



گروه آزمایشی علوم ریاضی و فنی

آزمون دوپینگ ماز | پایه دوازدهم



دوپینگ ماز

فیزیک

دفترچه پاسخ

ویژه کنکوری‌های ۱۴۰۵

دوشنبه ۱۱ خردادماه ۱۴۰۵

دورس	مسئول دورس	طراحان	ویراستاران
فیزیک	سجاد صادقی‌زاده سعید احمدی	سعید احمدی - سجاد صادقی‌زاده حسین عبدوی‌نژاد - مهران تاکی محمد نظری - مهدی پارسا محمدجواد سورچی	حسین عبدوی‌نژاد حنا خلعتبری علیرضا ملک‌حسینی

فصل‌های ۲ و ۱ دهم	فصل‌های ۳ و ۴ و ۵ دهم	فصل ۱ یازدهم	فصل ۲ یازدهم	فصل‌های ۳ و ۴ یازدهم	فصل ۱ دوازدهم	فصل ۲ دوازدهم	فصل‌های ۳ و ۴ دوازدهم	فصل‌های ۵ و ۶ دوازدهم
-------------------------	-----------------------------	--------------------	--------------------	----------------------------	---------------------	---------------------	-----------------------------	-----------------------------



مسیر حرفه‌ای جمع‌بندی تا کنکور ۱۴۰۵



برای شباهت حداکثری به کنکور، صفحه‌آرایی، فونت و حتی اندازه متن در تمامی آزمون‌های ماز، کاملاً یکسان با استاندارد دفترچه‌های کنکور در نظر گرفته می‌شود.

راهنمای پامفله آزمون ها

زمان پاسخگویی:

سریع (زیر ۱ دقیقه) | استاندارد (۱-۲ دقیقه) |
زمان بر (بیشتر از ۲ دقیقه).

پاسخ: گزینه ۱ (متوسط - خط به خط - استاندارد) - صفحه ۳ تا ۶ - ۱۰۰۱

سطح سؤال:

آسان (اعتماد به نفس) | متوسط (محک جدی)
دشوار (چالش رشد).

هشتگ سؤال:

شماره درس + شماره پایه
دسته بندی راحت تر سؤالات

سبک سؤال:

خط به خط (متن کتاب) | ترکیبی (چند مبحث) |
محاسباتی (فرمول ودقت) | مفهومی (درک عمیق).

شماره صفحه:

منبع اصلی رو راحت پیدا کنید.

ویژگی های آزمون دوپینگ

پهروسی سریع



«بابت نگاه صرفه ای، دلیل درست بودن یا نبودن گزینه ها را در لحظه ببینید و درون اقلای وقت، پرونده هر سؤال را با یادگیری کامل ببینید!»

پاسخنامه کامل



«یک نقشه راه دقیق و گام به گام که پیچیده ترین مسائل موضوع را بازمی کند تا هیچ ابهامی در مسیر موفقیت تان باقی نماند.»

نکات و دام های گنگوری



«در دام سؤالات نرفتید! ما ترغدهای طراحان سوال و مفاهیم کلیدی رو بهتون یاد می دیم تا با آمادگی کامل، همه سؤالات رو جواب بدید.»

کپسول دوپینگ



آماده یک انفجار یادگیری باشید!

«با کپسول دوپینگ "کلید موفقیت در دستان شماست! با مرور سریع و کار بردی نکات، از پس هر سوالی بآید و در آزمون ها بدرخشید!»

داشبورد دوبینگ

مبحث	وضعیت این آزمون	سطح دشواری این آزمون	آخرین وضعیت کنکور ۱۴۰۴
فوتون و اثر فوتوالکتریک	پوشش متن و تمرین‌های کتاب درسی	☆☆	دو سؤال مفهومی از فوتوالکتریک
طیف‌های اتمی	پوشش متن کتاب درسی و تست‌هایی مشابه کنکور	☆☆☆	یک سؤال از محاسبه بیش‌ترین و کم‌ترین طول‌موج یک رشته
مدل‌های اتمی و لیزر	پوشش شکل‌ها، مثال‌ها و تمرین‌های کتاب درسی	☆☆	یک سؤال حفظی از مدل‌های اتمی
مفاهیم فیزیک هسته‌ای	پوشش متن کتاب درسی	☆☆	عدم طرح تست
واپاشی هسته‌ای	ترکیبی از سؤالات مشابه کتاب درسی و یک سؤال خلاقانه	☆☆	عدم طرح تست
نیمه‌عمر	ترکیبی از تست‌های کنکور و تمرین‌های کتاب درسی	☆☆☆	یک سؤال محاسباتی از نیمه‌عمر
شکافت و گداخت هسته‌ای	پوشش متن کتاب درسی	☆☆	یک سؤال از معادله فرایند شکافت هسته‌ای

توصیه‌های دوبینگ

پیش‌بینی طراح...

- ۱- سؤال محاسباتی از فوتوالکتریک
- ۲- محاسبه طول‌موج‌های طیف اتمی هیدروژن
- ۳- معادله چند واپاشی همزمان
- ۴- سؤال نیمه‌عمر نموداری

آثر دنبال درس‌های آسان تر هستید...

مباحث این آزمون از آسان‌ترین مباحث فیزیک هستند و پیشنهاد می‌کنیم فیزیک اتمی و هسته‌ای رو به‌طور کامل بررسی کنید.

آثر زمان کمی دارید...

حتماً مباحث این آزمون رو بررسی کنید، چون با صرف زمان کمی می‌تونین مباحث فیزیک اتمی و هسته‌ای رو یاد بگیرید.

سفن مسئول درس

سلام به دانش‌آموزان پرتلاش ریاضی

مباحث «فیزیک اتمی» و «فیزیک هسته‌ای» از مباحث آسان فیزیک کنکور محسوب که علی‌رغم این سادگی، ۴ تست کنکور را شامل می‌شوند که می‌تواند کمک زیادی در راه کسب درصد‌های بهتر به شما کند. همچنین از این مباحث در حدود ۵ نمره در امتحان نهایی سؤال مطرح می‌شود. بذارین خودمونی بگیریم، این فصل‌ها رو از دست ندین!

سجاد صادقی‌زاده - سعید احمدی

۱- کدام گزینه در مورد اثر فوتوالکتریک درست است؟

- (۱) چنانچه شدت نوری که بسامد آن بیش‌تر از بسامد آستانه فلز است را افزایش دهیم، تعداد الکترون‌های جدا شده از سطح فلز افزایش می‌یابد.
- (۲) چنانچه نوری با بسامد کم‌تر از بسامد آستانه فلز بر سطح آن بتابد، برای جدا نمودن الکترون باید شدت نور تابیده شده را به اندازه کافی افزایش دهیم.
- (۳) چنانچه کم‌ترین انرژی لازم برای جدا نمودن الکترون از سطح فلزی E_1 باشد، دو فوتون که انرژی هر یک $\frac{1}{2}E_1$ است، می‌توانند یک الکترون از سطح این فلز جدا نمایند.
- (۴) چنانچه انرژی لازم برای جدا نمودن الکترون از سطح فلزی E_1 باشد، یک فوتون با انرژی $2E_1$ می‌تواند دو الکترون از سطح فلز جدا نماید.

