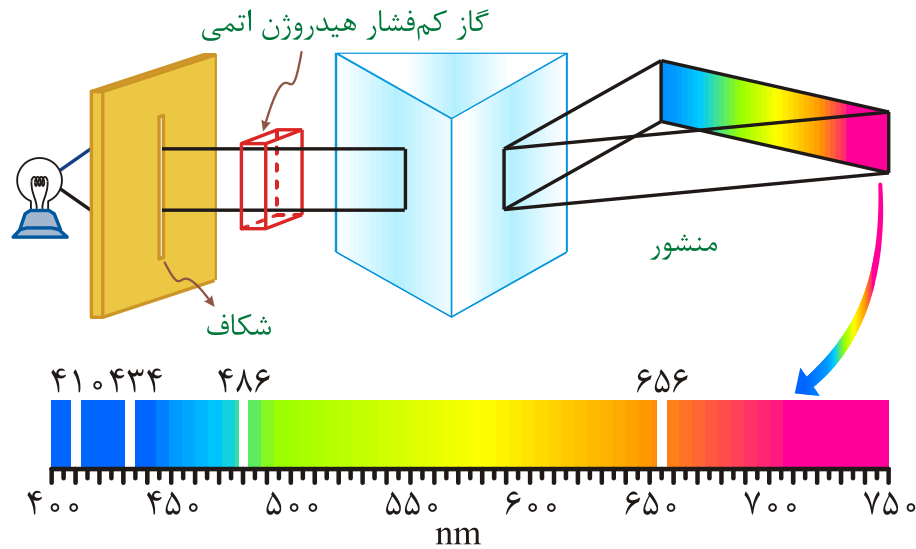
➤ ۱- برای اتم بیش‌تر از یک الکترون کاربرد ندارد.

➤ ۲- تفاوت شدت فلهای طیف گسیلی را توجیه نمی‌کند.

طیف جذبی گاز هیدروژن اتمی

طیف جذبی :

عبور نور سفید از گاز کم‌فشار هیدروژن اتمی و سپس از یک منشور، یک طیف پیوسته (مشابه رنگین کمان) با خط‌هایی تاریک درون آن تشکیل می‌شود که به آن طیف جذبی می‌گویند.



🔦 **تذکر:** طیف خطی گسیلی و جذبی هر عنصری دقیقاً خط‌های یکسان دارد.

طیف خورشید :

طیف جذبی خطی است و خط‌های تاریک آن ناشی از جذب طول موج‌های مربوط به این خط‌ها توسط گازهای جو خورشید و زمین است. (خطوط فرانیهوفر)

دکتر علیرضا بیات

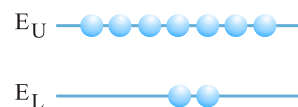


پویش علمی
ماندگارالبرز

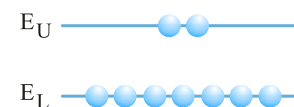




پرتو نور تقویت‌شدهٔ تکفام با فوتون‌های هم‌بسامد، هم‌جهت و هم‌فاز است. اساس کار لیزر، گسیل القایی است.



(ب)



(الف)

الف) به‌طور معمول و در دمای اتاق، بیش‌تر الکترون‌ها در تراز انرژی پایین‌تر قرار دارند.

ب) در وضعیتی که وارونی جمعیت به‌وجود آید بیش‌تر الکترون‌ها در تراز بالاتری (در مقایسه با تراز پایین‌تر) قرار دارند.



۷۰٪: با استفاده از واژه‌های داخل جعبه، جمله‌های زیر را کامل کنید و در پاسخ‌برگ بنویسید.

تامسون - خودبه‌خود - پیوسته - القایی - بور - گسسته - رادرفورد -
شبه پایدار - خطی - جذبی - گسیل القایی - گسیل خودبه‌خود

الف) اتم‌های گازهای کم‌فشار و رقیق، تحت ولتاژ بالا برانگیخته می‌شوند و طیف **خطی** تابش می‌کنند.

ب) در مدل رادرفورد، اگر الکترون به دور هسته بچرخد، طیف **پیوسته** گسیل می‌کند و سرانجام روی هسته فرو می‌افتد.

پ) طبق مدل اتمی **بور** وقتی الکترون در یک مدار مانا قرار دارد، هیچ تابش الکترومغناطیسی گسیل نمی‌کند.

