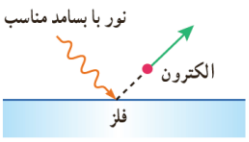
فصل ۵: آشناسیی با فیزیک اتمی

اثر فوتوالکتریک:



شکل ۵ـ۲ الکترون‌ها، انرژی نور فرودی را جذب می‌کنند و از سطح فلز خارج می‌شوند.

اگر نور با بسامد مناسب(مثلا فرابنفش) به سطح فلز بتابد، الکترون‌هایی از سطح فلز جدا می‌شوند که به آن‌ها فوتوالکترون می گویند.

* شکل ۵-۳ مطالعه شود*

نکته: اثر فوتوالکتریک نشان دهنده‌ی خاصیت ذره‌ای نور است.

نکته: آزمایش یانگ و پدیده‌ی پراش نشان دهنده‌ی خاصیت موجی نور است.

فیزیک مدرن: فیزیک جدید از سال ۱۹۰۰ به بعد شامل فیزیک کوانتومی و نظریه نسبیت را فیزیک مدرن می‌گویند.

فیزیک کلاسیک: به فیزیک قدیمی و نیوتونی فیزیک کلاسیک می گویند.

توجیه اثر فوتوالکتریک بوسیله فیزیک کلاسیک:

نور یک موج الکترومغناطیسی است و میدان الکتریکی آن به الکترون‌ها نیروی $F=qE$ وارد می‌کند و آن‌ها را از سطح فلز جدا می‌کند.

مشکلات توجیح فیزیک کلاسیک:

۱- طبق نظریه کلاسیک، این پدیده باید با هر بسامدی رخ دهد.(درحالی که در واقعیت فقط در بسامدهای خاصی رخ می‌دهد)

۲- از معادلات ماکسول در نظریه کلاسیک می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش شدت نور باید انرژی فوتوالکترون‌های جدا شده از فلز زیاد شود.(در حالی که در واقعیت اینطور نیست)

توجیح فیزیک مدرن:

اینشتین با استفاده از نظریه‌ی پلانک در زمینه‌ی تابش گرمایی، نور با بسامد f را به صورت بسته‌هایی از انرژی در نظر گرفت و هر بسته را یک فوتون نامید.

$$E=hf$$

در این رابطه E انرژی هر فوتون، f بسامد فوتون و $h=۶/۶۳\times۱۰^{-۳۴}\ j.s$ ثابت پلانک است.

پایستگی انرژی:

اگر انرژی فوتون تابیده شده(hf) بیشتر از کار لازم برای جدا کردن الکترون از فلز(W) باشد، باقیمانده‌ی آن به صورت انرژی جنبشی(K) در الکترون ذخیره می‌شود:

$$\boxed{hf=W+K}$$

تابع کار فلز:

کمترین کار لازم برای جدا کردن سست‌ترین الکترون‌ها از فلز را تابع کار فلز($W_{\circ}$) می گویند.

نکته: تابع کار فلز($W_{\circ}$) فقط به جنس فلز بستگی دارد.

* سست‌ترین الکترون‌ها پس از جدا شدن از سطح فلز بیشترین انرژی جنبشی را خواهند داشت چون برای جدا شدن آن‌ها انرژی کمی مصرف شده است. پس معادله پایستگی انرژی برای سست‌ترین الکترون‌ها به صورت زیر در می‌آید:

$$\boxed{hf = W_\circ + K_{max}}$$

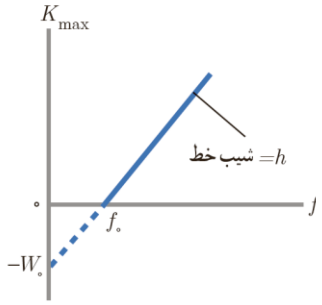
نکته: اگر به جای بسامد، طول موج نور را دادند می‌توان از رابطه‌ی $f = \frac{c}{\lambda}$ استفاده کرد: $\boxed{h\frac{c}{\lambda} = W_\circ + K_{max}}$

بسامد آستانه(بسامد قطع):

بسامدی است که در آن انرژی الکترون‌های جدا شده از فلز برابر با صفر است($K = \circ$) و به آن بسامد آستانه($f_\circ$) می‌گویند.

(یعنی در این بسامد، کل انرژی فوتون صرف جدا کردن الکترون از فلز می‌شود.)

$$hf_\circ = W_\circ + \circ \longrightarrow \boxed{f_\circ = \frac{W_\circ}{h}}$$



شکل ۵ـ۴ نمودار بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها برحسب بسامد نور فرودی. وقتی بسامد نور فرودی بزرگ‌تر از $f_\circ$ یا مساوی با آن باشد فوتون‌ها می‌توانند الکترون‌ها را از فلز خارج کنند.

نکته: برای یک فلز، اثر فوتوالکتریک در بسامدهای کوچکتر از بسامد قطع رخ نمی‌دهد.

نکته: برای یک فلز، اثر فوتوالکتریک در طول موج‌های بزرگتر از طول موج قطع رخ نمی‌دهد.

