

# راهنمای پاسخ دهی به تمرینات، فعالیت ها، پرسش ها و مسائل

۴

فصل

## آشنایی با فیزیک اتمی و هسته‌ای



چاقوی گاما (جراحی مغز بدون چاقو) جایگزینی مناسب برای جراحی‌های سنتی و یا روش‌هایی است که در آن کل مغز در معرض تابش قرار می‌گیرد. از این روش در علم روانپزشکی نیز برای درمان وسواس، افسردگی اساسی و اختلالات شدید اضطرابی استفاده می‌شود. این کار چگونه انجام می‌شود؟

### بخش‌ها

- ۱-۴ اثر فوتوالکتریک و فوتون
- ۲-۴ طیف خطی
- ۳-۴ مدل اتم رادرفورد - بور
- ۴-۴ لیزر
- ۵-۴ ساختار هسته
- ۶-۴ پرتوهای طبیعی و نیمه عمر

## تهیه و تنظیم:

## علی قرغانی

دبیر فیزیک استان اصفهان



@GhareghaniPhysics

تمرین ۱-۴

نوری با طول موج  $240\text{nm}$  به سطحی از جنس فلز تنگستن می‌تابد و سبب گسیل فوتوالکترون‌ها از آن می‌شود. الف) بسامد نور فرودی را پیدا کنید.

ب) اگر توان چشمه نور فرودی  $50\text{W}$  باشد، در هر دقیقه چه تعداد فوتون از این چشمه گسیل می‌شود؟

پ) اگر توان و در نتیجه شدت چشمه نور فرودی به نصف کاهش پیدا کند، شمار فوتون‌های گسیل شده از چشمه در هر دقیقه چه تغییری می‌کند؟

الف) 
$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{240 \times 10^{-9}} = 12,5 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

ب) 
$$\left. \begin{aligned} E &= Pt \\ E &= hf \end{aligned} \right\} \rightarrow n = \frac{Pt}{hf} = \frac{50}{6,63 \times 10^{-34} \times 12,5 \times 10^{14}} \approx 6 \times 10^{19}$$

پ) نصف می‌شود.

تمرین ۲-۴

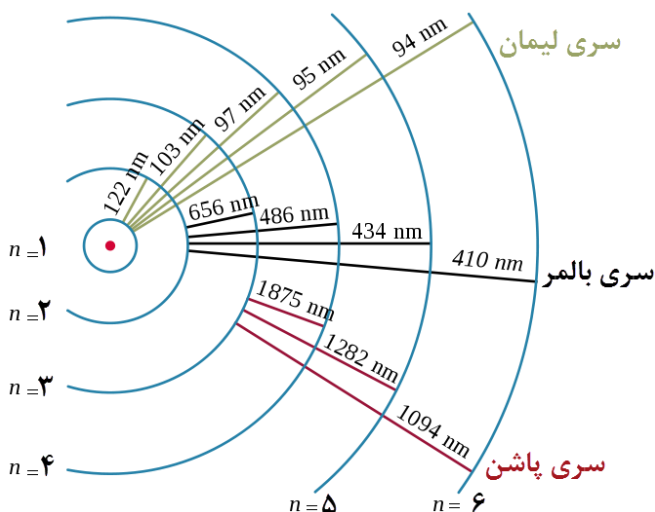
طول موج‌های اولین و دومین خط‌های طیفی اتم هیدروژن در رشته پاشن ( $n = 3$ ) را به دست آورید و تعیین کنید که این خط‌ها در کدام گستره طول موج‌های الکترومغناطیسی واقع‌اند.

در رشته پاشن  $n' = 3$  است، بنابراین اولین و دومین خط آن به ترتیب  $n = 4$  و  $n = 5$  است، از این رو داریم:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) = 0,011 \times \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} \right) = \frac{11}{1000} \times \left( \frac{16-9}{144} \right) = \frac{77}{144000} \rightarrow \lambda = \frac{144000}{77} \text{ nm} \approx 1870 \text{ nm} \rightarrow \text{Infrared}$$

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) = 0,011 \times \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{5^2} \right) = \frac{11}{1000} \times \left( \frac{25-9}{225} \right) = \frac{176}{225000} \rightarrow \lambda = \frac{225000}{176} \text{ nm} \approx 1276 \text{ nm} \rightarrow \text{Infrared}$$

همانطور که در مثال و شکل دیده می‌شود با افزایش شماره  $n$  طول موج‌ها کاهش می‌یابند، بنابراین بلندترین طول موج مربوط به زمانی است که الکترون به نزدیک ترین مدار برود (کوچکترین  $n$ ) و کوتاهترین طول موج مربوط به زمانی است که  $n = \infty$  می‌شود.



تمرین ۴ - ۳

شکل مقابل تعدادی از ترازهای انرژی اتم هیدروژن را نشان می‌دهد.  
 الف) کمترین طول موج فوتونی را پیدا کنید که با گذار بین این ترازها به دست می‌آید.  
 ب) اگر الکترون از تراز انرژی  $-1/51eV$  به تراز پایه جهش کند طول موج فوتون گسیلی را پیدا کنید.  
 پ) کدام گذار بین دو تراز می‌تواند به گسیل فوتونی با طول موج  $660nm$  منجر شود؟ توجه کنید که این طول موج‌ها در گستره مرئی است.

- $0eV$  \_\_\_\_\_
- $-1/51eV$  \_\_\_\_\_
- $-3/40eV$  \_\_\_\_\_
- $-13/6eV$  \_\_\_\_\_

الف) کمترین طول موج مربوط به بیشترین تغییر انرژی است، بنابراین:

$$\Delta E = 0 - (-13/6) = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{1240}{13/6} \approx \frac{1240}{13/5} = 92nm \rightarrow (exact = 91,18)$$

ب) 
$$\Delta E = -1/51 - (-13/6) = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{1240}{12/09} \approx \frac{1240}{12/09} = 102nm$$

پ) گذار از تراز ۳ به ۲ 
$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240}{660} \approx 1,9 \rightarrow (n = 3 \rightarrow n = 2)$$

پرسش ۴ - ۱

آیا معادله ۵ - ۹ برای جذب فوتون نیز برقرار است؟

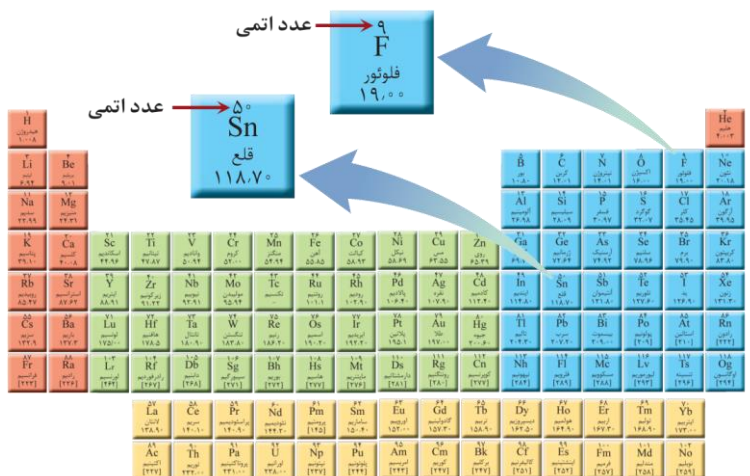
معادله گسیل فوتون از اتم  $E_U - E_L = hf$   
 معادله گسیل فوتون از اتم، بر اساس اختلاف انرژی دو تراز، بسامد فوتون گسیل شده را محاسبه می‌کند، از طرف دیگر می‌دانیم در فرآیند جذب فوتون نیز، اتم فوتون‌هایی را جذب میکند که انرژی آنها دقیقاً به اندازه اختلاف انرژی دو تراز مبداء (تراز پایین‌تر) و مقصد (تراز بالاتر) باشند.