(آسان - خطبه‌خط - سریع ۵ - صفحه ۱۱۷ - ۱۲۰۵)

پاسخ: گزینه ۱

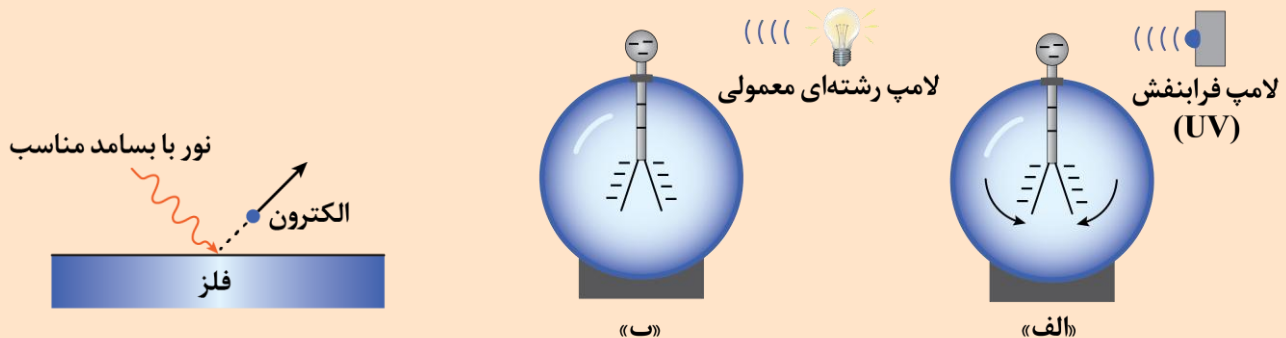
دراثر فوتوالکتریک هر فوتون قادر است فقط یک الکترون را از سطح فلز جدا نماید به شرط آن که بسامد آن فوتون کم‌تر از بسامد آستانه فلز نباشد و درحالتی که پدیده فوتوالکتریک رخ می‌دهد، افزایش شدت نور فرودی سبب افزایش تعداد الکترون‌های جدا شده از سطح فلز می‌شود.

کپسول دوبیینگ | اثر فوتوالکتریک

تا دهه‌های پایانی قرن نوزدهم، بیش‌تر حوزه‌های فیزیک، از جمله مکانیک نیوتونی، ترمودینامیک و نظریه الکترومغناطیس ماکسول که امروزه با نام فیزیک کلاسیک از آن‌ها یاد می‌شود به صورت‌بندی نهایی خود رسیده بود و به نظر می‌رسید که در توصیف گستره وسیعی از پدیده‌های فیزیکی کاملاً موفق‌اند. با این حال در آن سال‌ها، پدیده‌هایی مشاهده و آزمایش‌هایی انجام شد که تبیین کامل و درست آن‌ها با نظریه‌های فیزیک کلاسیک ممکن نبود و سبب تغییرات بنیادی در دیدگاه فیزیک‌دانان نسبت به توضیح رفتار برخی از پدیده‌های فیزیکی شد. به‌طوری که در سه دهه آغازین قرن بیستم، نتایج این تلاش‌ها به نظریه نسبیت خاص (مربوط به مطالعه پدیده‌ها در تندیه‌های بسیار زیاد و قابل‌مقایسه با تندیه نور)، نظریه نسبیت عام (مربوط به مطالعه هندسه فضا - زمان و گرانش) و نظریه کوانتومی (مربوط به مطالعه پدیده‌ها در مقیاس‌های بسیار کوچک، مانند اتم‌ها و ذره‌های سازنده آن‌ها) منجر شد که امروزه به آن فیزیک جدید می‌گویند. اندکی پس از ظهور این نظریه‌ها، شاخه‌های دیگری مانند فیزیک هسته‌ای، فیزیک ذرات بنیادی و کیهان‌شناسی به تدریج به وجود آمدند.

اثر فوتوالکتریک و فوتون

اگر بر کلاهک برق‌نمایی با بار منفی، نور فرابنفشی تابیده شود، مشاهده می‌شود که انحراف ورقه‌های آن کاهش می‌یابد (شکل «الف»). درحالی‌که با تابش نور مرئی، تغییری در انحراف ورقه‌های برق‌نما رخ نمی‌دهد (شکل «ب»). چرا این پدیده‌ها اتفاق می‌افتد؟ آزمایش نشان می‌دهد وقتی نوری با بسامد مناسب مانند نور فرابنفش به سطحی فلزی بتابد الکترون‌هایی از آن گسیل می‌شوند. این پدیده فیزیکی را اثر فوتوالکتریک و الکترون‌های جدا شده از سطح فلز را فوتوالکترون می‌نامند.



شکل «الف»: برهم‌کنش نور فرودی فرابنفش با کلاهک برق‌نما سبب می‌شود تا ورقه‌های آن به سرعت به هم نزدیک شوند.

شکل «ب»: درحالی‌که برهم‌کنش نور مرئی گسیل‌شده از یک لامپ رشته‌ای تغییری در انحراف ورقه‌های برق‌نما به وجود نمی‌آورد. الکترون‌ها، انرژی نور فرودی را جذب می‌کنند و از سطح فلز خارج می‌شوند.

همان‌طور که در فصل ۳ دیدیم، نور، موجی الکترومغناطیسی است؛ بنابراین می‌توان انتظار داشت هنگام برهم‌کنش موج الکترومغناطیسی (نور فرودی) با سطح فلز، میدان الکتریکی این موج، نیروی $\vec{F} = -e\vec{E}$ به الکترون‌های فلز وارد کند و آن‌ها را به نوسان وادارد. به این ترتیب، وقتی دامنه نوسان برخی از الکترون‌ها به قدر کافی بزرگ شود انرژی جنبشی لازم را برای جدا شدن از سطح فلز پیدا می‌کنند. بنابه این دیدگاه کلاسیکی، این پدیده باید با هر بسامدی رخ دهد درحالی‌که این نتیجه با تجربه سازگار نیست.

یکی دیگر از پیامدهای نظریه الکترومغناطیسی ماکسول این است که شدت نور با مربع دامنه میدان الکتریکی موج الکترومغناطیسی متناسب است ($I \propto E^2$). به این ترتیب انتظار می‌رود به‌ازای یک بسامد معین، اگر شدت نور فرودی بر سطح فلز را افزایش دهیم باید الکترون‌ها با انرژی جنبشی بیش‌تری از فلز خارج شوند، نتیجه‌ای که تجربه آن را تأیید نمی‌کند.

شکست مدل موج الکترومغناطیسی در توضیح برخی پدیده‌ها مانند اثر فوتوالکتریک به این معنی نیست که مدل موجی نور باید کنار گذاشته شود. ولی باید متوجه باشیم که مدل موجی، تمام ویژگی‌های نور را دربر ندارد و به همین دلیل قادر نیست توجیه درستی از تمامی پدیده‌های فیزیکی مرتبط با برهم‌کنش نور با ماده را ارائه کند.

پس از نزدیک به ۲۰ سال که تلاش بسیاری از دانشمندان برای توجیه اثر فوتوالکتریک به کمک مفاهیم و قانون‌های فیزیک کلاسیک به نتیجه نرسیده بود در سال ۱۹۰۵ اینشتین توضیحی قانع‌کننده در مورد این اثر ارائه داد و جایزه نوبل فیزیک سال ۱۹۲۱ میلادی را به‌خاطر تبیین آن دریافت کرد. اینشتین در نظریه فوتوالکتریک خود با توجه به کارهای قبلی پلانک در زمینه تابش گرمایی اجسام، فرض کرد که نور با بسامد f را می‌توان به‌صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی درنظر گرفت. هر بسته انرژی، که بعدها فوتون نامیده شد، دارای انرژی‌ای است که از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$E = hf$$

در این رابطه h ثابت پلانک نامیده می‌شود و به‌طور تجربی معلوم شده است که مقدار آن $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ است.

بنا بر نظر اینشتین، وقتی نوری تکفام بر سطح فلزی می‌تابد، هر فوتون صرفاً با یکی از الکترون‌های فلز برهم‌کنش می‌کند. اگر فوتون، انرژی کافی داشته باشد تا فرایند خارج کردن الکترون از فلز را انجام دهد، الکترون به‌طور آبی از آن گسیل می‌شود. در این صورت بخشی از انرژی فوتون صرف جدا کردن الکترون از فلز می‌شود و مابقی آن به انرژی جنبشی الکترون خارج‌شده تبدیل می‌شود.



نکته

هنگامی که نوری با بسامد f به فلزی با بسامد آستانه f_0 (بسامد آستانه به جنس فلز بستگی دارد) می‌تابد، سه حالت زیر رخ می‌دهد.

۱- $f > f_0$: در این حالت، فوتون‌های تابیده‌شده حداقل انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از فلز را دارند و پدیده فوتوالکتریک رخ می‌دهد. در این حالت خوب است که نکات زیر را بدانید:

الف) اگر بدون تغییر در تعداد فوتون‌ها، بسامد موج (f) را افزایش دهیم، انرژی جنبشی فوتوالکتریک‌ها افزایش می‌یابد.