نتیجه: کم‌ترین بسامد = بسامد قطع – بلندترین طول موج = طول موج قطع

نکته: بسامد قطع مانند تابع کار فلز، به جنس فلز بستگی دارد.

نکته: شیب خط نمودار انرژی جنبشی بیشینه برحسب بسامد، برابر است با ثابت پلانک(مطابق شکل).

نکته: عرض از مبدا این نمودار همان تابع کار فلز است.(جایی که محور عمودی را قطع می کند $-W_\circ$ است)

نکته: از رابطه $f = \frac{c}{\lambda}$ می‌توان طول موج قطع را نیز بدست آورد($c = ۳\times۱۰^{۸}\ \frac{m}{s}$ تندی نور در خلا است):

$$f_\circ = \frac{W_\circ}{h} \xrightarrow{f_\circ = \frac{c}{\lambda_\circ}} \frac{c}{\lambda_\circ} = \frac{W_\circ}{h} \longrightarrow \boxed{\lambda_\circ = \frac{hc}{W_\circ}}$$

نکته: در فیزیک اتمی یکای ژول عددی بسیار بزرگ است و به جای آن معمولا از یکایی به نام الکترون–ولت استفاده می کنند.

الکترون–ولت: میزان انرژی‌ای است که در یک الکترونی که تحت اختلاف پتانسیل یک ولت قرار گرفته‌است ذخیره می‌شود.(*اگر یک الکترون را درون ولتاژ یک ولت قرار دهیم، انرژی‌ای معادل یک الکترون–ولت در آن ذخیره می‌شود*)

$$\boxed{۱\ ev = ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ j} \longrightarrow ۱j = \frac{۱\ ev}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}} = ۶/۲۵\times۱۰^{۱۸} ev$$

نکته: اگر در ثابت پلانک به جای ژول، الکترون–ولت قرار دهیم مقدار آن برابر می‌شود با:

$$h = ۶/۶۳\times۱۰^{-۳۴}\ j.s = ۶/۶۳\times۱۰^{-۳۴}\left(\frac{۱ev}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}}\right).s \longrightarrow \boxed{h = ۴/۱۴\times۱۰^{-۱۵} ev.s}$$

مثال: (مساله ۸ پایان فصل ۵)

چون طول موج را داده از رابطه دوم فوتوالکتریک استفاده می‌کنیم. طول موج بر حسب نانومتر داده شده، آن را به متر تبدیل می‌کنیم. و چون تابع کار را بر حسب ev داده از ثابت پلانک بر حسب $ev.s$ استفاده می‌کنیم:

$$h\frac{c}{\lambda}=W_{\circ}+K_{max}\longrightarrow K_{max}=h\frac{c}{\lambda}-W_{\circ}\longrightarrow K_{max}=۴/۱۴\times۱۰^{-۱۵}\times\frac{۳\times۱۰^{۸}}{۲۰۰\times۱۰^{-۹}}-۴/۹$$

$$K_{max}=۶/۲۱-۴/۹=۱/۳۱\ ev$$

دقت: می‌توانستیم همه را بر حسب ژول بنویسیم. یعنی تابع کار را به ژول تبدیل کنیم و ثابت پلانک را هم بر حسب ژول بنویسیم. در نتیجه انرژی جنبشی هم بر حسب ژول بدست ما آمد.

مثال: (تمرین ۵-۱ متن کتاب صفحه تقریبی: ۱۲۰)

الف) از رابطه طول موج قطع داریم: $\lambda_{\circ}=\frac{hc}{W_{\circ}}\longrightarrow W_{\circ}=\frac{hc}{\lambda_{\circ}}=\frac{۴/۱۴\times۱۰^{-۱۵}\times۳\times۱۰^{۸}}{۲/۵۴\times۱۰^{-۷}}=۴/۸۹ev$

ب) چون ۲۵۴ نانومتر، طول موج قطع است، پدیده فوتوالکتریک به ازای طول موج‌های کوچکتر یا برابر با طول موج قطع یعنی ۲۵۴ نانومتر رخ می‌دهد: $\lambda\le ۲۵۴nm$

مثال: (تمرین ۵-۲ متن کتاب صفحه تقریبی: ۱۲۰)

الف) بلندترین طول موج ممکن همان طول موج قطع است. از جدول ۵-۱ تابع کار فلز روی $W_{\circ}=۴/۳۱ev$ است.

$$\lambda_{\circ}=\frac{hc}{W_{\circ}}=\frac{۴/۱۴\times۱۰^{-۱۵}\times۳\times۱۰^{۸}}{۴/۳۱}=۲/۸۸\times۱۰^{-۷}m=۲۸۸nm$$

ب) $K_{max}=h\frac{c}{\lambda}-W_{\circ}=۴/۱۴\times۱۰^{-۱۵}\times\frac{۳\times۱۰^{۸}}{۲۰۰\times۱۰^{-۹}}-۴/۳۱=۶/۲۱-۴/۳۱=۱/۹ev$