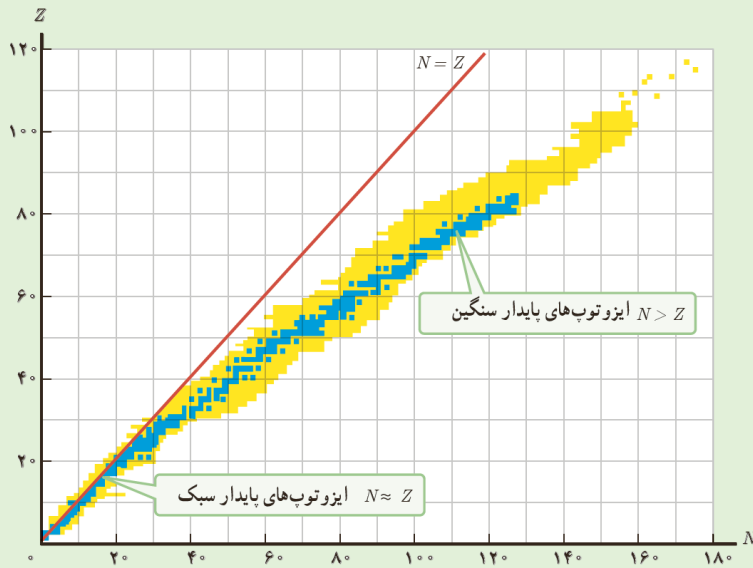
تمرین ۴ - ۴

با توجه به آنچه تاکنون دیدید و همچنین با استفاده از جدول تناوبی عناصر، که در پیوست کتاب آمده‌است، نماد هسته را در هریک از موارد زیر تعیین کنید.

الف) ایزوتوپ فلئور ( $F$ ) با عدد نوترونی ۱۰      ب) ایزوتوپ قلع ( $Sn$ ) با عدد نوترونی ۶۶

${}^{19}_9F$   
 ${}^{116}_{50}Sn_{66}$





هر نقطه تیره رنگ در نمودار شکل زیر نشان دهنده یک هسته پایدار است. با توجه به این نمودار به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

الف) نسبت تعداد نوترون به تعداد پروتون ( $N/Z$ ) برای هسته‌های پایدار مختلف ثابت است یا متفاوت؟ توضیح دهید.

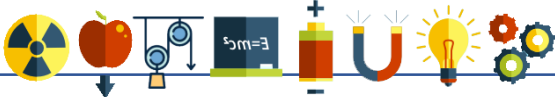
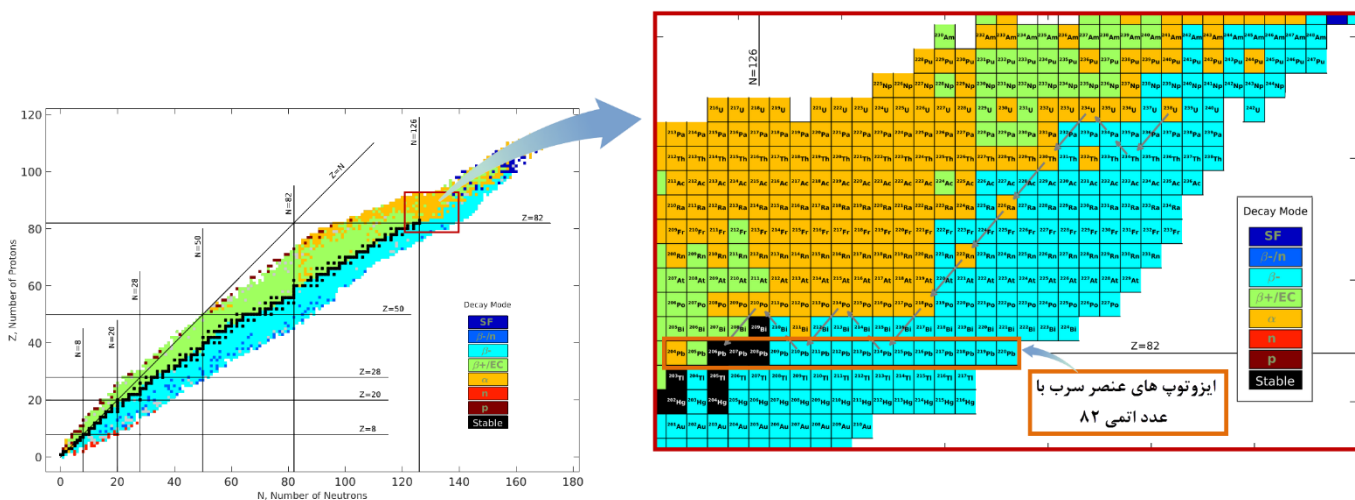
ب) ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر را چگونه می‌توان با استفاده از این نمودار تشخیص داد؟

الف) همانطور که مشاهده می‌شود، خط پایداری ایزوتوپ‌ها ابتدا بر خط  $Z = N$  منطبق است، اما با زیاد شدن  $Z$  به تدریج از آن منحرف می‌شود و ایزوتوپ‌های پایدار سنگین‌تر دارای تعداد نوترون بیش از پروتون‌اند. به عبارت دیگر، برای پایداری هسته با افزایش عدد اتمی ( $Z$ )

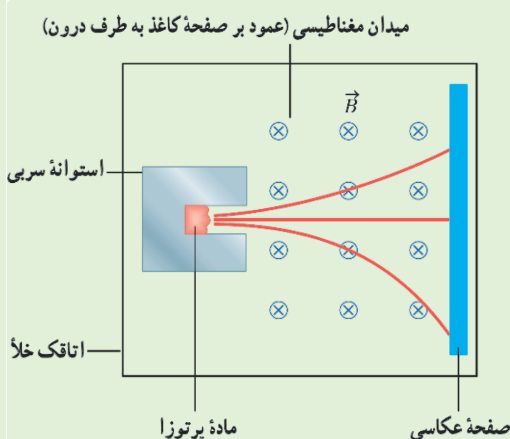
نسبت نوترون به پروتون ( $\frac{N}{Z}$ ) افزایش می‌یابد.

برای هسته‌های سبک  $\frac{N}{Z} \approx 1$ ، هسته‌های متوسط  $\frac{N}{Z} \approx 1,2$  و برای هسته‌های سنگین  $\frac{N}{Z} \approx 1,5$

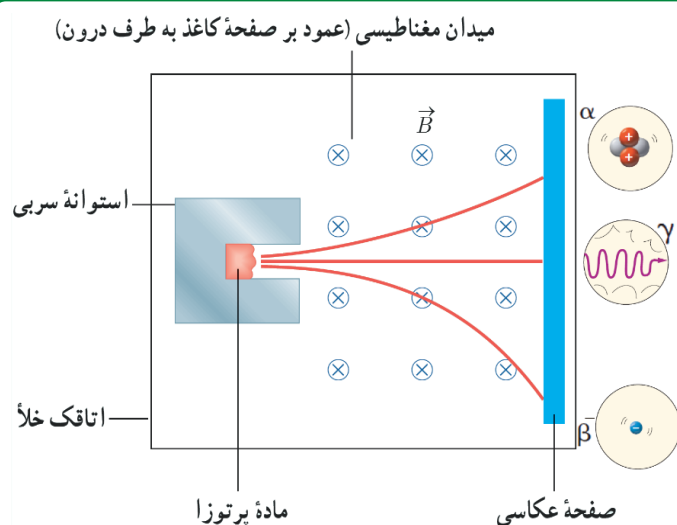
ب) برای یک عدد اتمی خاص (عنصر مورد نظر) خطی افقی رسم کرده و خانه‌هایی که در محل این خط قرار گرفته‌اند همگی ایزوتوپ‌های عنصر مورد نظر هستند. رنگ بندی این جدول بر اساس نیمه عمر عناصر صورت گرفته است. گرچه در کتاب درسی تنها به عناصر پایدار و ناپایدار اشاره شده است، اما در مراجع دانشگاهی، بر اساس نیمه عمر ایزوتوپ‌ها و نوع پرتوزایی آنها رنگ‌بندی‌های مختلفی وجود دارد.



پرسش ۳-۴



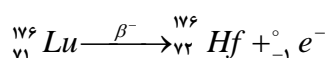
شکل روبرو طرح آزمایش ساده‌ای را نشان می‌دهد که به کمک آن می‌توان سه نوع پرتوزایی طبیعی را مشاهده کرد و به تفاوت بار و جرم پرتوها از یکدیگر پی برد. قطعه‌ای از ماده پرتوزا را در ته حفره باریکی در یک استوانه سربی قرار می‌دهند. استوانه را درون اتاقکی می‌گذارند و هوای درون آن را تخلیه می‌کنند. سپس یک صفحه عکاسی مقابل حفره قرار می‌دهند و میدان مغناطیسی یکنواختی درون اتاقک برقرار می‌کنند. خطوط سیاه رنگ، مسیر حرکت پرتوها را نشان می‌دهد. نوع بار پرتوها را با هم مقایسه کنید.