ب) اگر بدون تغییر در بسامد نور (f)، تعداد فوتون‌ها را افزایش دهیم، یعنی شدت نور را زیاد کنیم، انرژی جنبشی فوتوالکتریک‌ها تغییر نمی‌کند ولی تعداد الکترون‌های جداشده از فلز افزایش می‌یابد.

۲- $f < f_0$: در این حالت، فوتون‌های تابیده‌شده حداقل انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از فلز را ندارند و پدیده فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد. در این حالت خوب است که نکات زیر را بدانید:

الف) اگر بدون تغییر در تعداد فوتون‌ها، بسامد موج (f) را افزایش دهیم، ممکن است پدیده فوتوالکتریک رخ بدهد یا ندهد. اگر بسامد نور از بسامد آستانه فلز بیش‌تر یا با آن برابر شود، پدیده فوتوالکتریک رخ می‌دهد.

ب) اگر بدون تغییر در بسامد نور (f)، تعداد فوتون‌ها را افزایش دهیم، یعنی شدت نور را زیاد کنیم، با توجه به این‌که اصلاً پدیده فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد، هیچ تغییری صورت نمی‌گیرد و همچنان هیچ الکترونی از فلز جدا نمی‌شود.

۳- $f = f_0$: در این حالت پدیده فوتوالکتریک رخ می‌دهد و کل انرژی هر فوتون صرف کنده شدن الکترون از سطح فلز می‌شود، ولی انرژی جنبشی الکترون‌های جداشده صفر می‌شود.



۲- بسامد فوتون یک موج الکترومغناطیسی ۲GHz است. انرژی این فوتون برابر ژول است و این موج در کاربرد دارد. ($e = 1/6 \times 10^{-19} \text{C}$, $h = 4 \times 10^{-15} \text{eV.s}$, $c = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)

- (۱) $12/8 \times 10^{-25}$ ، آشپزی
(۲) 8×10^{-6} ، آشپزی
(۳) $12/8 \times 10^{-25}$ ، عکس برداری پزشکی
(۴) 8×10^{-6} ، عکس برداری پزشکی

(آسان - محاسباتی - سریع ① - صفحه ۱۱۷ - ۱۲۰۵)

پاسخ: گزینه ۱

گام اول

انرژی هر فوتون این موج برابر است با:

$$E = hf = 4 \times 10^{-15} \times 2 \times 10^9 = 8 \times 10^{-6} \text{eV} \Rightarrow E = 8 \times 10^{-6} \text{eV} \times \frac{1/6 \times 10^{-19} \text{J}}{1 \text{eV}} = 12/8 \times 10^{-25} \text{J}$$

گام آخر

دقت کنید فوتون‌هایی با بسامد پایین (طول موج زیاد) می‌توانند رادیویی یا میکروموج باشند که مثلاً در آشپزی (اجاق مایکروفر) کاربرد دارند. عکس برداری پزشکی با کمک پرتوهای ایکس انجام می‌شود که بسامد بسیار زیادی دارند.

سوتی‌های پرتکرار

اگر حواست به تبدیل یکای الکترون - ولت به ژول نباشه، در دام گزینه (۲) می‌افتی. حتی اگر حواست به فرکانس موردنظر و کاربردش نباشه به احتمال زیاد در دام گزینه (۳) می‌افتی.

کپسول دویینگ | فوتون

اینستین فرض کرد که نور با بسامد f را می‌توان به صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی در نظر گرفت. هر بسته انرژی، فوتون نام دارد که دارای انرژی‌ای است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E = hf \xrightarrow{f = \frac{c}{\lambda}} E = \frac{hc}{\lambda}$$

E : انرژی فوتون (J) h : ثابت پلانک (J.s) f : بسامد نور فرودی (Hz)

c : تندى انتشار نور در خلأ ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$) λ : طول موج نور فرودی (m)

✓ تندى انتشار نور در خلأ، $c = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ است.

✓ ثابت پلانک نامیده می‌شود که مقدار آن در SI، $h = 6/63 \times 10^{-34} \text{J.s}$ است.

الکترون - ولت: ژول واحد بسیار بزرگی است؛ بنابراین برای بیان انرژی فوتون از واحد کوچک‌تری به نام الکترون - ولت (eV) استفاده می‌کنیم.

یک الکترون - ولت، تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یک الکترون در جابه‌جایی بین دو نقطه با اختلاف پتانسیل یک ولت است:

$$|\Delta V| = \left| \frac{\Delta U}{q} \right| \Rightarrow 1 \text{eV} = 1/6 \times 10^{-19} \text{J}$$

تبدیل ژول و الکترون - ولت به هم:

$$\text{J} \xleftarrow{\div 1/6 \times 10^{-19}} \text{eV} \xrightarrow{\times 1/6 \times 10^{-19}} \text{J}$$

۳- یک لامپ رشته‌ای با توان 320 W از فاصله 2 کیلومتری دیده می‌شود. نور لامپ به‌طور یکنواخت در فضای اطراف آن منتشر می‌شود و بازده لامپ 5 درصد است که فقط 1 درصد این تابش دارای طول موجی در حدود 660 nm است. در هر دقیقه چه تعداد فوتون با این طول موج وارد هریک از مردمک‌های چشم ناظری می‌شود که در این فاصله قرار دارد؟
($h = 6.6 \times 10^{-34}\text{ J.s}$, $c = 3 \times 10^8\text{ m/s}$, $\lambda = 660\text{ nm}$ شعاع مردمک)

$$4 \times 10^5 \quad (4)$$

$$4 \times 10^6 \quad (3)$$

$$2 \times 10^7 \quad (2)$$

$$2 \times 10^6 \quad (1)$$

(سخت - استدلالی - زمان‌بر ۱۵ - صفحه ۱۱۷ - ۱۲۰۵)

پاسخ: گزینه ۱

گام اول

بازده لامپ 5 درصد است که فقط 1 درصد این تابش دارای طول موج 660 nm است؛ بنابراین بازده کل برابر است با:

$$Ra_t = Ra_\lambda \times Ra_p = 0.05 \times 0.01 = 5 \times 10^{-4}$$

گام دوم

شدت نور تابشی با طول موج 660 nm در محل ناظر برابر است با:

$$I = \frac{Ra_t P}{4\pi R^2} \quad Ra_t = 5 \times 10^{-4}, P = 320\text{ W}, R = 2\text{ km} = 2 \times 10^3\text{ m} \rightarrow I = \frac{5 \times 10^{-4} \times 320}{4\pi \times 4 \times 10^6} = \frac{10^{-8}}{\pi} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

گام سوم

شدت نور تابشی رسیده به هر یک از مردمک‌های چشم ناظر برابر است با:

$$I = \frac{E_t}{\pi r^2 t} \Rightarrow E_t = I \pi r^2 t = \frac{10^{-8}}{\pi} \times \pi \times 10^{-6} \times 60 = 6 \times 10^{-13}\text{ J}$$

گام آخر

به کمک رابطه $E_t = \frac{nhc}{\lambda}$ داریم:

$$n = \frac{E_t \lambda}{hc} = \frac{6 \times 10^{-13} \times 6.6 \times 10^{-7}}{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8} = 2 \times 10^6$$

راهنمای زنگ‌بازی

شدت نور تابشی در محل ناظر برابر با شدت نوری است که به هریک از مردمک‌های چشم ناظر می‌رسد:

$$I = \frac{Ra_t P}{4\pi R^2} = \frac{nhc}{\pi r^2 t} \Rightarrow n = \frac{Ra_t \times P \times r^2 \times t \times \lambda}{h \times c \times 4R^2}$$

$$\Rightarrow n = \frac{5 \times 10^{-4} \times 320 \times 10^{-6} \times 60 \times 6.6 \times 10^{-7}}{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \times 4 \times 4 \times 10^6} = 2 \times 10^6$$

راهنمای مسیرت

بچه‌ها این تست دقیقاً مشابه یکی از تمرینات آخر فصل ۴ هست. هم برای امتحان نهایی و هم برای کنکور از درجه اهمیت بسیار بالایی برخورداره. پس شدیداً حواستون به گام‌های طی‌شده برای پاسخ به این تست باشه تا با یک تیر بتونین دو تا هدف رو بزنین.