باید این انرژی را به ژول تبدیل کنیم تا از رابطه انرژی جنبشی، سرعت آن را بدست آوریم:

$$K_{max}=۱/۹ev=۱/۹\times(۱/۶\times۱۰^{-۱۹}j)\simeq۳\times۱۰^{-۱۹}j$$

جرم الکترون به صورت تقریبی $۹\times۱۰^{-۳۱}kg$ است:

$$K=\frac{۱}{۲}mv^{۲}\longrightarrow K_{max}=\frac{۱}{۲}mv_{max}^{۲}\longrightarrow v_{max}=\sqrt{\frac{۲K_{max}}{m}}\simeq\sqrt{\frac{۲\times۳\times۱۰^{-۱۹}}{۹\times۱۰^{-۳۱}}}=۷\times۱۰^{۵}\ \frac{m}{s}$$

نکته: همه‌ی اجسام در هر دمایی از خود موج الکترومغناطیسی گسیل(تابش) می‌کنند که به آن تابش گرمایی می‌گویند.

نکته: در اجسام جامد به دلیل وجود برهم‌کنش‌های قوی بین اتمها، طیف گسیلی پیوسته است. (طیف گسیلی پیوسته).

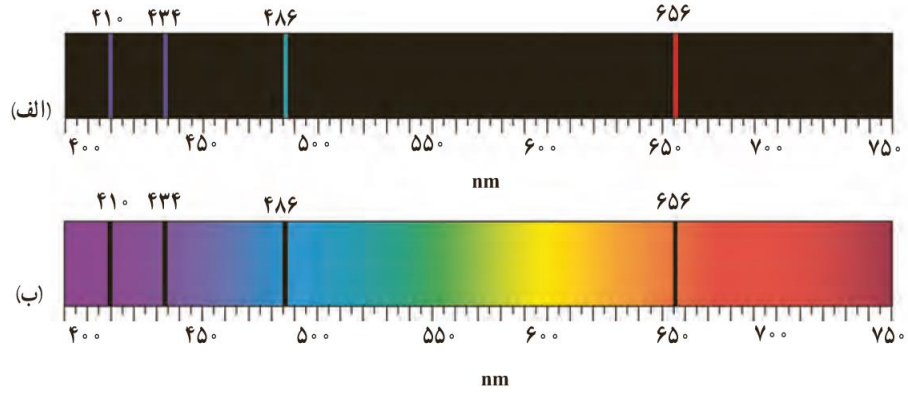
نکته: در گازهای رقیق و بخار عناصر، بین عناصر برهم‌کنش وجود ندارد و طیف گسیلی گسسته یا خطی است. (طیف گسیلی خطی).

شکل های ۵-۶ و ۵-۷. صفحه ۱۲۱ کتاب چاپ سال پیش.

طیف جذبی خورشید(خطوط فرانهوفر):

فرانهوفر مشاهده کرد که در طیف پیوسته‌ی خورشید خطوط سیاهی وجود دارد. این خطوط بوسیله‌ی گازهایی که در سطح خورشید وجود دارند از طیف پیوسته خورشید جذب شده اند(طیف جذبی خطی).

- هم در طیف گسیلی و هم در طیف جذبی اتم‌های گاز هر عنصر، طول‌موج‌های معیّنی وجود دارد که از مشخصه‌های آن عنصر است. یعنی طیف گسیلی و طیف جذبی هیچ دو گازی همانند یکدیگر نیست.
- اتم‌های هر گاز دقیقاً همان طول‌موج‌هایی را از نور سفید جذب می‌کنند که اگر دمای آنها به اندازهٔ کافی بالا رود و یا به هر صورت دیگر برانگیخته شوند، آنها را تابش می‌کنند.



شکل ۵ـ۱۷ طیف گسیلی و جذبی گاز هیدروژن اتمی. الف) خط‌های روشن در طیف گسیلی معرف طول‌موج‌های گسیل‌شده و ب) خط‌های تاریک در زمینهٔ طیف، معرف طول‌موج‌های جذب‌شده توسط اتم‌های گاز هستند.

طیف اتم هیدروژن:

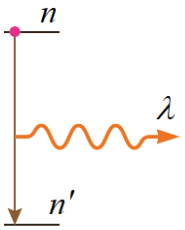
۱- رابطه‌ی بالمر: بالمر برای طیف گسیلی مشاهده شده از اتم هیدروژن رابطه‌ی زیر را پیشنهاد کرد:

$$\lambda = ۳۶۴/۵۶nm \times (\frac{n^۲}{n^۲ - ۲^۲})$$

در این رابطه $n = ۳,۴,۵,۶$ است. قرمز: n=3 و بنفش: n=6

۲- رابطه‌ی ریدبرگ: ریدبرگ رابطه‌ی بالمر را اصلاح و تکمیل کرد. اگر الکترون از تراز n به تراز پایینتر n' برود فوتونی با طول موج λ آزاد می‌کند:

$$\frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{n'^۲} - \frac{۱}{n^۲})$$



در این رابطه $R = ۰/۰۱۱ \frac{۱}{nm}$ ثابت ریدبرگ است.

نکته: در هر دو رابطه‌ی بالمر و ریدبرگ، λ برحسب نانومتر بدست می‌آید.