ذره آلفا دارای بار مثبت است بنابراین بر اساس جهت میدان مغناطیسی به سمت بالا خم می‌شود، از طرفی این ذره به دلیل سنگین تر بودن نسبت به پوزیترون خمیدگی کمتری دارد. پرتویی که در میدان خم نمی‌شود پرتوی گاما است. این پرتو از دسته امواج الکترومغناطیس بوده و فاقد بار است، بنابراین در میدان الکتریکی یا مغناطیسی تغییر جهت نمی‌دهد. پرتویی که بیشترین خمیدگی را دارد، جرم کمی دارد و از آنجا که به سمت پایین خم شده است، طبق قاعده دست راست، باید دارای بار منفی باشد، بنابراین الکترون بوده و پرتوی بتای منفی است.

تمرین ۴-۵

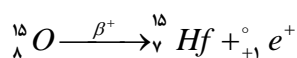
لوتتیم  ${}_{71}^{176}\text{Lu}$  عنصر پرتوزایی است که با گسیل بتای منفی، واپاشی می‌کند. معادله این واکنش را بنویسید و با استفاده از جدول تناوبی عناصرها، عنصر جدیدی را که تولید می‌شود تعیین کنید.



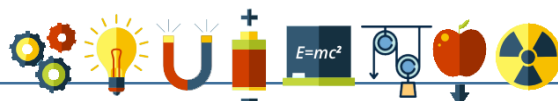
لوتتیم هسته مادر و هافنیم هسته دختر است.

تمرین ۴-۶

ایزوتوپ  ${}_{8}^{15}\text{O}$  با گسیل پوزیترون واپاشی می‌کند. معادله این واکنش را بنویسید و با استفاده از جدول تناوبی عناصرها که در پیوست آمده است، عنصر جدیدی را که تولید می‌شود تعیین کنید.



اکسیژن هسته مادر و نیتروژن هسته دختر است.



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

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^n \xrightarrow{\frac{N}{N_0} = \frac{1}{8}} n = 3$$

$$n = \frac{\Delta t}{T_{1/2}} \xrightarrow{n=3, \Delta t=9} T_{1/2} = 3 \text{ Days}$$

برای ورود به کانال بر روی [لینک](#) کلیک کنید.



۴-۱- اثر فوتوالکتریک و فوتون

۱. یک لامپ حاوی گاز کم فشار سدیم، فوتون‌هایی با طول موج  $589\text{ nm}$  گسیل می‌کند.  
 الف) بسامد و انرژی فوتون‌های گسیلی را حساب کنید. انرژی را بر حسب ژول و همچنین الکترون ولت بیان کنید.  
 ب) فرض کنید توان تابشی مفید لامپ  $0.5\text{ W}$  است. در هر دقیقه چند فوتون از این لامپ گسیل می‌شود؟

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{589 \times 10^{-9}} = 5.09 \times 10^{14} \text{ Hz} \quad \text{الف)}$$

$$E = hf = 6.63 \times 10^{-34} \times 5.09 \times 10^{14} = 3.377 \times 10^{-20} \text{ J}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240}{589} = 2.1 \text{ eV} \quad \text{or} \quad E = hf = 6.63 \times 10^{-34} \times 5.09 \times 10^{14} = 2.1 \text{ eV} \quad \text{or} \quad E = \frac{3.377 \times 10^{-20}}{1.6 \times 10^{-19}} = 2.1 \text{ eV}$$

$$\left. \begin{aligned} E &= Pt \\ E &= nhf \end{aligned} \right\} \rightarrow n = \frac{Pt}{hf} = \frac{0.5 \times 60}{3.377 \times 10^{-20}} \approx 8.9 \times 10^{18} \quad \text{ب)}$$

۲. توان باریکه نور خروجی یک لیزر گازی هلیوم نئون  $5\text{ mW}$  است. اگر توان ورودی این لیزر  $50\text{ W}$  باشد،

الف) بازده لیزر را حساب کنید.

- ب) اگر طول موج باریکه نور خروجی  $633\text{ nm}$  باشد، شمار فوتون‌هایی را پیدا کنید که در هر ثانیه از این لیزر گسیل می‌شود.

$$\eta = \frac{5 \times 10^{-3}}{50} \times 100 = 0.01\% \quad \text{الف)}$$

$$\left. \begin{aligned} E &= Pt \\ E &= \frac{nhc}{\lambda} \end{aligned} \right\} \rightarrow n = \frac{Pt}{hc} \times \lambda = \frac{5 \times 10^{-3}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8} \times 633 \times 10^{-9} \approx 1.6 \times 10^{16} \quad \text{ب)}$$

۳. یک لامپ رشته‌ای با توان  $100\text{ W}$  از فاصله یک کیلومتری دیده می‌شود. فرض کنید نور لامپ به طور یکنواخت در فضای اطراف آن منتشر می‌شود و بازده لامپ  $5\%$  است (یعنی  $5\text{ W}$  تابش مرئی گسیل می‌کند) و فقط  $1\%$  از این تابش دارای طول موجی در حدود  $550\text{ nm}$  است. در هر ثانیه چه تعداد فوتون با این طول موج وارد مردمک‌های چشم ناظری می‌شود که در این فاصله قرار دارد؟ (قطر مردمک را  $2\text{ mm}$  در نظر بگیرید).

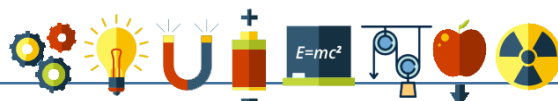
ابتدا شدت تابش را در فاصله یک کیلومتری پیدا می‌کنیم و سپس میزان انرژی که وارد هر یک از مردمک‌های چشم این شخص می‌شود را به دست می‌آوریم:

$$P_{out} = \frac{1}{100} \times 5 = 5 \times 10^{-2} \text{ J} \quad E = ItA_{pupil} = P_{out} \times (1s) \times \frac{A_{pupil}}{A_{Total}} = 5 \times 10^{-2} \times \frac{\pi \times 10^{-6}}{4 \times \pi \times 10^6} = \frac{5}{4} \times 10^{-14} \text{ J}$$

$$I = \frac{P_{out}}{A_{Total}} \quad E = \frac{nhc}{\lambda} \rightarrow n = \frac{\lambda E}{hc} = \frac{550 \times 10^{-9} \times \frac{5}{4} \times 10^{-14}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8} = 34.5 \times 10^3$$

۴. شدت تابشی خورشید در خارج جو زمین حدود  $1360\text{ W/m}^2$  است؛ یعنی در هر ثانیه به سطحی برابر  $1\text{ m}^2$ ، مقدار انرژی  $1360\text{ J}$  می‌رسد. وقتی این تابش به سطح زمین می‌رسد مقداری زیادی از شدت آن، به علت جذب در جو و ابرها از دست می‌رود. اگر شدت تابشی متوسط خورشید در سطح زمین به ازای هر متر مربع حدود  $300\text{ W/m}^2$  باشد، در هر ثانیه چند فوتون به هر متر مربع از سطح زمین می‌رسد؟ طول موج متوسط فوتون‌ها را  $570\text{ nm}$  فرض کنید.

$$n = \frac{Pt\lambda}{hc} = \frac{IAt\lambda}{hc} = \frac{300 \times 1 \times 1 \times 570 \times 10^{-9}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8} = \frac{570}{6.63} \times 10^{19} \approx 86 \times 10^{19}$$





۵. الف) منظور از اثر فوتوالکتریک چیست؟

ب) توضیح دهید نظریه کوانتومی تابش که توسط اینشتین مطرح شد و در آن نور به صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی در نظر گرفته شد، چگونه به تبیین اثر فوتوالکتریک کمک کرد؟

پ) معادله مربوط به اثر فوتوالکتریک به صورت  $K_{Max} = hf - W_0$  بیان می‌شود. سه بخش این معادله را به طور جداگانه توضیح دهید.

الف) جدا کردن الکترون از سطح یک فلز بوسیله تاباندن نور به آن را پدیده فوتوالکتریک نامیده می‌شود.

ب) اینشتین نور را مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی به نام فوتون فرض کرد. وقتی نوری تکفام بر سطح فلزی می‌تابد، هر فوتون صرفاً یا یکی از الکترون‌های فلز برهم‌کنش می‌کند. اگر فوتون انرژی کافی برای جدا کردن الکترون از سطح فلز را داشته باشد، الکترون به صورت آنی خارج می‌شود.

پ)  $W_0$  عبارت است از حداقل کار لازم برای جدا کردن یک الکترون از سطح فلزی معین.  $W_0$  تابع کار فلز نامیده می‌شود و برای هر فلز مقدار معینی دارد.

$hf$  انرژی فوتونی است که به سطح فلز برخورد می‌کند (تابیده می‌شود).