سوتی‌های پرتکرار

اگر حواستون نباشه و مجموع فوتون‌های واردشده به دو تا مردمک رو لحاظ کنید در دام گزینه (۳) می‌افتین.



توان تابشی یک نور تکفام با بسامد f را به کمک رابطه زیر به دست می‌آوریم:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{nhf}{t} = \frac{nhc}{\lambda t}$$

P : توان تابشی E : انرژی موج الکترومغناطیسی t : مدت زمان
حالا که توان تابشی رو بلد شدی، شدت تابشی یک نور تکفام رو هم یاد بگیر:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{E}{At} \Rightarrow I = \frac{nhf}{At} = \frac{nhc}{\lambda At}$$

شدت تابشی $(\frac{W}{m^2})$



۴- در آزمایش فوتوالکتریک، اگر نوری با طول موج 496nm به سطح فلز بتابد، بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترن‌ها 0.625eV می‌شود. نوری با طول موج چند نانومتر را به این فلز بتابانیم تا بیشینه سرعت فوتوالکترن‌ها برابر $1.6 \times 10^6 \frac{m}{s}$ شود؟

($hc = 1240\text{eV}\cdot\text{nm}$, $m_e = 9.1 \times 10^{-31}\text{kg}$, $e = 1.6 \times 10^{-19}\text{C}$)

(۱) ۲۴۸ (۲) ۳۳۶ (۳) ۱۲۴ (۴) ۳۱۶

(متوسط - محاسباتی - زمان‌بر ۱ - صفحه ۱۱۸ - ۱۲۰۵)

پاسخ: گزینه ۱

در آزمایش اول داریم:

$$K_{\max} = \frac{hc}{\lambda} - W_0 \Rightarrow 0.625 = \frac{1240}{496} - W_0$$

$$\Rightarrow 0.625 = 2.5 - W_0 \Rightarrow W_0 = 1.875\text{eV}$$

در آزمایش دوم، می‌خواهیم بیشینه تندی فوتوالکترن‌ها $v_{\max} = 1.6 \times 10^6 \frac{m}{s}$ باشد، یعنی انرژی جنبشی بیشینه برابر است با:

$$K'_{\max} = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 \Rightarrow K'_{\max} = \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \times (1.6 \times 10^6)^2 = \frac{1}{2} \times 10^{-18}\text{J}$$

$$\Rightarrow K'_{\max} = \frac{1}{2} \times 10^{-18}\text{J} \times \frac{1\text{eV}}{1.6 \times 10^{-19}\text{J}} = \frac{25}{8}\text{eV} = 3.125\text{eV}$$

بنابراین در آزمایش دوم، طبق معادله فوتوالکتریک داریم:

$$K'_{\max} = \frac{hc}{\lambda'} - W_0 \Rightarrow 3.125 = \frac{1240}{\lambda} - 1.875$$

$$\Rightarrow \frac{1240}{\lambda} = 5\text{eV} \Rightarrow \lambda = 248\text{nm}$$

راهنمای مسیرت 

معادله فوتوالکتریک همواره مورد توجه طراحان بوده و از اهمیت بالایی برخورداره. به بهانه این تست، یک مرور عالی بر روی این مبحث انجام می‌دین و یک تست عالی هم ازش حل می‌کنین.

کپسول دوپینگ | تابع کار 

بنابر نظر اینشتین، وقتی نوری تکفام بر سطح فلزی می‌تابد، هر فوتون صرفاً با یکی از الکترون‌های فلز برهم‌کنش می‌کند. اگر فوتون، انرژی کافی داشته باشد تا فرایند خارج کردن الکترون از فلز را انجام دهد، الکترون به‌طور آنی از آن گسیل می‌شود. در این صورت بخشی از انرژی فوتون صرف جدا کردن الکترون از فلز می‌شود و مابقی آن به‌صورت انرژی جنبشی الکترون خارج شده تبدیل می‌شود.

این نظر اینشتین را می‌توان به کمک قانون پایستگی انرژی به صورت زیر نوشت:

$$hf = W + K \quad (\text{قانون پایستگی انرژی در اثر فوتوالکتریک})$$

که در آن W کار (انرژی) لازم برای خارج کردن الکترون‌ها از سطح یک فلز و K انرژی جنبشی آن‌ها پس از جدا شدن از سطح آن فلز است. از آنجا که برخی از الکترون‌ها در فلز، کمتر مقید هستند، برای خارج کردن آن‌ها از فلز، کار کمتری لازم است؛ بنابراین اگر حداقل کار لازم برای خارج کردن الکترون‌ها از سطح یک فلز خاص، W_0 باشد، انرژی جنبشی سریع‌ترین فوتوالکترن‌های گسیل شده از آن برابر خواهد بود با:

$$K_{\max} = hf - W_0 \quad (\text{معادله فوتوالکتریک})$$

W_0 را تابع کار فلز می‌نامند که به جنس فلز بستگی دارد و همان‌گونه که گفتیم، کمینه کار لازم برای خارج کردن یک الکترون از یک فلز معین است. با توجه به این تعریف مشخص است که تابع کار از رابطه $W_0 = hf_0$ به دست می‌آید.



بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترن‌ها به بسامد فوتون فرودی (f) و جنس فلز (W_0) بستگی دارد و این انرژی مستقل از شدت نور تابشی است:

$$K_{\max} = hf - W_0 \xrightarrow{W_0 = hf_0} K_{\max} = h(f - f_0) = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)$$

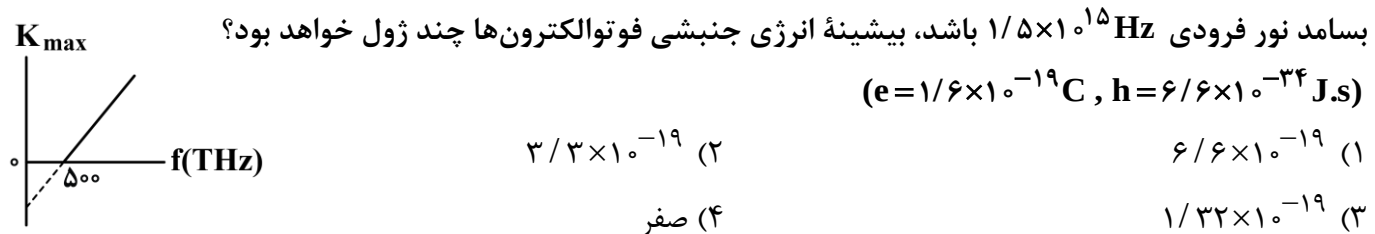
λ_0 طول موج آستانه فلز است. حواستان باشد که باید $\lambda \leq \lambda_0$ باشد تا پدیده فوتوالکتریک رخ دهد.

۱- با استفاده از رابطه $p_{\max} = mv_{\max}$ ، می‌توان بیشینه تکانه فوتوالکترن‌ها را هم محاسبه کرد.

۲- با استفاده از رابطه $K_{\max} = \frac{1}{2}mv_{\max}^2$ ، می‌توان بیشینه تندی فوتوالکترن‌ها را هم محاسبه کرد.



۵- نمودار بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترن‌ها بر حسب بسامد نور فرودی در پدیده فوتوالکتریک به شکل زیر است. اگر



(متوسط - نموداری - استاندارد ۱ - صفحه ۱۱۸ - ۱۲۰۵)

پاسخ: گزینه ۱

مطابق نمودار، بسامد آستانه فلز برابر $f_0 = 0.5 \text{ THz}$ است؛ بنابراین داریم:

$$K_{\max} = hf - W_0 \xrightarrow{W_0 = hf_0} K_{\max} = h(f - f_0)$$

$$\Rightarrow K_{\max} = 6.6 \times 10^{-34} \times (1.5 \times 10^{15} - 0.5 \times 10^{15})$$

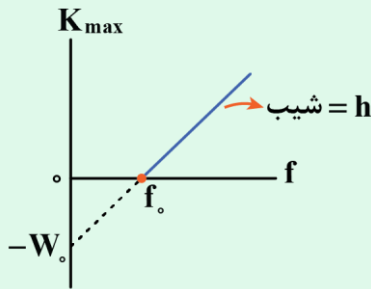
$$\Rightarrow K_{\max} = 6.6 \times 10^{-34} \times 10^{15} \times (1.5 - 0.5) = 6.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$



به دونه هم سؤال نموداری از معادله فوتوالکتریک براتون آوردیم تا دیگه نور علی نور بشه و همه‌جوره خیالتون رو از این مبحث راحت کنیم.