نکته: در جدول ۵-۲ صفحه ۱۲۳ نام رشته‌های خطی اتم هیدروژن نوشته شده است. باید برای هر سری مقدار n' را حفظ باشید. مثلا وقتی گفتند رشته‌ی پاشن باید بدانید $n'=3$ است.

نکته: رابطه بالمر فقط برای سری بالمر کاربرد دارد($n'=2$) اما رابطه ریدبرگ کلی‌تر است.

مثال: در اتم هیدروژن الکترونی از تراز ۴ به تراز ۲ رفته است. الف) نام رشته چیست؟ ب) طول موج فوتون آزاد شده را بوسیله‌ی رابطه‌ی بالمر حساب کنید. پ) طول موج فوتون آزاد شده را بوسیله‌ی رابطه‌ی ریدبرگ حساب کنید.

الف) رشته بالمر است چون به تراز ۲ رفته است($n'=2$).

ب) $\lambda = 364/56nm \times (\frac{n^2}{n^2-2^2}) = 364/56 \times (\frac{4^2}{4^2-2^2}) = 364/56 \times (\frac{16}{12}) \simeq 486nm$

پ) $\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{n^2}) = \frac{11}{1000}(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{4^2}) = \frac{11}{1000}(\frac{1}{4}-\frac{1}{16}) \longrightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{11}{1000}(\frac{3}{16}) \longrightarrow \lambda = \frac{16000}{33} \simeq 485nm$

نکته: اگر کوتاهترین طول موج را خواستند: $n=\infty$

نکته: اگر بلندترین طول موج را خواستند: $n=n'+1$

مثال ۵ــ۵

کوتاه‌ترین و بلندترین طول‌موج در رشتهٔ پفوند ($n'=5$) هیدروژن اتمی را به‌دست آورید.

پاسخ : کوتاه‌ترین طول‌موج، با $n=\infty$ متناظر است. در این صورت با استفاده از رابطهٔ ۵ــ۶ داریم :

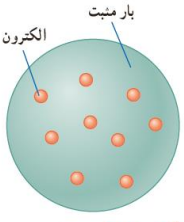
$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{\infty}\right) = \frac{R}{25} \Rightarrow \lambda = 2273\text{nm}$$

همچنین بلندترین طول‌موج این رشته، متناظر با $n=6$ است. در این صورت داریم :

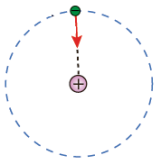
$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{6^2}\right) = \frac{11R}{900} \Rightarrow \lambda = 7438\text{nm}$$

- تامسون نخستین بار الکترون را کشف کرد و نسبت بار به جرم آن($\frac{e}{m}$) را حساب کرد.

مدل‌های اتمی: ۱-مدل تامسون(کیک کشمشی) ۲- مدل رادفورد(مدل سیاره‌ای) ۳- مدل بور(ترازهای انرژی)



شکل ۵ــ۹ در مدل تامسون، بار الکتریکی مثبت به‌طور همگن در کره‌ای توزیع شده است و الکترون‌ها مانند کشمش‌های کیک در نقاط مختلف آن قرار دارند.



مدل رادرفورد: ۱- بیشتر فضای اتم خالی است. ۲- بار مثبت در فضای کوچکی به نام هسته جمع شده است. ۳- الکترون‌ها در مدارهایی دور هسته‌ای با بار مثبت می‌چرخند.

مدل بور: در این مدل مدارهای مانا به عنوان تراز مجاز انرژی معرفی شدند. ترازهای انرژی جایگزین مدارهای گردش در مدل رادرفورد شدند. (در مقیاس اتمی، فیزیک کوانتومی باید جایگزین فیزیک کلاسیک شود)

فرض‌های ۱ و۲و ۳ بور در صفحه ۱۲۷ خواند شود.

مشکلات مدل تامسون چیست؟ آزمایش برخورد ذرات به ورقه‌ی طلا که رادرفورد انجام داد را توجیه نمی‌کرد.(شکل ۵ – ۱۰)

مشکلات مدل اتمی رادرفورد چیست؟

شکل ۵ــ۱۱ ناتوانی مدل اتم هسته‌ای رادرفورد در تبیین پایداری اتم. 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.

روابط اتم هیدروژن:

شعاع مدار n ام از رابطه‌ی مقابل بدست می‌آید: $r_n = n^2 a_\circ$

انرژی الکترون در تراز n ام برابر است با: $E_n = \frac{-E_R}{n^2} \xrightarrow{E_R = ۱۳/۶ ev} E_n = \frac{-۱۳/۶ ev}{n^2}$

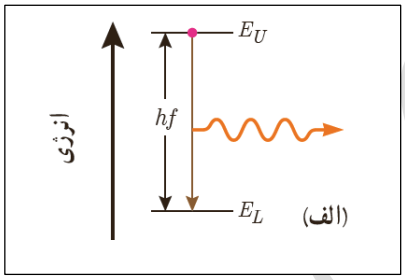
در روابط فوق:

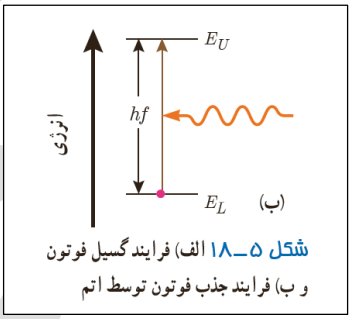
- شعاع مدار اول در اتم هیدروژن $a_\circ = ۰/۵۲۹ A^\circ$ است.
- $E_R = ۱۳/۶ ev$ یک ریدبرگ نام دارد. (با ثابت ریدبرگ R اشتباه گرفته نشود)
- عدد کوانتومی n نشان دهنده‌ی حالت الکترون در اتم است:

n=۱ حالت پایه ، n=۲ حالت اول برانگیخته ، n=۳ حالت دوم برانگیخته و ....