ت) در فرایند گسیل **انزایی** تعداد فوتون‌های گسیل‌شده در همان جهت فوتون ورودی افزایش می‌یابد.

ث) طیف حاصل از اتم‌های برانگیخته گازهای رقیق و کم‌فشار، به صورت است.

ج) طبق مدل اتمی الکترون‌ها در نقاط مختلف اتم پراکنده هستند.

چ) در ترازهای ، الکترون‌ها مدت زمان طولانی‌تری نسبت به حالت برانگیخته معمولی باقی می‌مانند.

ح) خط‌های تاریک در طیف خورشید، معرف طول موج‌های توسط اتم‌های گازهای جو خورشید است.

خ) در تبیین پایداری اتم و محاسبه انرژی یونش اتم هیدروژن، مدل با موفقیت همراه است.

د) خط‌های تاریک در زمینه طیف خورشید، معرف طول موج‌های توسط اتم‌های گازهای جو خورشید است.

ذ) در مدل اتمی الکترون‌ها سهم ناچیزی در جرم اتم دارند و در جاهای مختلف آن پراکنده شده‌اند.



۷۱: الف) دو مورد از ناتوانی مدل اتم هسته‌ای رادرفورد را بنویسید.

ب) بلندترین طول موج در رشته براکت ($n' = 4$) هیدروژن اتمی چند نانومتر است؟ ($R = \frac{1}{100} \text{ nm}^{-1}$)

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{1}{100} \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{\infty^2} \right) = \frac{1}{100} \left(\frac{1}{16} \right) \Rightarrow \lambda = \frac{100 \times 16}{1} = 1600 \text{ nm}$$

۷۲: طول موج چندمین خط طیفی اتم هیدروژن در رشته لیمان ($n' = 1$) برابر با $\frac{400}{3} \text{ nm}$ است؟ ($R = 0.01 \text{ nm}^{-1}$)

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) \Rightarrow \frac{1}{\frac{400}{3}} = 0.01 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \Rightarrow \frac{3}{400} = 0.01 \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) \Rightarrow \frac{3}{40} = 1 - \frac{1}{n^2} \Rightarrow \frac{1}{n^2} = 1 - \frac{3}{40} = \frac{37}{40} \Rightarrow n^2 = \frac{40}{37} \Rightarrow n \approx 1.05$$

۷۳: شکل روبه‌رو تعدادی از ترازهای انرژی اتم هیدروژن را نشان می‌دهد. با محاسبه نشان دهید که گذار بین کدام دو تراز می‌تواند

به گسیل فوتونی با طول موج 102.5 nm منجر شود؟ ($hc = 1240 \text{ eV.nm}$)



_____ eV

_____ eV

_____ eV

_____ eV



۷۴: طول موج سومین خط طیفی اتم هیدروژن در رشته پاشن ($n' = 3$) چند نانومتر است؟ تعیین کنید این طیف در کدام گستره طول موج‌های امواج الکترومغناطیسی واقع است؟
($R = 0.01 \text{ nm}^{-1}$)

۷۵: انرژی الکترونی در یک حالت مانای اتم هیدروژن $85 \text{ eV} / -$ است. شعاع مدار الکترون در این حالت مانا را بر حسب متر به دست آورید. ($a_0 = 5 \times 10^{-11} \text{ m}$ ، $E_R = 13.6 \text{ eV}$)

۷۶: کوتاه‌ترین طول موج در رشته براکت ($n' = 4$) هیدروژن اتمی چند نانومتر است؟ ($R = 0.01 \text{ nm}^{-1}$)

۷۷: در اتم هیدروژن، الکترونی در یک مدار مانا با شعاع a_0 قرار دارد که a_0 شعاع بور برای اتم هیدروژن است. با استفاده از رابطه $E_n = \frac{-13.6 \text{ eV}}{n^2}$ ، انرژی الکترون در این مدار

چند ریدبرگ می‌باشد؟

دکتر علیرضا بیات



پویش علمی
ماندگارالبرز

۷۸: در اتم هیدروژن، الکترونی ابتدا در تراز سوم قرار دارد و سپس گذاری به تراز دوم انجام می‌دهد.

الف) در این گذار، فوتون جذب می‌شود یا گسیل؟

ب) انرژی فوتون جذب‌شده یا گسیل‌شده چند الکترون‌ولت است؟ ($E_R = 13.6 \text{ eV}$)