نمودار تغییرات انرژی جنبشی بیشینه فوتوالکترون‌ها در پدیده فوتوالکتریک به شکل زیر است:



تقاطع نمودار با محور افقی بسامد قطع فلز را نشان می‌دهد و تقاطع امتداد نمودار با محور عمودی، تابع کار فلز را نشان می‌دهد. رابطه بین تابع کار و بسامد قطع به صورت زیر است:

$$W_0 = hf_0$$



۶- کدام یک از عبارات‌های زیر درست است؟

الف - یک جسم جامد در هر دمایی تابش گرمایی گسیل می‌کند.

ب - در دماهای معمولی، بیش تر تابش گسیل شده از سطح اجسام در ناحیه فرابنفش قرار دارد.

ج - طیف گسیلی گازها خطی است.

(۱) «ب» و «ج» (۲) «الف» و «ج» (۳) «الف» و «ب» (۴) فقط «الف»

(آسان - خطبه‌خط - سریع - صفحه ۱۲۱ - ۱۲۰۵)

پاسخ: گزینه ۲

عبارات‌های «الف» و «ج» طبق متن کتاب درسی درست هستند.

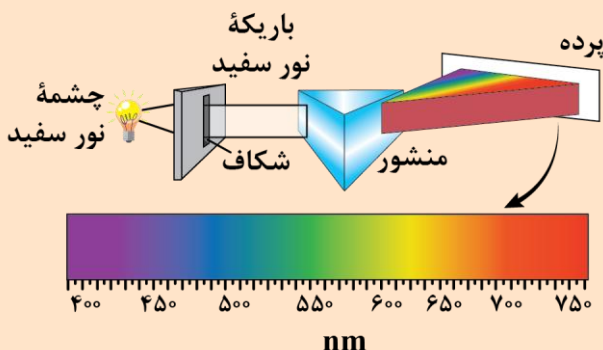
بررسی موارد نادرست:

ب) در دماهای معمولی، بیش تر تابش گسیل شده از سطح اجسام در ناحیه **فروسرخ** قرار دارد.

کپسول دوپینگ | انواع طیف‌های اتمی

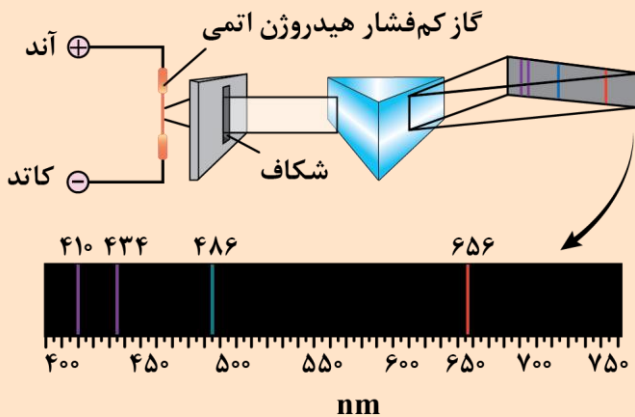
۱- طیف گسیلی (نشری) پیوسته:

همه اجسام در هر دمایی که باشند، از خود امواج الکترومغناطیسی گسیل (نشر) می‌کنند که به آن تابش گرمایی گفته می‌شود. برای یک جسم جامد، نظیر رشته داغ یک لامپ روشن، این امواج شامل گستره پیوسته‌ای از طول‌موج‌ها است. به همین دلیل طیف ایجادشده در این شرایط را طیف گسیلی پیوسته یا به اختصار طیف پیوسته می‌نامند.



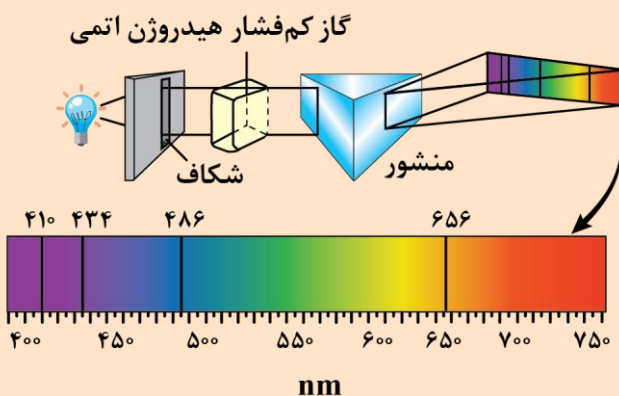
۲- طیف گسیلی (نثری) خطی:

تشکیل طیف پیوسته توسط جسم جامد، ناشی از برهم‌کنش قوی بین اتم‌های سازنده آن است. حال آن‌که گازهای کم‌فشار و رقیق، که اتم‌های منفرد آن‌ها از برهم‌کنش‌های قوی موجود در جسم جامد آزادند به‌جای طیف پیوسته، طیفی گسسته را گسیل می‌کنند که شامل طول‌موج‌های معینی است. این طیف گسسته را معمولاً طیف گسیلی خطی یا به‌اختصار طیف خطی می‌نامند و طول‌موج‌های ایجادشده در آن، برای اتم‌های هر گاز منحصر به فرد هستند و سرنخ‌های مهمی را درباره نوع و ساختار اتم‌های آن گاز به‌دست می‌دهند.



۳- طیف جذبی خطی:

در تابشی که از خورشید گسیل می‌شود و به زمین می‌رسد بعضی از طول‌موج‌ها وجود ندارند. امروزه می‌دانیم بسیاری از این خط‌های تاریک طیف خورشید ناشی از جذب طول‌موج‌های مربوط به این خط‌ها توسط گازهای جو خورشید است. خط‌های دیگر به‌سبب جذب نور در گازهای جو زمین پدید می‌آیند.



در مورد رابطه طیف گسیلی خطی و طیف جذبی خطی به دو نکته زیر توجه کنید:

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



۷- کدام یک از سری‌های طیفی در اتم هیدروژن، خط طیفی با طول موج ۴۸۶۰ آنگستروم را تابش می‌کند؟

(۱) لیمان ($n' = 1$) (۲) براکت ($n' = 4$) (۳) بالمر ($n' = 2$) (۴) پفوند ($n' = 5$)

(آسان - خط به خط - سریع) (صفحه ۱۲۳ - ۱۲۰۵)

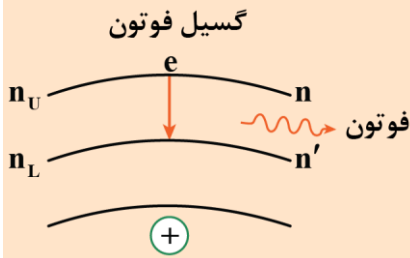
پاسخ: گزینه ۳

می‌دانیم $1\text{Å} = 10^{-1}\text{nm}$ است؛ بنابراین طول موج ۴۸۶۰ آنگستروم معادل با ۴۸۶nm است که در محدوده طیف مرئی قرار دارد و تنها در سری بالمر نور مرئی دیده می‌شود.

کپسول دوپینگ | رابطه ریدبرگ - بالمر

مطابق شکل زیر، هنگامی که در یک اتم، الکترون از لایه‌ای به لایه پایین‌تر منتقل می‌شود، فوتونی با بسامد f و طول موج λ گسیل می‌کند. برای به دست آوردن طول موج فوتون گسیل شده در اتم هیدروژن می‌توانیم از رابطه زیر استفاده کنیم:

معادله ریدبرگ:



$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{یا} \quad \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2} \right)$$

$\lambda \leftarrow$ طول موج فوتون گسیل شده $R \leftarrow$ ثابت ریدبرگ $[R = 0.01 \text{ (nm)}^{-1}]$

n_L یا $n' \leftarrow$ شماره لایه مقصد (لایه پایین‌تر)

n_U یا $n \leftarrow$ شماره لایه مبدأ (لایه بالاتر)

نکته ۱

در رابطه ریدبرگ اگر R برحسب $(\text{nm})^{-1}$ جایگذاری شود، λ برحسب nm به دست می‌آید که معمولاً در سؤالات کنکور طول موج برحسب نانومتر خواسته می‌شود و نیازی به تبدیل واحد نیست.