نکته: اگر الکترونی از ترازی با انرژی بالا E_U به ترازی با انرژی پایینتر E_L برود، فوتونی با انرژی‌ای معادل با اختلاف انرژی این دو تراز آزاد می‌کند. و اگر بخواهد از تراز پایین به بالا برود باید فوتونی با انرژی‌ای معادل با اختلاف انرژی دو تراز جذب کند.

$$\Delta E = E_U - E_L = hf$$





شکل ۵ــ۱۸ الف) فرایند گسیل فوتون و ب) فرایند جذب فوتون توسط اتم

انرژی یونش:

کمترین انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه است.

مثال: انرژی یونش برای اتم هیدروژن $۱۳/۶ ev$ است. یعنی باید به الکترون $۱۳/۶ ev$ انرژی بدهیم تا از قید هسته رها شود.

مثال: الکترونی در اتم هیدروژن از دومین حالت برانگیخته به اولین حالت برانگیخته رفته است. الف) شعاع مدار آن چقدر تغییر کرده است؟ ب) تغییر انرژی آن چند الکترون ولت است؟ پ) بسامد فوتون آزاد شده چند هرتز است؟

پاسخ: الکترون از دومین حالت($n=۳$) برانگیخته به اولین حالت برانگیخته($n=۲$) رفته است.

الف)

$$r_n = n^۲ a_۰ \longrightarrow r_۲ = ۲^۲ a_۰ = ۴a_۰ \quad , \quad r_۳ = ۳^۲ a_۰ = ۹a_۰$$
$$\Delta r = r_۲ - r_۳ = ۴a_۰ - ۹a_۰ = ۵a_۰ = -۵ \times ۰/۵۲۹ A^\circ = -۲/۶۴۵ A^\circ$$

ب)

$$E_n = \frac{-۱۳/۶ ev}{n^۲} \longrightarrow E_۲ = \frac{-۱۳/۶ ev}{۲^۲} = ۳/۴ ev \quad , \quad E_۳ = \frac{-۱۳/۶ ev}{۳^۲} = ۱/۵۱ ev$$
$$\Delta E = E_۲ - E_۳ = ۳/۴ ev - ۱/۵۱ ev = ۱/۸۹ ev$$

پ) می‌توانیم اختلاق انرژی را به ژول تبدیل کنیم و ثابت پلانک را برحسب ژول بنویسیم. یا اینکه مستقیما ثابت پلانک را بر حسب الکترون ولت بنویسیم(ما روش دوم را می‌نویسیم):

$$\Delta \mathrm{E} = E_U - E_L = ۳/۴ ev - ۱/۵۱ ev = ۱/۸۹ ev$$
$$\Delta \mathrm{E} = hf \ \rightarrow f = \frac{\Delta \mathrm{E}}{h} = \frac{۱/۸۹ ev}{۴/۱۴ \times ۱۰^{-۱۵} ev.s} = ۰/۴۵۶ \times ۱۰^{-۱۵} \frac{۱}{s} = ۴/۵۶ \times ۱۰^{-۱۶} Hz$$

نکته: از اثبات معادله ریدبرگ در صفحه ۱۲۹ می‌توان رابطه‌ی بین ثابت ریدبرگ(R) و یک ریدبرگ(E_R) را بدست آورد:

$$\boxed{R = \frac{E_R}{hc}}$$

گسیل خودبه خودی: اگر از یک اتم برانگیخته به صورت خودبه خودی فوتون آزاد شود و آن اتم به حالت پایه برود می‌گوییم گسیل خودبه خودی انجام شده است.

اتم برانگیخته <----- فوتون + اتم

گسیل القایی: اگر با تابش فوتون به یک اتم برانگیخته آن را تحریک به گسیل ۲ فوتون کنیم، گسیل القایی صورت گرفته است.

اتم برانگیخته + فوتون <----- ۲ فوتون + اتم

فصل ۶: آشناسیی با فیزیک هسته‌ای

در فصل قبل در مورد اتم صحبت کردیم. در این فصل در مورد مرکز اتم(هسته) که پروتون‌ها و نوترون‌ها در آن جای می گیرند صحبت خواهیم کرد.

نکته: هرعنصر با نماد شیمیایی X را به صورت کلی $\boxed{{}^{A}_{Z}X_{N}}$ نشان می‌دهند.