$K_{max}$  انرژی جنبشی سریعترین فوتوالکترون‌هایی است که از سطح فلز جدا می‌شوند، یا به عبارت دیگر بیشینه انرژی جنبشی الکترون‌هایی است که از سطح فلز جدا می‌شوند.

۱. توضیح دهید برای یک فلز معین، تغییر هر یک از کمیت‌های زیر چه تأثیری در نتیجه اثر فوتوالکتریک دارد.

الف) افزایش یا کاهش بسامد نور فرودی نسبت به بسامد آستانه

ب) افزایش شدت نور فرودی در بسامدهای کوچکتر از بسامد آستانه

پ) کاهش شدت نور فرودی در بسامدهای بزرگتر از بسامد آستانه

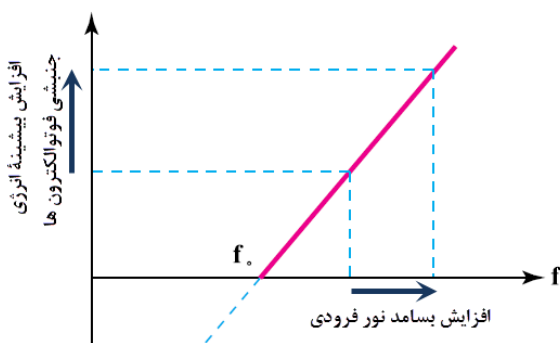
الف) افزایش بسامد نور فرودی، طبق رابطه  $K_{Max} = hf - W_0$  موجب افزایش

انرژی جنبشی بیشینه فوتوالکترون‌های جدا شده از سطح می‌شود.

کاهش بسامد نور فرودی نسبت به بسامد آستانه، موجب قطع گسیل فوتوالکتریک

می‌شود. همانطور که گفته شد، اثر فوتوالکتریک برای بسامدهایی پایین‌تر از بسامد

آستانه رخ نمی‌دهد.



نمودار بالا، انرژی جنبشی بیشینه بر حسب بسامد را نشان می‌دهد، محل برخورد نمودار با محور افقی، جایی است که انرژی جنبشی صفر شده است.

این نقطه بسامد آستانه را نشان می‌دهد. همانطور که از نمودار مشخص است، با افزایش بسامد، انرژی جنبشی بیشینه افزایش یافته و با کاهش بسامد

و عبور از بسامد آستانه، پدیده فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد.

ب) در بسامدهای پایین‌تر از بسامد آستانه اثر فوتوالکتریک نخواهیم

داشت، بنابراین با تغییر شدت نور فرودی هیچ تغییری در شرایط موجود

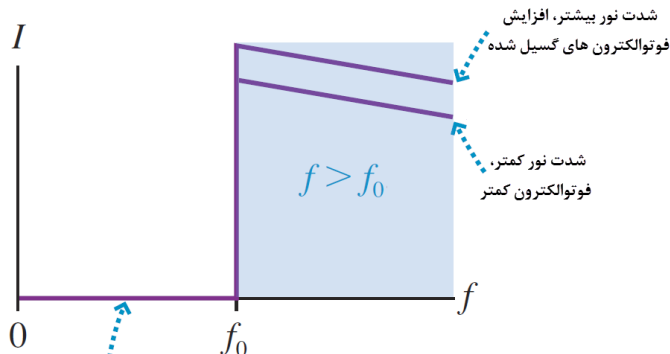
ایجاد نمی‌شود.

پ) شدت نور فرودی در بسامدهای بالاتر از بسامد آستانه، بر تعداد

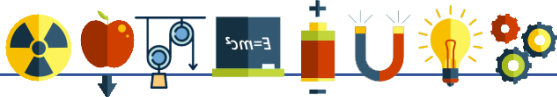
فوتوالکترون‌های گسیل شده تأثیر گذار است، به این ترتیب که با کاهش

شدت نور فرودی، تعداد فوتوالکترون‌ها کاهش و با افزایش شدت نور

فرودی تعداد فوتوالکترون‌های گسیل شده افزایش می‌یابد.



اگر  $f < f_0$  شدت نور تأثیری بر رخداد اثر فوتوالکتریک ندارد.

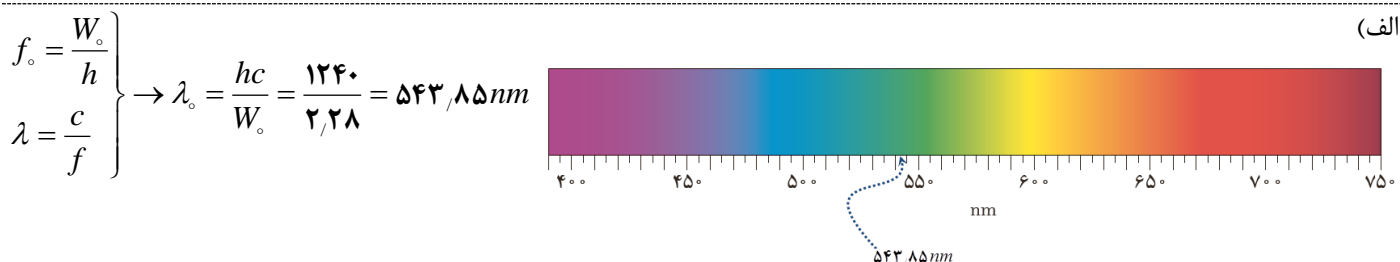




۷. حداقل انرژی لازم برای جدا کردن یک الکترون از سطح فلز سدیم برابر  $2.28 \text{ eV}$  است.

الف) طول موج آستانه برای گسیل فوتوالکترون از سطح فلز سدیم چقدر است و با مراجعه به شکل ۵-۶ معلوم کنید این طول موج به چه نگی است؟

ب) آیا فوتون‌هایی با طول موج  $680 \text{ nm}$  قادر به جدا کردن الکترون از سطح این فلز هستند؟



ب) خیر - طول موج آستانه حداکثر طول موجی است که می‌تواند موجب کندن الکترون از سطح فلز شود، بنابراین برای طول موج‌های بالاتر از آن پدیده فوتوالکتریک مشاهده نمی‌شود.

۸. تابش فرابنفشی با طول موج  $200 \text{ nm}$  بر سطح تیغه‌ای از جنس نیکل با تابع کار  $4.9 \text{ eV}$  تابیده می‌شود. بیشینه تندی فوتوالکترون‌های جدا شده از سطح نیکل را حساب کنید.

$$K_{\max} = hf - W_0 = \frac{hc}{\lambda} - W_0 = \frac{1240}{200} - 4.9 = 6.2 - 4.9 = 1.3 \text{ eV} \xrightarrow{\times 1.6 \times 10^{-19}} K_{\max} = 2.08 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \xrightarrow{m=9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}} v_{\max} = 6.76 \times 10^5 \text{ m/s}$$

۹. هر گاه بر سطح فلزی نوری با طول موج  $420 \text{ nm}$  بتابد بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های گسیل شده حدود  $0.5 \text{ eV}$  است. بسامد آستانه برای گسیل فوتوالکترون‌ها از سطح این فلز چقدر است؟

$$K_{\max} = hf - W_0 = \frac{hc}{\lambda} - W_0 \rightarrow 0.5 = \frac{1240}{420} - W_0 \rightarrow W_0 = 2.95 - 0.5 = 2.45 \text{ eV}$$

$$f_0 = \frac{W_0}{h} = \frac{2.45}{4 \times 10^{-15}} = 6.125 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

## ۲-۵ و ۵-۳ طیف خطی و مدل اتم رادرفورد - بور

۱۰. الف) طیف گسیلی یک جسم در چه مواردی پیوسته و در چه مواردی گسسته یا خطی است؟ منشأ فیزیکی این تفاوت را توضیح دهید.

ب) توضیح دهید چگونه می‌توان طیف‌های گسیلی پیوسته و خطی را ایجاد کرد.

الف) طیفی که در یک گستره طول موج معین، شامل تمامی طول موج‌ها باشد، در آن ناحیه پیوسته است. طیف گسیلی حاصل از تابش گرمایی جسم جامد مانند، سطح داغ اتو، ذغال روشن، لامپ رشته‌ای روشن و ... نمونه‌هایی از طیف‌های گسیلی پیوسته هستند. طیفی که در یک گستره طول موج معین، تنها شامل برخی از طول موج‌ها باشد، طیف گسیلی خطی است. طیف گسیلی گازهای رقیق عناصر طیف خطی هستند.