بر مبنای لایه مقصد، فوتون‌های گسیلی از اتم هیدروژن گروه‌بندی می‌شوند. به هر گروه در اصطلاح یک رشته اتمی گفته می‌شود و هر رشته را با نام یک دانشمند نام‌گذاری می‌کنند. به طور مثال اگر الکترون‌ها از لایه بالاتر به لایه شماره (۱) منتقل شوند، رشته موردنظر را رشته لیمن می‌نامند و به الکترون‌ها و فوتون‌های موردنظر به ترتیب الکترون لیمن و فوتون لیمن می‌گویند. در جدول زیر، نام رشته‌های مختلف به همراه پرتوی گسیل شده، مشخص است.

نام طیف	مقدار n'	رابطه ریدبرگ مربوط به رشته	مقدارهای n	ناحیه طیف
لیمن	۱	$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	۲, ۳, ۴, ...	فرابنفش
بالمر	۲	$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	۳, ۴, ۵, ...	فرابنفش و مرئی
پاشن	۳	$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	۴, ۵, ۶, ...	فروسرخ
براکت	۴	$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	۵, ۶, ۷, ...	فروسرخ
پفوند	۵	$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	۶, ۷, ۸, ...	فروسرخ

نکته ۲

با توجه به جدول بالا، به نکات زیر توجه کنید:

- همه فوتون‌های رشته لیمن ($n' = 1$) در ناحیه فرابنفش قرار دارند، یعنی طول موج آن‌ها کمتر از 400 nm است.
 - چهار خط طیفی اول رشته بالمر ($n' = 2$) در ناحیه مرئی قرار دارند و خط‌های طیفی بعدی آن در ناحیه فرابنفش قرار دارند.
 - همه فوتون‌های رشته‌های پاشن ($n' = 3$)، براکت ($n' = 4$) و پفوند ($n' = 5$) در ناحیه فروسرخ قرار دارند، یعنی طول موج آن‌ها از 700 nm بیش‌تر است.
 - با توجه به چند نکته بالا می‌توان به نتایج زیر رسید:
- الف)** اگر اتم هیدروژن فوتونی فرابنفش تابش کند، این فوتون ممکن است به رشته لیمن ($n' = 1$) یا رشته بالمر ($n' = 2$) تعلق داشته باشد.
- ب)** اگر اتم هیدروژن فوتونی مرئی تابش کند، این فوتون قطعاً مربوط به رشته بالمر ($n' = 2$) است.

نکته ۳

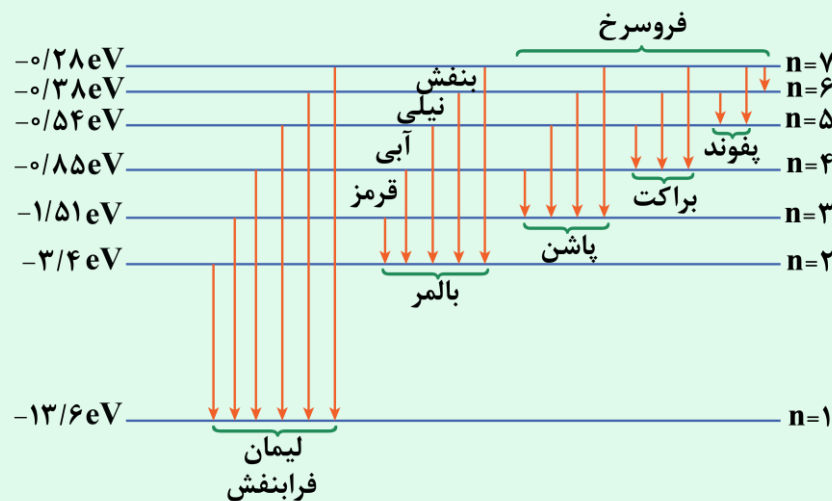
در رابطه $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ با داشتن n' ، مقدار n از $n' + 1$ (اولین خط طیفی رشته n') شروع شده و تا بی‌نهایت ادامه پیدا می‌کند. مثلاً اولین خط طیفی رشته براکت ($n' = 4$)، $n = 5$ است. یا مثلاً سومین خط طیفی رشته بالمر ($n' = 2$)، $n = 5$ است. پس وقتی شماره یک خط طیفی از یک رشته را داریم، مقدار n از رابطه (شماره خط طیفی + $n = n' + 1$) به دست می‌آید.

$$n' = 3 \rightarrow n = 3 + 4 = 7 \text{ چهارمین خط طیفی رشته پاشن}$$

$$n' = 5 \rightarrow n = 5 + 1 = 6 \text{ اولین خط طیفی رشته پفوند}$$

نکته ۴

با توجه به شکل زیر، در گذارهای الکترون در مدل اتمی بور برای اتم هیدروژن داریم:



نکته ۵

اگر الکترون در تراز n اتم هیدروژن باشد، با در نظر گرفتن تمام گذارهای ممکن، تعداد فوتون‌هایی که با انرژی‌های متفاوت می‌تواند گسیل کند از رابطه $\binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2}$ به دست می‌آید.

نکته ۶

۱- اگر بیش‌ترین بسامد یا انرژی مربوط به یک رشته اتم هیدروژن (مثلاً رشته لیمان) را از ما خواستند، الکترون باید از مدار $n = \infty$ به مدار مقصد برود؛ یعنی باید از $n = \infty$ به n' برود.

رشته لیمان: $n' = 1$ ، $n = \infty$

رشته بالمر: $n' = 2$ ، $n = \infty$

رشته پاشن: $n' = 3$ ، $n = \infty$

رشته براکت: $n' = 4$ ، $n = \infty$

رشته پفوند: $n' = 5$ ، $n = \infty$

دقت کنید که بیش‌ترین بسامد یا انرژی، هم‌معنی کوتاه‌ترین طول موج است.

۲- اگر کم‌ترین بسامد یا انرژی مربوط به یک رشته اتم هیدروژن (مثلاً رشته لیمان) را از ما خواستند، الکترون باید از نزدیک‌ترین مدار به مدار مقصد برود.

رشته لیمان: $n' = 1$ ، $n = 2$

رشته بالمر: $n' = 2$ ، $n = 3$

رشته پاشن: $n' = 3$ ، $n = 4$

رشته براکت: $n' = 4$ ، $n = 5$

$n = 6$, $n' = 5$: رشته پفوند

دقت کنید که کمترین بسامد یا انرژی، هم‌معنی بلندترین طول موج است.

۳- اختلاف کوتاه‌ترین و بلندترین طول موج در هر رشته از اتم هیدروژن را گستره طول موج‌های آن رشته می‌گویند.



۱- در اتم هیدروژن، هنگامی که الکترون از مدار برانگیخته n به مدار n' می‌آید و $n' < n$ است، فوتونی تابش می‌کند که طول موج آن از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

$$R \approx 0.01 \text{ (nm)}^{-1}$$

۲- با ضرب کردن دو طرف رابطه فوق در سرعت نور (c) ، بسامد فوتون تابش شده به دست می‌آید.

$$\frac{c}{\lambda} = Rc \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) \xrightarrow{f = \frac{c}{\lambda}} f = Rc \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

دقت کنید که در رابطه بالا برای محاسبه بسامد برحسب هرتز (Hz)، باید R برحسب m^{-1} جایگذاری شود.

$$R = 0.01 \text{ (nm)}^{-1} = 0.01 \times 10^9 \text{ m}^{-1} = 10^7 \text{ m}^{-1}$$

۳- فرض کنید در اتم هیدروژن، الکترون یک بار از مدار n_1 به مدار n' می‌رود و فوتونی با بسامد f_1 تابش می‌کند و بار دوم از مدار n_2 به مدار n' می‌رود و فوتونی با بسامد f_2 تابش می‌کند. اختلاف این دو بسامد برابر است با:

$$\begin{cases} f_1 = Rc \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \\ f_2 = Rc \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \end{cases} \Rightarrow \Delta f = f_2 - f_1 = Rc \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

دقت کنید که در رابطه بالا نیز برای محاسبه اختلاف بسامد برحسب هرتز (Hz)، باید R برحسب m^{-1} جایگذاری شود.