Z عدد اتمی است. (تعداد پروتون‌ها)

N عدد نوترونی است. (تعداد نوترون‌ها) $\boxed{A=Z+N}$

A عدد جرمی است. (مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها)

مثال: تعداد پروتون، نوترون و الکترون‌های عناصر مقابل را بنویسید. الف) ${}^{۲۷}_{۱۳}AL$ ب) ${}^{۱۴}_{۶}C^{-}$

پاسخ: الف) با مقایسه عبارت داده شده با شکل نمادین عناصر می‌توان نتیجه گرفت: $A=۲۷$, $Z=۱۳$

یعنی تعداد پروتون‌ها که همان Z است برابر با ۱۳ است. چون اتم خنثی است تعداد الکترون‌ها هم برابر با ۱۳ است. تعداد نوترون‌ها داده نشده است اما بوسیله‌ی A می‌توان آن را بدست آورد:

پس تعداد نوترون‌ها ۱۴ است. $A=Z+N\longrightarrow ۲۷=۱۳+N\longrightarrow \boxed{N=۱۴}$

ب) در اینجا $A=۱۴$, $Z=۶$ است. پس تعداد پروتون‌ها ۶ و تعداد نوترون‌ها:

$A=Z+N\longrightarrow ۱۴=۶+N\longrightarrow \boxed{N=۸}$

چون اتم یک بار منفی است یعنی یک الکترون اضافی دارد. پس تعداد الکترون‌های آن یکی بیشتر از پروتون‌های آن است. در نتیجه ۷ الکترون دارد.

عیسی اقدامی، دبیر فیزیک شهرستان صومعه‌سرا ۰۹۱۱۲۸۲۵۱۹۷

ایزوتوپ: هسته‌هایی که تعداد پروتون مساوی اما تعداد نوترون متفاوت دارند ایزوتوپ نام دارند. مثلا ${}^{۱۲}_{۶}C$ و ${}^{۱۳}_{۶}C$ ایزوتوپ‌های کربن هستند.

نکته: چون معمولا Z خواص شیمیایی عناصر را تعیین می کند، ایزوتوپ‌ها در جدول تناوبی هم مکان هستند.(ایزوتوپ یعنی هم مکان)

نکته: معمولا ایزوتوپ هسته‌های یک عنصر با نماد همان عنصر نشان داده می‌شوند(مثلا ایزوتوپ‌های کربن با نماد C نشان داده می‌شوند). اما ایزوتوپ‌های هیدروژن به خاطر خواص متفاوتی که دارند با نمادهای مختلف نشان داده می‌شوند:

هیدروژن: ${}^{۱}_{۱}H$ دوتریوم: ${}^{۲}_{۱}D$ تریتیوم: ${}^{۳}_{۱}T$

نکته: به پروتون‌ها و نوترون‌های هسته نوکلئون‌های هسته می‌گویند.

نکته: با توجه به شکل ۶-۳ صفحه ۱۴۰، در عناصر سنگین‌تر تعداد نوترون‌ها از پروتون‌ها بیشتر است.

پرسش: با توجه به شکل ۶-۳ صفحه ۱۴۰ توضیح دهید چرا در عناصر سنگین‌تر تعداد نوترون‌ها از پروتون‌ها بیشتر است؟

برای پایداری هسته، باید نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی بین پروتون‌ها با نیروی جاذبهٔ بین نوکلئون‌ها، که ناشی از نیروی هسته‌ای است، موازنه شده باشد. ولی به دلیل بلندبُرد بودن نیروی الکتروستاتیکی، یک پروتون تمام پروتون‌های دیگر درون هسته را دفع می‌کند، در حالی که یک پروتون یا یک نوترون، فقط نزدیک‌ترین نوکلئون‌های مجاور خود را با نیروی هسته‌ای جذب می‌کند. به همین دلیل وقتی تعداد پروتون‌های درون هسته افزایش یابد، اگر هسته بخواهد پایدار باقی بماند، باید تعداد نوترون‌های درون هسته نیز افزایش یابد.

نیروی هسته‌ای: برای اینکه نوکلئون‌ها در هسته در کنار هم بمانند باید نیرویی وجود داشته باشد که بر دافعه‌ی الکتریکی بین پروتون‌ها غلبه کند. این نیرو، نیروی هسته‌ای نام دارد.

انرژی بستگی: انرژی مورد نیاز برای جدا کردن نوکلئون‌های یک هسته انرژی بستگی نام دارد.

نکته مهم: آزمایش نشان داده است که جرم هسته از جرم مجموع نوکلئون‌های یک هسته کمتر است. این جرم به صورت انرژی بستگی هسته در آمده است.

یعنی می‌دانیم درون یک هسته مثلا ۶ پروتون و ۷ نوترون وجود دارد. جرم پروتون و نوترون را می‌دانیم. در نتیجه جرم هسته را از جمع کردن جرم آنها حساب می‌کنیم.

از سوی دیگر، جرم خود هسته را مستقیما اندازه‌گیری می‌کنیم و می‌بینیم از عددی که در بالا حساب کرده بودیم کمتر است! یعنی جرم هسته از جرم مجموع اجزای تشکیل دهنده‌ی آن کمتر است.