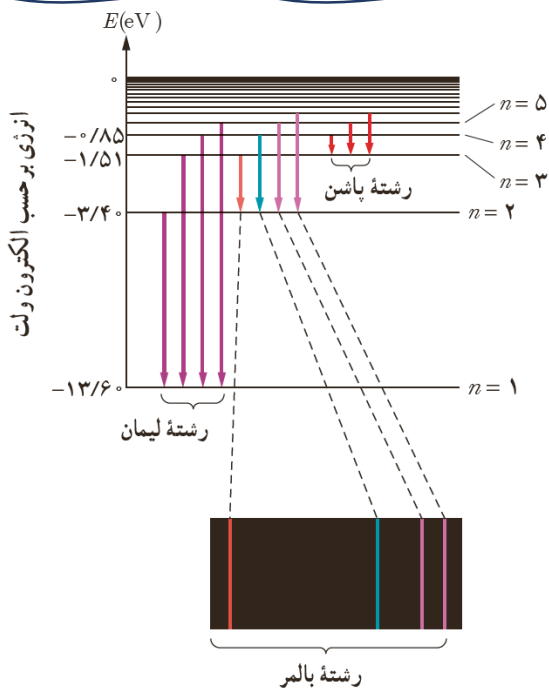
طیف پیوسته در اثر برهم‌کنش قوی بین اتم‌های جسم جامد ایجاد می‌شود، در صورتی که در گازهای رقیق و کم فشار، به دلیل عدم وجود برهم‌کنش بین اتم‌ها، طیف گسسته از آنها گسیل می‌شود.

ب) اگر یک جسم جامد را گرم کرده تا دمای آن بالا برود تا نور مرئی گسیل کند و نور تولید شده را از یک منشور بگذرانیم، طیفی پیوسته خواهیم داشت.

برای تولید طیف گسسته، بخار رقیق از یک عنصر را درون شیشه‌ای قرار داده و دو سر آن را به اختلاف پتانسیل بالا متصل می‌کنیم. نور تابش شده از این لامپ شیشه‌ای را از منشور عبور می‌دهیم، تا طیف گسسته بر روی نوار طیف سنجی تشکیل شود.



## فصل ۴ - آشنایی با فیزیک اتمی و هسته‌ها



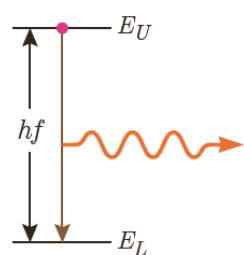
۱۱. شکل روبرو سه رشته طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی را روی نمودار تراز انرژی نشان می‌دهد که بر اساس مدل اتمی بور رسم شده است.

الف) منظور از  $n=1$  و انرژی  $13.6\text{eV}$  چیست؟

ب) بر اساس مدل اتمی بور دلیل خطی بودن طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی را توضیح دهید.

پ) اختلاف کوتاه‌ترین و بلندترین طول موج در هر رشته را، گستره طول موج‌های آن رشته می‌نامند. گستره طول موج‌های رشته لیمان ( $n'=1$ ) را پیدا کنید.

الف)  $n=1$  مربوط به پایین‌ترین تراز انرژی در اتم است که آن را تراز پایه می‌نامند.  $13.6\text{eV}$  انرژی مربوط به تراز پایه است، به عبارت دیگر برای اینکه الکترون را کاملاً از قید هسته جدا کنیم باید به این اندازه به آن انرژی بدهیم.



ب) هنگامی که الکترون‌های اتم‌های هیدروژن که به هر دلیلی برانگیخته شده‌اند، از تراز انرژی بالاتر فرایند گسیل فوتون به تراز انرژی پایین‌تر جهش کنند، طبق رابطه  $\Delta E = hf$  دقیقاً فوتون‌هایی را گسیل می‌کنند که انرژی آنها برابر با اختلاف انرژی دو تراز است. بنابراین طیف گسیلی گسسته‌ای تشکیل می‌دهند.

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\lambda_L} &= 0.011 \times \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = \frac{0.033}{4} \rightarrow \lambda_L = \frac{4000}{33} \approx \frac{4000}{32} = 125\text{nm} \\ \frac{1}{\lambda_S} &= 0.011 \times \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty} \right) = 0.011 \rightarrow \lambda_S = \frac{1000}{11} \approx 91\text{nm} \end{aligned} \right\} \rightarrow \Delta\lambda = 125 - 91 = 34\text{nm}$$

۱۲. الف) فرایند جذب فوتون توسط اتم را توضیح دهید.

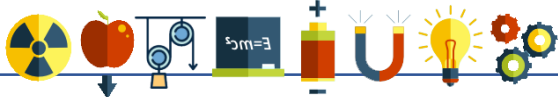
ب) با استفاده از مدل بور، چگونه می‌توانید خط‌های تاریک در طیف جذبی گاز هیدروژن اتمی را توجیه کنید؟

پ) وقتی که نور فرابنفش به بسیاری از مواد تابیده شود، تابش مرئی از خود گسیل می‌کنند. این پدیده فیزیکی نمونه‌ای از فلورسانسی است. آزمایش نشان می‌دهد در پدیده فلورسانسی طول موج‌های گسیل یافته معمولاً برابر همان طول موج نور فرودی یا بزرگ‌تر از آن است. این پدیده را چگونه به کمک مدل بور می‌توانید تبیین کنید؟

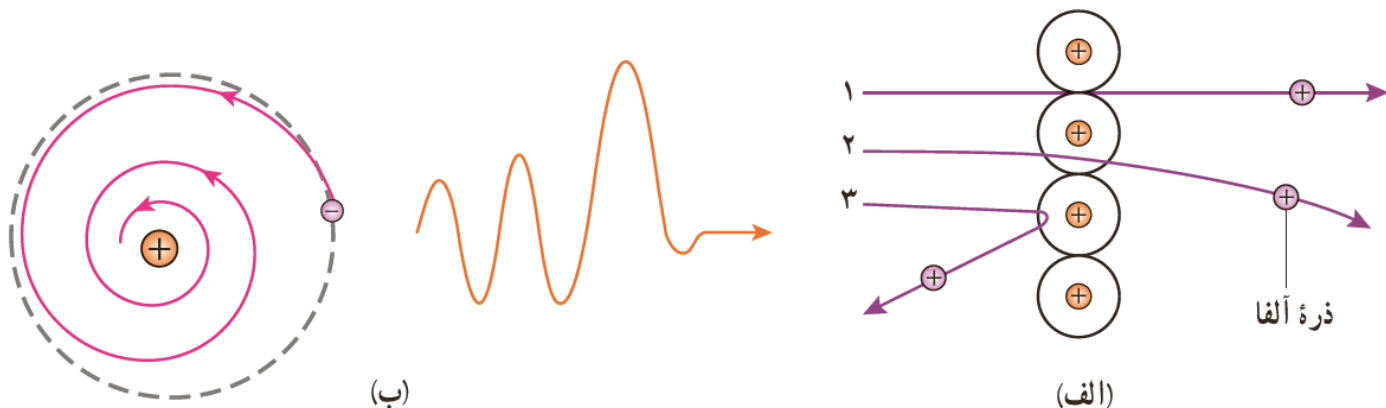
الف) فرآیندی را که در طی آن الکترونی با جذب انرژی از پرتوی نور تابیده شده، به تراز بالاتر می‌رود، جذب فوتون نامیده می‌شود.

ب) هنگامی که الکترونی از تراز پایین‌تر به تراز بالاتر می‌رود، باید دقیقاً انرژی معادل با اختلاف انرژی دو تراز را جذب کند، از این رو تنها طول موج‌هایی از نور فرودی (فوتون‌هایی با بسامد و انرژی مشخص) را جذب می‌کند، که انرژی آنها برابر اختلاف انرژی دو تراز باشند، که موجب بوجود آمدن طیف جذبی گسسته می‌شود.

پ) هنگامی که نور فرابنفش به مواد تابیده می‌شود، تعدادی از الکترون‌های آنها با جذب انرژی به مدارهای بالاتر می‌روند و در اصلاح برانگیخته می‌شوند. اما در برگشت این الکترون‌ها به مدار خود، یکباره به مدار اصلی برمی‌گردند، بلکه به صورت پلکانی، برگشته و در طی این بازگشت فوتون‌هایی با طول موج‌های بیشتر، گسیل می‌کنند که برخی از آنها در ناحیه نور مرئی قرار دارند.