۸- طول موج سری پاشن ($n' = 3$)، تقریباً در کدام محدوده قرار دارد؟ $[R = 0.01 \text{ (nm)}^{-1}]$

(۱) 100 nm تا 486 nm (۲) 1000 nm تا 486 nm (۳) 900 nm تا 2057 nm (۴) 900 nm تا 1000 nm

(متوسط - محاسباتی - استاندارد ۱۰ - صفحه ۱۲۳ - ۱۲۰۵)

پاسخ: گزینه ۳

سری تابشی پاشن، مربوط به گذار الکترون از ترازهای بالاتر به تراز $n' = 3$ است. بیش‌ترین طول موج فوتون (معادل با کم‌ترین بسامد و کم‌ترین انرژی) متناسب با گذار از تراز $n = 4$ به تراز $n' = 3$ و کم‌ترین طول موج (معادل با بیش‌ترین بسامد و بیش‌ترین انرژی) مربوط به گذار از بالاترین تراز یعنی $n = \infty$ به تراز $n' = 3$ است. با استفاده از رابطه ریدبرگ

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

$$\frac{1}{\lambda_{\text{کمینه}}} = 0.01 \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{\infty^2} \right) \Rightarrow \frac{1}{\lambda_{\text{کمینه}}} = \frac{1}{900} \Rightarrow \lambda_{\text{کمینه}} = 900 \text{ nm}$$

$$\frac{1}{\lambda_{\text{بیشینه}}} = 0.01 \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} \right) \Rightarrow \frac{1}{\lambda_{\text{بیشینه}}} = 0.01 \times \frac{7}{144} \Rightarrow \lambda_{\text{بیشینه}} \approx 2057 \text{ nm}$$

محدوده طول موج رشته خط‌های طیف گسیلی هیدروژن اتمی از پرتکرارترین سؤالات این فصل به حساب می‌آید. حتماً سعی کنید یک تمرین جامع برای محدوده طول موج رشته‌ها رو انجام بدین.



۹- اختلاف بیش‌ترین بسامد رشته پاشن ($n' = 3$) و کم‌ترین بسامد رشته بالمر ($n' = 2$) چند تراهرتز است؟

$$(R = \frac{1}{100} \text{ nm}^{-1}, c = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})$$

$$\frac{125}{3} \text{ (۴)}$$

$$180 \text{ (۳)}$$

$$80 \text{ (۲)}$$

$$\frac{250}{3} \text{ (۱)}$$

(متوسط - محاسباتی - استاندارد) (صفحه ۱۲۳ - ۱۲۰۵)

پاسخ: گزینه ۱ 

به کمک رابطه ریدبرگ و ترکیب آن با رابطه $c = \lambda f$ داریم:

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

بیش‌ترین بسامد رشته پاشن مربوط به گذار الکترون از تراز $n = \infty$ به تراز $n' = 3$ است:

$$f_P = 3 \times 10^8 \times 10^{-2} \times 10^9 \times \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{\infty} \right) = \frac{1}{3} \times 10^{15} \text{ Hz}$$

کم‌ترین بسامد رشته بالمر مربوط به گذار الکترون از تراز $n = 3$ به تراز $n' = 2$ است:

$$f_B = 3 \times 10^8 \times 10^{-2} \times 10^9 \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) = \frac{5}{12} \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$$|f_P - f_B| = \left| \frac{1}{3} \times 10^{15} - \frac{5}{12} \times 10^{15} \right| = \frac{1}{12} \times 10^{15} \text{ Hz} = \frac{1000}{12} \text{ THz} = \frac{250}{3} \text{ THz}$$

بیش‌ترین و کم‌ترین فرکانس مربوط به رشته خط‌های طیف گسیلی اتم هیدروژن، در کنکوره‌های اخیر اهمیت بالایی پیدا کرده و کافی‌ه شما به

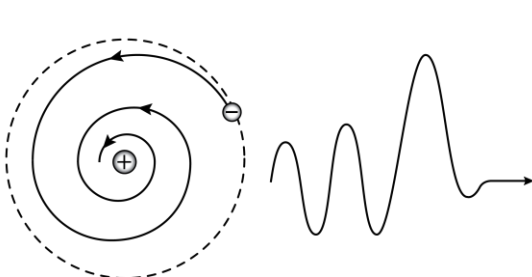
کمک رابطه $f = cR \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ به راحتی به استقبال این سؤالات برید. لطفاً حواستان باشد که برای تبدیل R با یکای $\frac{1}{\text{nm}}$ به یکای

$\frac{1}{\text{m}}$ باید آن را در 10^9 ضرب کنید.

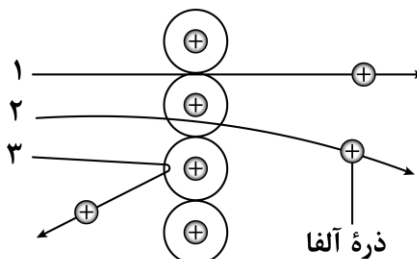


۱۰- شکل‌های زیر، مربوط به مدل اتمی رادرفورد هستند. در شکل «الف»، نسبت تعداد ذرات آلفا که مثل ذره (۲) منحرف می‌شوند به تعداد ذرات آلفا که مانند ذره (۳) منحرف می‌شوند از یک است. در شکل «ب»، اتم طبق مدل

رادرفورد است و با نزدیک شدن الکترون به هسته، بسامد تابش آن می‌شود.



«ب»



«الف»

- (۱) کوچک‌تر - پایدار - کم‌تر
- (۲) کوچک‌تر - ناپایدار - بیش‌تر
- (۳) بزرگ‌تر - پایدار - کم‌تر
- (۴) بزرگ‌تر - ناپایدار - بیش‌تر

برای پاسخ دادن به این سؤال، به چند نکته زیر توجه کنید:



- ۱- در مدل اتمی رادرفورد، تعداد ذرات آلفایی که بدون انحراف یا با انحراف کم از اتم‌های طلا عبور می‌کنند، بسیار بیش‌تر از ذرات آلفایی است که انحرافی بیش از ۹۰ درجه دارند و بازمی‌گردند.
- ۲- در مدل اتمی رادرفورد (مدل اتم هسته‌ای)، اتم ناپایدار است. در این مدل اگر الکترون دور هسته ساکن باشد، روی هسته سقوط می‌کند و اگر مانند سیاره‌های دور خورشید، الکترون نیز به دور هسته بچرخد، به دلیل حرکت شتابدار، از خود موج الکترومغناطیسی تابش می‌کند و با کم شدن انرژی‌اش به هسته نزدیک می‌شود. با نزدیک شدن الکترون به هسته، بسامد چرخش آن به دور هسته بیش‌تر می‌شود و بسامد امواج تابشی هم افزایش می‌یابد.

با توجه به نکات گفته شده گزینه (۴) صحیح است.



- ۱۱- در اتم هیدروژن، الکترون با جذب فوتون از تراز پایه به تراز n م گذار کرده و شعاع مداری آن به اندازه $1.5 \times 10^{-11} \text{ m}$ افزایش می‌یابد. مقدار n کدام است؟ (شعاع بور برای اتم هیدروژن $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ است.)
- (۱) ۲ (۲) ۳ (۳) ۴ (۴) ۵

اگر شعاع بور برای اتم هیدروژن a_0 باشد، شعاع الکترون در حالتی که در مدار n قرار داشته باشد از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$r_n = a_0 n^2$$

الکترون از تراز پایه به تراز n م گذار کرده و شعاع آن به اندازه $1.5 \times 10^{-11} \text{ m}$ افزایش یافته است؛ بنابراین داریم:

$$r_n - r_1 = a_0 n^2 - a_0 = a_0 (n^2 - 1) \Rightarrow 1.5 \times 10^{-11} = 5.3 \times 10^{-11} \times (n^2 - 1)$$

$$\Rightarrow n^2 - 1 = 3 \Rightarrow n^2 = 4 \Rightarrow n = 2$$



بور مدل اتمی خود را بر مبنای سه اصل زیر مطرح کرد:

اصل ۱: مدارها و انرژی‌های الکترون‌ها در هر اتم، کوانتیده‌اند؛ یعنی فقط مدارها و انرژی‌های گسسته معینی مجاز هستند. طبق مدل بور، شعاع مدارها در اتم هیدروژن به کمک رابطه زیر به دست می‌آید:

$$r_n = n^2 a_0$$

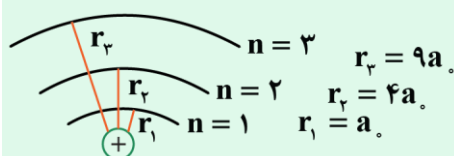
r_n ← شعاع مدارهای الکترون برای اتم هیدروژن

a_0 ← شعاع کوچک‌ترین مدار در اتم هیدروژن (به ازای $n = 1$) که به آن شعاع بور نیز می‌گویند ($a_0 = 5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$).

n ← شماره مداری که الکترون روی آن قرار دارد.