نکته: مقدار این انرژی بستگی از رابطه‌ی معروف $E = mc^2$ اینشتین بدست می‌آید که در آن c تندی نور و m اختلاف جرم بین هسته و مقدار جرم نوکلئون‌های هسته است.

پرتوزایی: هسته‌ی عناصر سنگین هنگام واپاشی از خود پرتوهای α و β و γ گسیل می‌کنند و به این عمل پرتوزایی می‌گویند.

نکته: در واکنش‌های پرتوزایی باید مجموع Zها در سمت چپ با مجموع Zها در راست واکنش برابر باشد(بقای بار).

نکته: در واکنش‌های پرتوزایی باید مجموع Aها در سمت چپ با مجموع Aها در راست واکنش برابر باشد(بقای ماده).

نکته: پوزیترون ذره‌ای هم‌جرم با الکترون است اما بار آن + است. بار الکترون $-e$ و بار پوزیترون $+e$ است.

واپاشی α: پرتوهای α از جنس هسته‌ی هلیوم ${}^{4}_{2}He$ هستند. در نتیجه عنصر ${}^{A}_{Z}X$ به صورت زیر واکنش می‌دهد:

$$ {}^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\mathrm{Y} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \qquad (\text{واپاشی } \alpha) $$

واپاشی β: پرتوهای β دو نوع هستند. β^- از جنس الکترون(${}^{0}_{-1}e$) و β^+ از جنس پوزیترون(${}^{0}_{+1}e$) هستند.

$$ {}^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}\mathrm{Y} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}^{-} \qquad (\text{واپاشی } \beta^-) $$

$$ {}^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{A}_{Z-1}\mathrm{Y} + {}^{0}_{1}\mathrm{e}^{+} \qquad (\text{واپاشی } \beta^+) $$

واپاشی γ: پرتوهای γ از جنس انرژی هستند و در نتیجه تابش آن‌ها تاثیری در عدد اتمی و جرمی اتم ندارد. فقط هسته از حالت برانگیخته(ستاره دار) به اتم در حالت پایه تبدیل می‌شود.

$$ {}^{A}_{Z}\mathrm{X}^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}\mathrm{X} + \gamma \qquad (\text{واپاشی } \gamma) $$

مثال: تمرین ۶-۲ صفحه ۱۴۴ کتاب:

با تولید یک بتای منفی در سمت راست واکنش باید عنصری که عدد اتمی آن u باشد تولید شود تا مجموع **Z**ها در دو سمت برابر باشد. اسم این عنصر را از جدول نگاه می‌کنیم:

$$ {}^{176}_{71}Lu \longrightarrow {}^{176}_{72}Hf + {}^{0}_{-1}e $$

توجه: در واکنش واپاشی که **Z** تغییر می‌کند، عنصر جدیدی بوجود می‌آید که نام آن را باید از جدول تناوبی نگاه کنیم و نیازی به حفظ کردن **Z** عناصر نیست.(مثل تمرین بالا که اسم عنصر جدید را از جدول فهمیدیم **Hf** است)

مثال: تمرین ۶-۳ صفحه ۱۴۵ کتاب:

$$ {}^{15}_{8}O \longrightarrow {}^{15}_{7}N + {}^{0}_{+1}e $$

مثال: واکنش مقابل را کامل کنید: $ {}^{234}_{91}pa^{*} \longrightarrow [\quad] + \gamma $

پاسخ: چون از هسته‌ی برانگیخته اشعه‌ی گاما گسیل شده پس باید هسته‌ای در حالت پایه(بدون ستاره) بوجود آید.

$$ {}^{234}_{91}pa^{*} \longrightarrow {}^{234}_{91}pa + \gamma $$

مثال: ایزوتوپ ${}^{238}_{92}U$ واکنش واپاشی می‌دهد. معادله‌ی این واکنش را به کمک جدول تناوبی بنویسید.

پاسخ:

$$ {}^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He $$

نیمه‌عمر: مدت زمانی که طول می‌کشد تا جرم ماده‌ی پرتوزا به نصف مقدار اولیه‌ی خود برسد. آن را با $T_{\frac{1}{2}}$ نشان می‌دهند. جرم اولیه: m_0 جرم باقی ماند: m مدت زمان سپری شده: t تعداد هسته‌های اولیه: N_0

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}} \quad , \quad m = m_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

بسته به اینکه جرم یا تعداد هسته‌ها را بدهند از یکی از فرمول‌های بالا استفاده می‌کنیم.

تذکر: واحدهای $T_{\frac{1}{2}}$ و t باید یکسان باشند.

مثال: تمرین ۶-۴ صفحه ۱۴۷

تمرین ۶ـ۴

پس از گذشت ۹ روز، تعداد هسته‌های پرتوزای یک نمونه، به $\frac{1}{8}$ تعداد موجود در آغاز کاهش یافته است. نیمه‌عمر (برحسب روز) ماده چقدر است؟

پاسخ: از صورت سوال داریم: $N = \frac{1}{8}N_0$ و $t = 9d$ (۹ روز) . چون $T_{\frac{1}{2}}$ را برحسب روز می‌خواهد پس t را نیز بر حسب روز جاگذاری می‌کنیم.