۱۳. مبنای مدل رادرفورد، نتایج آزمایش‌هایی بود که از پراکندگی ذره‌های آلفا توسط یک ورقه نازک طلا به دست آمده بود (شکل الف)
- الف) توضیح دهید چرا بیشتر ذره‌های آلفا مانند ذره‌های ۱ و ۲ یا اصلاً منحرف نمی‌شوند یا به مقدار کمی منحرف می‌شوند.
- ب) تنها تعداد بسیار کمی از ذره‌ها مانند ذره ۳ منحرف می‌شوند. این امر چه نکته‌ای را درباره ساختار اتم طلا نشان می‌دهد؟
- پ) چرا رادرفورد در آزمایش خود از صفحه بسیار نازک طلا استفاده کرده بود؟
- ت) شکل ب، به کدام مشکل مدل رادرفورد اشاره دارد؟ در مدل بور چگونه این مشکل رفع شده است؟



الف) ذره‌های ۱ و ۲ به ترتیب از فضای خالی بین اتم‌ها و فضای اطراف هسته عبور می‌کنند، به همین دلیل بدون انحراف و یا با انحراف کمی به صفحه فلورئوسان می‌رسند و و از آنجایی که حجم هسته در مقایسه با فضای خالی بین اتم‌ها و فضای اتم، بسیار کوچکتر است، تعداد زیادی از ذرات آلفا مانند ذرات ۱ و ۲ بدون انحراف و یا با انحراف کمی از آن خارج می‌شوند.

ب) این شکل نشان می‌دهد که ذره ۳ به هسته اتم طلا با حجم کم ولی چگال و با بار مثبت برخورد کرده و تحت تأثیر نیروی دافعه بین ذره مثبت آلفا و بار مثبت هسته، با انحراف زیاد به عقب برمی‌گردند.

پ) ذرات آلفا نفوذپذیری کمی دارند، از این رو به راحتی جذب می‌شوند. لذا نیاز بود که از ورقه‌های بسیار نازک، در این آزمایش استفاده شود. چکش خواری بسیار بالای طلا این امکان را برای استفاده در این آزمایش فراهم می‌نمود. از طرف دیگر تعداد زیاد الکترون‌های آزاد این فلز در مقایسه با دیگر فلزات و سنگین بودن نسبی این فلز، موجب می‌شود که بتوان میزان پراکندگی ذرات آلفا را در آن به خوبی بررسی کرد.

ت) اگر الکترون‌ها مانند سیاره‌های منظومه خورشیدی به دور هسته در گردش باشند، حرکت آنها شتابدار است، و بنابر نظریه فیزیک کلاسیک این حرکت شتابدار موجب گسیل امواج الکترومغناطیس شده که بسامد آن با بسامد حرکت مدار الکترون برابر است. با تابش موج الکترومغناطیس از انرژی آن کاسته شده و در نتیجه شعاع حرکت آن کوچکتر و نتیجتاً بسامد آن به تدریج بزرگتر می‌شود. بدین ترتیب بسامد امواج گسیل شده از آن نیز به تدریج افزایش می‌یابد. در نهایت روی هسته سقوط می‌کند، مضاف بر اینکه در این مدت طیف پیوسته‌ای را گسیل کرده است. (به صورت خلاصه این شکل به ناپایداری مدل رادرفورد و گسیل طیف پیوسته به جای طیف گسسته اشاره دارد).

در مدل بور فرض بر این است که الکترون‌ها بر روی مدارهای با شعاع گسسته و معین گردش می‌کنند و مادامی که روی این مدار قرار دارند موجی گسیل نمی‌کنند.

۱۴. با استفاده از رابطه بور برای انرژی الکترون در اتم هیدروژن،

$$\text{الف) اختلاف انرژی } \Delta E(n_U \rightarrow n_L) = E_U - E_L \text{ را حساب کنید.}$$

ب) نشان دهید که :

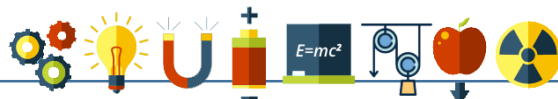
$$\Delta E(4 \rightarrow 2) = \Delta E(4 \rightarrow 3) + \Delta E(3 \rightarrow 2)$$

$$\Delta E(4 \rightarrow 1) = \Delta E(4 \rightarrow 2) + \Delta E(2 \rightarrow 1)$$

$$\Delta E(n_U \rightarrow n_L) = E_U - E_L = \frac{-E_R}{n_U^2} - \left( \frac{-E_R}{n_L^2} \right) = -E_R \left( \frac{1}{n_U^2} - \frac{1}{n_L^2} \right)$$

الف)

ب)



## فصل ۴ - آشنایی با فیزیک اتمی و هسته‌ها

$$\Delta E(4 \rightarrow 3) + \Delta E(3 \rightarrow 2) = -E_R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) - E_R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) = -E_R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} + \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) = -E_R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

$$\Delta E(4 \rightarrow 2) + \Delta E(2 \rightarrow 1) = -E_R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) - E_R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) = -E_R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} + \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) = -E_R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

۱۵. الکترون اتم هیدروژنی در تراز  $n = 5$  قرار دارد.

الف) با در نظر گرفتن تمام گذارهای ممکن، اگر این اتم به حالت پایه برود، امکان گسیل چند نوع فوتون با انرژی متفاوت وجود دارد؟

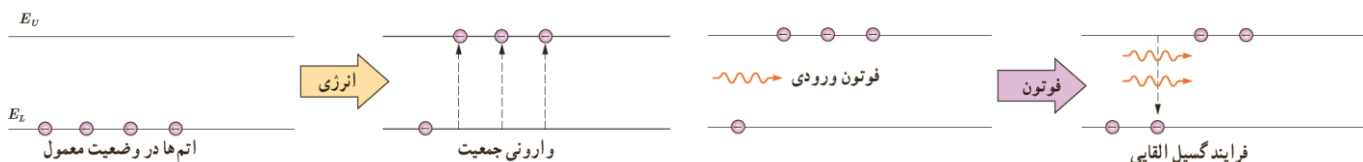
ب) فرض کنید فقط گذارهای  $\Delta n = 1$  مجاز باشند، در این صورت امکان گسیل چند نوع فوتون با انرژی متفاوت وجود دارد؟

$5 \rightarrow 4$ $5 \rightarrow 3$ $4 \rightarrow 3$ $5 \rightarrow 2$ $4 \rightarrow 2$ $3 \rightarrow 2$ $5 \rightarrow 1$ $4 \rightarrow 1$ $3 \rightarrow 1$ $2 \rightarrow 1$	$\frac{n(n-1)}{2} = \frac{5 \times 4}{2} = 10$	الف)
--	--	------

$5 \rightarrow 4$ $4 \rightarrow 3$ $3 \rightarrow 2$ $2 \rightarrow 1$	$(n-1) = 5-1 = 4$	ب)
--	-------------------	----

## ۵ - ۴ - لیزر

۱۶. شکل زیر فرایند ایجاد باریکه لیزر را به طور طرح وار در ۴ مرحله نشان می‌دهد.



الف) منظور از عبارت "اتم‌ها در وضعیت معمول چیست؟

ب) نقش انرژی داده شده چیست و معمولاً این انرژی چگونه تأمین می‌شود؟

پ) منظور از "وارونی جمعیت" چیست؟

ت) انرژی فوتون ورودی چقدر باید باشد تا فرایند گسیل القایی انجام شود؟

ث) فوتون‌هایی که بر اثر فرایند گسیل القایی و جهش الکترون‌ها به تراز پایین تر ایجاد می‌شوند چه ویژگی‌های مشترکی دارند؟

الف) این وضعیت بیانگر زمانی است که بیشتر الکترون‌ها در ترازهای انرژی پایین‌تر قرار داشته و هنوز برانگیخته نشده‌اند.

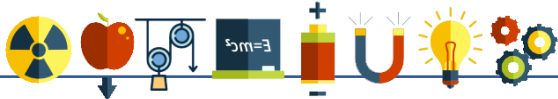
ب) چشمه انرژی خارجی مناسب، سبب برانگیخته شدن الکترون‌ها به ترازهای انرژی بالاتر می‌شود.

پ) این انرژی به روش‌های متعددی از جمله درخش‌های شدید نور معمولی و یا تخلیه‌های ولتاژ بالا صورت می‌گیرد.