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}} \longrightarrow \frac{1}{8}N_0 = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{9}{T_{\frac{1}{2}}}} \longrightarrow \frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{9}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

باید پایه‌های تساوی فوق را یکسان کنیم تا توان‌های آنها را برابر با هم بگذاریم و مجهول را بدست آوریم. به جای $\frac{1}{8}$ می‌توانیم بنویسیم $\left(\frac{1}{2}\right)^3$ پس:

$$\left(\frac{1}{2}\right)^3 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{9}{T_{\frac{1}{2}}}} \longrightarrow \frac{9}{T_{\frac{1}{2}}} = 3 \longrightarrow \boxed{T_{\frac{1}{2}} = 3d}$$

مثال: تمرین ۱۱ پایان فصل، صفحه ۱۵۶ :

$$T_{\frac{1}{2}} = 60\min = 1h \quad , \quad t = 4h \quad , \quad \frac{N}{N_0} = ?$$

پاسخ:

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}} \longrightarrow \frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{4}{1}} = \frac{1}{16}$$

نکته: ایزوتوپ $^{238}_{92}U$ بسیار فراوان است اما پایدار است و واکنش هسته‌ای زنجیره‌ای نمی‌دهد.

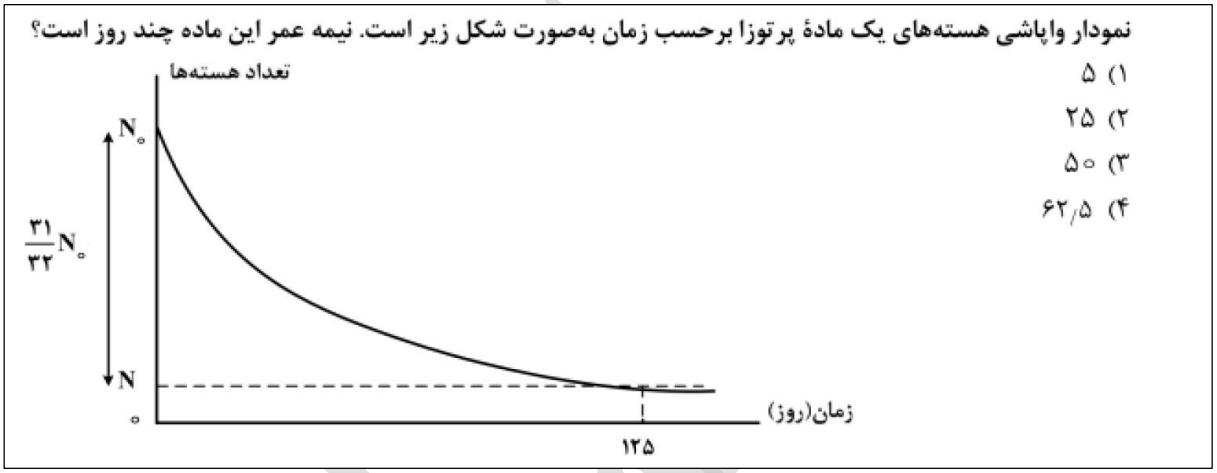
نکته: ایزوتوپ $^{۲۳۵}_{۹۲}U$ حدود ۷۲ صدم درصد(زیر ۱ درصد) از اورانیوم معدن را تشکیل می‌دهد و کمیاب است. اما پایدار نیست و واکنش هسته‌ای زنجیره‌ای می‌دهد.

غنی سازی اورانیوم: بالابردن درصد یا غلظت ایزوتوپ $^{۲۳۵}_{۹۲}U$ را غنی سازی اورانیوم گویند. زیرا این اورانیوم به درد راکتور میخورد.

تست کنکور ریاضی ۹۸:

نمودار واپاشی هسته‌های یک مادهٔ پرتوزا برحسب زمان به‌صورت شکل زیر است. نیمه عمر این ماده چند روز است؟

۱) ۵
۲) ۲۵
۳) ۵۰
۴) ۶۲٫۵



پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. از روی نمودار می‌توانیم ببینیم که پس از ۱۲۵ روز، تعداد هسته‌های باقیمانده برابر است با:

$$N = N_۰ - \frac{۳۱}{۳۲}N_۰ \longrightarrow \boxed{N = \frac{۱}{۳۲}N_۰}$$

حال با جاگذاری در رابطه‌ی اصلی داریم:

$$N = N_۰(\frac{۱}{۲})^{\frac{t}{T_{\frac{۱}{۲}}}} \longrightarrow \frac{۱}{۳۲}N_۰ = N_۰(\frac{۱}{۲})^{\frac{۱۲۵}{T_{\frac{۱}{۲}}}} \longrightarrow (\frac{۱}{۲})^۵ = (\frac{۱}{۲})^{\frac{۱۲۵}{T_{\frac{۱}{۲}}}}$$

$$\frac{۱۲۵}{T_{\frac{۱}{۲}}} = ۵ \longrightarrow T_{\frac{۱}{۲}} = \frac{۱۲۵}{۵} = ۲۵d$$