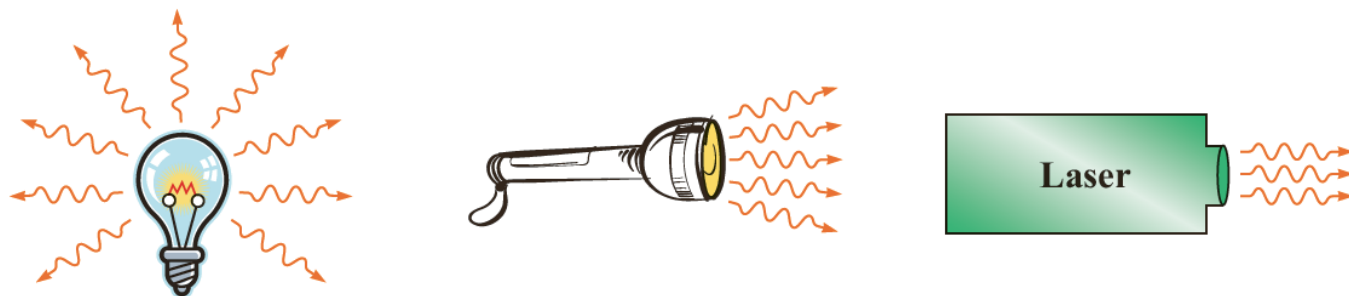
ت) اگر انرژی کافی به اتم‌ها داده شود، تعداد الکترون‌هایی که به تراز بالاتر می‌روند، از تعداد الکترون‌هایی که در تراز پایین‌تر قرار دارند، بیشتر می‌شود، به چنین شرایطی، **وارونی جمعیت** گفته می‌شود.

ث) برای ایجاد فرآیند گسیل القایی، انرژی فوتون القایی باید برابر با اختلاف انرژی دو تراز باشد.

ث) فوتون‌های باریکه لیزر، هم‌بسامد، هم‌جهت و هم‌فاز هستند.



iv. در شکل زیر نحوه گسیل فوتون‌ها از سه چشمه نور شامل لامپ رشته‌ای، چراغ قوه با لامپ رشته‌ای و لیزر با یکدیگر مقایسه شده است.



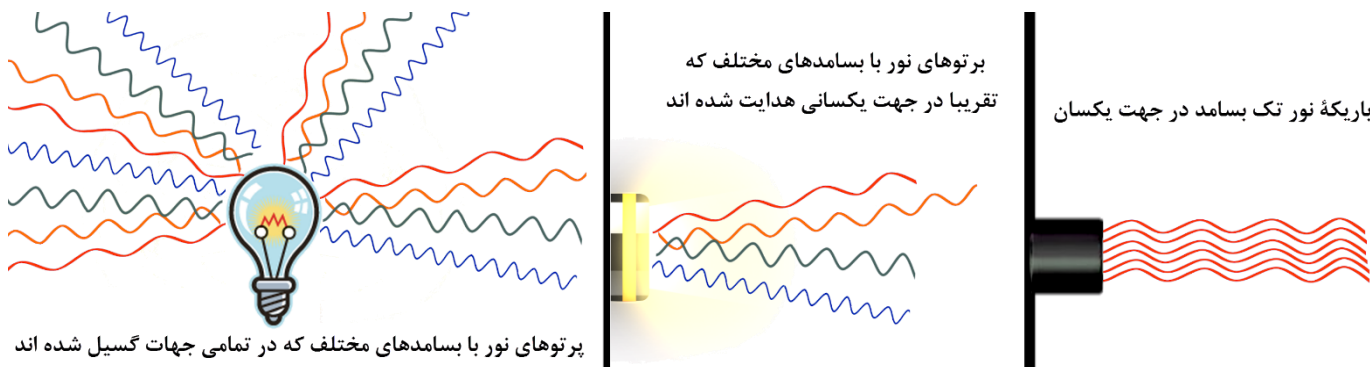
الف) با توجه به آنچه در این فصل فرا گرفتید تفاوت فوتون‌های گسیل شده از هر چشمه را با یکدیگر بیان کنید.

ب) چرا توصیه جدی می‌شود که هیچ‌گاه به طور مستقیم به باریکه نور ایجاد شده توسط لیزر نگاه نکنید؟

الف) در لامپ رشته‌ای، فوتون‌های گسیل شده طیف پیوسته‌ای را تشکیل می‌دهند که شامل گستره طول موج‌های نور مرئی است. این فوتون‌ها در تمامی جهات گسیل می‌شوند.

در چراغ قوه با لامپ رشته‌ای نیز فوتون‌هایی با بسامدهای مختلف گسیل می‌شوند (همانند آنچه بیان شد)، اما سطح بازتابنده پشت لامپ موجب همجهت شدن بخش زیادی از فوتون‌های گسیل شده می‌شود. بدین ترتیب فوتون‌ها بعد از گسیل شدن توسط یک سطح بازتابنده کروی تا حدود زیادی همجهت می‌شوند.

در لیزر، بسامد و جهت گسیل فوتون‌های گسیل شده با یکدیگر یکسان است، بدین ترتیب یک باریکه پراورزی از فوتون‌هایی با بسامد یکسان خواهم داشت که همگی در یک جهت حرکت می‌کنند.



پرتوهای نور با بسامدهای مختلف که در تمامی جهات گسیل شده اند

پرتوهای نور با بسامدهای مختلف که تقریباً در جهت یکسانی هدایت شده اند

باریکه نور تک بسامد در جهت یکسان

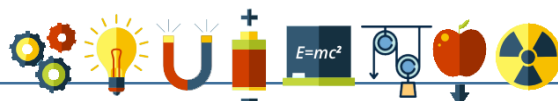
**Eye Exposure to a Laser Light Source**

Retina    Lens    Cornea

Retinal Image:  
High energy levels focused into a very small area may cause a temporary or permanent injury.

Laser Light Source:  
Non-divergent emissions from a small source lose very little energy as distance increases.

ب) همانطور که در قسمت الف توضیح داده شد، نور لیزر به دلیل همجهت و هم‌بسامد بودن فوتون‌های آن نور تقویت شده‌ای محسوب می‌شود که انرژی زیادی دارد. حال اگر این باریکه پراورزی بر بخشی از چشم تابیده شود، با توجه به وارد شدن مقدار زیادی از انرژی بر سطح کوچکی از چشم، می‌تواند به بخش‌های مختلف چشم آسیب‌های موقتی یا دائمی برساند.



۱۵. مرتبه بزرگی تعداد نوترون‌هایی را که می‌توان تنگ هم در یک توپ تنیس به شعاع  $3.2\text{ cm}$  جای داد، تخمین بزنید. در این صورت مرتبه بزرگی جرم این توپ چقدر است؟ (مرتبه بزرگی شعاع و جرم نوترون را به ترتیب  $10^{-15}\text{ m}$  و  $10^{-27}\text{ kg}$  در نظر بگیرید)

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$n = \frac{V_{\text{ball}}}{V_N} = \left( \frac{3.2 \times 10^{-2}\text{ m}}{10^{-15}\text{ m}} \right)^3 \sim (10^{13})^3 = 10^{39} \quad m = 10^{39} \times 10^{-27} = 10^{12}\text{ kg}$$

۱۶. برای  ${}_{82}^{208}\text{Pb}$  مطلوب است:

(الف) تعداد نوکلئون‌ها (ب) تعداد نوترون‌ها (پ) بار الکتریکی خالص هسته

(الف) ۲۰۸  
(ب)  $N = A - Z = 208 - 82 = 126$

(ج)  $q = +ne = 82 \times 1.6 \times 10^{-19}\text{ C} = 1.312 \times 10^{-17}\text{ C} = 1.312 \times 10^{-17}\text{ C}$

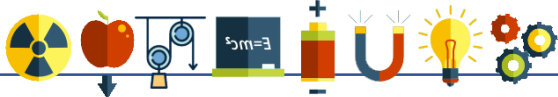
۱۷. در هریک از موارد زیر نماد  $X$  چه عنصری را نشان می‌دهد و در هسته هر یک چند نوترون وجود دارد؟ در صورت لزوم از جدول تناوبی استفاده کنید.

(الف)  ${}_{78}^{195}\text{X}$       (ب)  ${}_{16}^{32}\text{X}$       (ج)  ${}_{29}^{61}\text{X}$

${}_{78}^{195}\text{Pt}$        ${}_{16}^{32}\text{S}$        ${}_{29}^{61}\text{Cu}$   
 پلاتین      گوگرد      مس  
 $N = A - Z$        $N = A - Z$        $N = A - Z$   
 $N = 195 - 78 = 117$        $N = 32 - 16 = 16$        $N = 61 - 29 = 32$

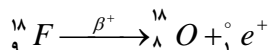
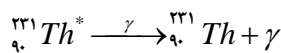
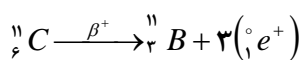
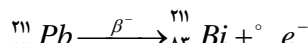
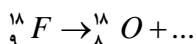
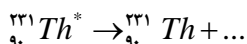
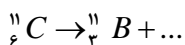
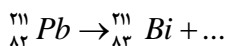
۱۸. آیا می‌توان ایزوتوپ  ${}_{25}^{61}\text{X}$  را با روش شیمیایی از ایزوتوپ  ${}_{25}^{59}\text{X}$  جدا کرد؟ از ایزوتوپ  ${}_{26}^{61}\text{Y}$  چطور؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

خیر - ایزوتوپ‌ها دارای خواص شیمیایی یکسانی هستند (عدد اتمی، یعنی تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های آنها یکسان است) بنابراین از روش‌های شیمیایی نمی‌توان آنها را از یکدیگر جدا کرد. برای جداسازی ایزوتوپ‌های یک عنصر از تفاوت جرمی آنها (روش‌های فیزیکی) استفاده می‌کنند. ایزوتوپ‌های  ${}_{25}^{61}\text{X}$  و  ${}_{26}^{61}\text{Y}$  مربوط به دو عنصر متفاوت‌اند، بنابراین خواص شیمیایی متفاوتی داشته و می‌توان آن‌ها را با استفاده از روش‌های شیمیایی از یکدیگر تفکیک کرد.



۴-۶- پرتوزایی طبیعی و نیمه عمر

۱۹. جاهای خالی در فرایندهای واپاشی زیر نشان‌دهنده یک یا چند ذره  $\alpha$ ،  $\beta^+$  یا  $\beta^-$  است. در هر واکنش، جای خالی را کامل کنید.



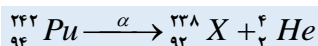
۲۰. هسته دختر بدست آمده از هر یک از واپاشی‌های زیر را به صورت  ${}^A_ZX$  مشخص کنید.

(الف)  ${}_{94}^{242}Pu$  واپاشی  $\alpha$  انجام دهد.

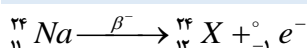
(ب) سدیم  ${}_{11}^{24}Na$  واپاشی  $\beta^-$  انجام دهد.

(پ) نیتروژن  ${}_{7}^{13}N$  واپاشی  $\beta^-$  انجام دهد.

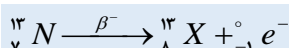
(ت)  ${}_{8}^{15}O$  واپاشی  $\beta^+$  انجام دهد.



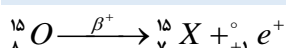
(الف)



(ب)



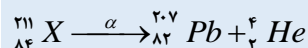
(پ)



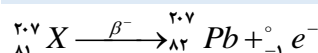
(ت)

۲۱. سرب  ${}_{82}^{207}Pb$  هسته دختر پایداری است که می‌تواند از واپاشی  $\alpha$  یا واپاشی  $\beta^-$  حاصل شود. فرایندهای مربوط به هر یکی از این واپاشی‌ها

را بنویسید. در هر مورد هسته مادر را به صورت  ${}^A_ZX$  مشخص کنید.

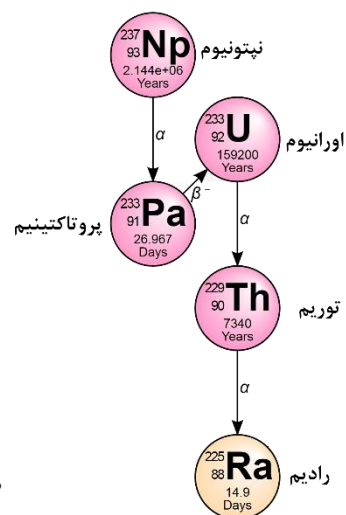
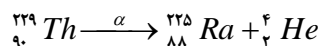
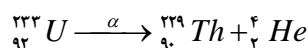
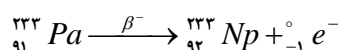
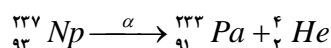


تولید هسته دختر سرب در واپاشی  $\alpha$

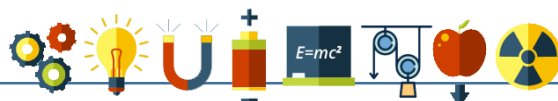


تولید هسته دختر سرب در واپاشی  $\beta^-$

۲۲. نپتونیم  ${}_{93}^{237}Np$  ایزوتوپی است که در راکتورهای هسته‌ای تولید می‌شود. این ایزوتوپ ناپایدار است و واپاشی آن از طریق گسیل ذرات  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\alpha$  و  $\alpha$  صورت می‌گیرد. پس از وقوع تمام این واپاشی‌ها، عدد اتمی و عدد جرمی هسته نهایی چقدر است؟



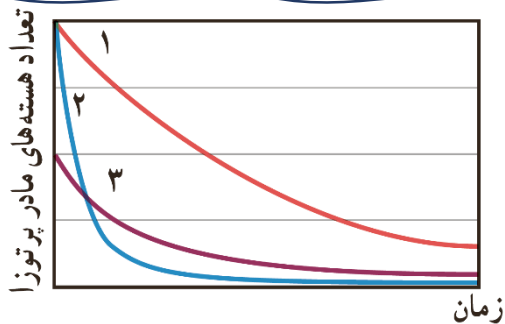
هسته نهایی را داریم با عدد اتمی ۸۸ و عدد جرمی ۲۲۵ است.





## فصل ۴ - آشنایی با فیزیک اتمی و هسته‌ها

**۲۳.** شکل روبرو نمودار تغییرات تعداد هسته‌های مادر پرتوزای سه نمونه را بر حسب زمان نشان می‌دهد. نیمه عمر این سه نمونه را با هم مقایسه کنید.



هر چه اندازه شیب متوسط نمودار بیشتر باشد نشان از واپاشی سریعتر و یا به عبارت دیگر نیمه عمر کوتاهتر ماده پرتوزا دارد. بنابراین :

$$(T_{1/2})_2 < (T_{1/2})_1 < (T_{1/2})_3$$

**۲۴.** هنگامی که نیتروژن جو زمین توسط پرتوهای کیهانی (که معمولاً از جنس پروتون، ذره های  $\alpha$  و الکترون هستند) بمباران می‌شود، ایزوتوپ پرتوزای کربن ۱۴ با آهنگ ثابتی در لایه های فوقانی جو تولید می‌شود. این کربن پرتوزا، با کربن ۱۲ که به طور طبیعی در جو وجود دارد درهم می آمیزد. بررسی‌ها نشان داده است که به ازای هر  $10^{10}$  میلیارد اتم پایدار کربن ۱۲، تقریباً یک اتم پرتوزای کربن ۱۴ از این طریق وارد جو می‌شود. اتم‌های کربن جوئی از طریق فعالیت‌های بیولوژیکی از قبیل فتوسنتز و تنفس، به نحو کاتوره‌ای مکان خود را عوض می‌کنند و به بدن جانداران منتقل می‌شوند. به طوری که اتم‌های کربن هر موجود زنده شامل کسر کوچک و ثابتی از ایزوتوپ پرتوزای کربن ۱۴ است. وقتی موجود زنده ای می‌میرد، مقدار کربن پرتوزای به تله افتاده در موجود غیر زنده، با نیمه عمر  $5730$  سال رو به کاهش می‌گذارد. کربن ۱۴ موجود در یک

نمونه زغال قدیمی،  $1/56$  درصد (معادل  $1/64$ ) مقدار عادی کربن ۱۴ موجود در زغالی است که تازه تولید شده است. سن تقریبی این زغال

قدیمی چقدر است؟

برای پاسخگویی به سوال به اطلاعات بخش مشخص شده نیازمندیم، با توجه به اطلاعات داده شده و همچنین روابط نیمه عمر داریم:

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \frac{1}{64} = \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow n = 6$$

$$n = \frac{\Delta t}{T_{1/2}} \xrightarrow{n=6} \Delta t = n \times T_{1/2} = 6 \times 5730 = 34380 \text{ years}$$

**۲۵.** نیمه عمر بیسموت ۲۱۲ حدود ۶۰ دقیقه است. پس از گذشت چهار ساعت، چه کسری از ماده اولیه، در نمونه‌ای از این بیسموت، باقی می‌ماند؟

ابتدا با توجه به زمان سپری شده، تعداد نیمه عمرهای که از این ماده گذشته است را محاسبه می‌کنیم:

$$n = \frac{\Delta t}{T_{1/2}} = \frac{4}{1} = 4 \rightarrow \frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^4 \rightarrow \frac{N}{N_0} = \frac{1}{2^4} = \frac{1}{16}$$

برای ورود به کانال بر روی [لینک](#) کلیک کنید.