با توجه به مدل بور، شعاع لایه‌های مختلف اتم هیدروژن به صورت شکل زیر است، همان‌طور که می‌بینید با افزایش n فاصله شعاع لایه‌ها افزایش می‌یابد.





طبق مدل بور، انرژی الکترون در مدارهای اتم هیدروژن به کمک رابطه زیر به دست می‌آید:

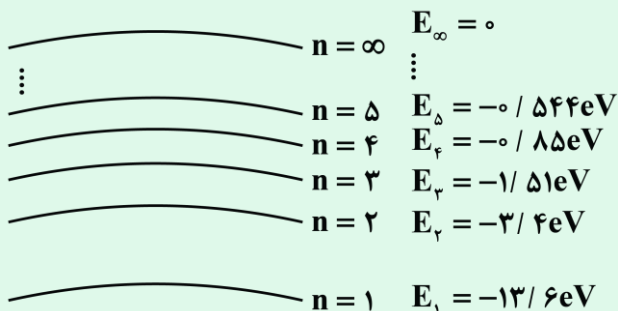
$$E_n = \frac{-E_R}{n^2}$$

E_n ← انرژی الکترون در هر لایه از اتم هیدروژن

E_R ← انرژی الکترون در اولین مدار اتم هیدروژن (انرژی الکترون در $n = 1$ برابر $E_1 = -13.6 \text{ eV}$ است که اندازه آن را معمولاً یک ریذبرگ می‌نامند و با نماد E_R نشان می‌دهند. ($E_R = 13.6 \text{ eV}$)
 n ← شماره مداری که الکترون روی آن قرار دارد.



با توجه به مدل بور، انرژی الکترون در لایه‌های مختلف اتم هیدروژن به صورت شکل زیر است. همان‌طور که می‌بینید با افزایش n فاصله انرژی لایه‌ها کاهش می‌یابد.



توصیه می‌کنیم برای سرعت در پاسخ‌گویی به سؤالات این قسمت، انرژی الکترون در پنج لایه اول را به خاطر بسپارید.

اصل ۲: وقتی یک الکترون در یکی از مدارهای مجاز است، هیچ نوع تابش الکترومغناطیسی گسیل نمی‌شود. از این رو گفته می‌شود الکترون در مدار مانا یا حالت مانا قرار دارد.

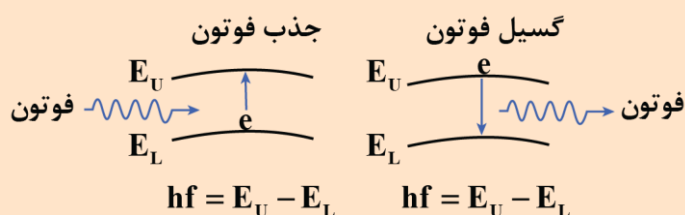
اصل ۳: الکترون می‌تواند از یک حالت مانا به حالت مانای دیگر برود. هنگام گذار الکترون از یک حالت مانا به انرژی بیش‌تر E_U به یک حالت مانا به انرژی کم‌تر E_L ، یک فوتون تابش می‌شود. در این صورت انرژی فوتون تابش شده برابر اختلاف انرژی بین دو مدار اولیه و مدار نهایی است و داریم:



$$E_U - E_L = hf \quad (\text{معادله گسیل فوتون از اتم})$$

E_U ← انرژی الکترون در لایه بالاتر E_L ← انرژی الکترون در لایه پایین‌تر hf ← انرژی فوتون گسیل شده

هنگامی که الکترون در پایین‌ترین تراز انرژی ($n = 1$) قرار گرفته است، در اصطلاح می‌گویند الکترون در حالت پایه قرار دارد و هنگامی که الکترون در ترازهای انرژی بالاتر ($n = 2, 3, \dots$) قرار می‌گیرد، در اصطلاح می‌گویند الکترون برانگیخته شده است.
 هنگامی که الکترون از یک لایه به انرژی بیش‌تر (E_U) به لایه‌ای با انرژی کم‌تر (E_L) منتقل می‌شود، فوتون، گسیل می‌کند و برای این که الکترون از لایه‌ای با انرژی کم‌تر (E_L) به لایه‌ای با انرژی بیش‌تر (E_U) منتقل شود باید فوتون جذب کند؛ به عبارت دیگر داریم:



در اتم هیدروژن انرژی مورد نیاز برای انتقال الکترون از حالت پایه ($n = 1$) به بالاترین حالت برانگیخته ($n = \infty$) برابر 13.6 eV است. صرف این مقدار انرژی باعث جدا شدن الکترون از اتم می‌شود و یون مثبت هیدروژن (H^+) تشکیل می‌شود. این کم‌ترین انرژی لازم برای

خارج کردن الکترون از حالت پایه، انرژی یونش الکترون نامیده می‌شود. برای به دست آوردن انرژی یونش الکترون‌هایی که در لایه‌های مختلف اتم هیدروژن قرار می‌گیرند می‌توانیم به صورت زیر عمل کنیم:

$$\begin{cases} E_n = \frac{-E_R}{n^2} \Rightarrow \Delta E = E_\infty - E_n = \frac{E_R}{n^2} \\ E_\infty = 0 \end{cases}$$



مقدار پیش‌بینی‌شده توسط مدل بور برای انرژی یونش اتم هیدروژن، توافق بسیار خوبی با مقدار تجربی دارد.



۱۲- در طیف گسیلی اتم هیدروژن، اگر بیش‌ترین بسامد فوتون تابشی در سری بالمر ($n' = 2$) برابر با f باشد، بیش‌ترین بسامد فوتون تابشی در سری براکت ($n' = 4$) کدام است؟

$$\begin{matrix} 4f & (1) & 16f & (2) & \frac{f}{16} & (3) & \frac{f}{4} & (4) \end{matrix}$$

(آسان - محاسباتی - استاندارد ۵ - صفحه ۱۲۸ - ۱۳۰۵)

پاسخ: گزینه ۴

طبق فرمول $E_{\text{فوتون}} = hf$ ، بسامد فوتون با انرژی آن متناسب است. در سری بالمر بیش‌ترین انرژی فوتون گسیلی در گذار از تراز $n = \infty$ به تراز $n' = 2$ اتفاق می‌افتد. انرژی فوتون گسیلی در این حالت برابر است با:

$$E_{\text{فوتون}} = E_\infty - E_2 = \left(\frac{-E_R}{\infty^2}\right) - \left(\frac{-E_R}{2^2}\right) = 0 - \left(\frac{-E_R}{4}\right) = \frac{E_R}{4}$$

در سری براکت، بیش‌ترین انرژی فوتون گسیلی در گذار از تراز $n = \infty$ به تراز $n' = 4$ اتفاق می‌افتد. انرژی فوتون گسیلی در این حالت برابر است با:

$$E'_{\text{فوتون}} = E_\infty - E_4 = \left(\frac{-E_R}{\infty^2}\right) - \left(\frac{-E_R}{4^2}\right) = 0 - \left(\frac{-E_R}{16}\right) = \frac{E_R}{16}$$

از آنجایی که این مقدار $\frac{1}{4}$ مقدار قبلی است ($\frac{E'_{\text{فوتون}}}{E_{\text{فوتون}}} = \frac{1}{4}$) بنابراین بسامد فوتون تابشی هم یک‌چهارم مقدار قبل یعنی $\frac{f}{4}$ است.



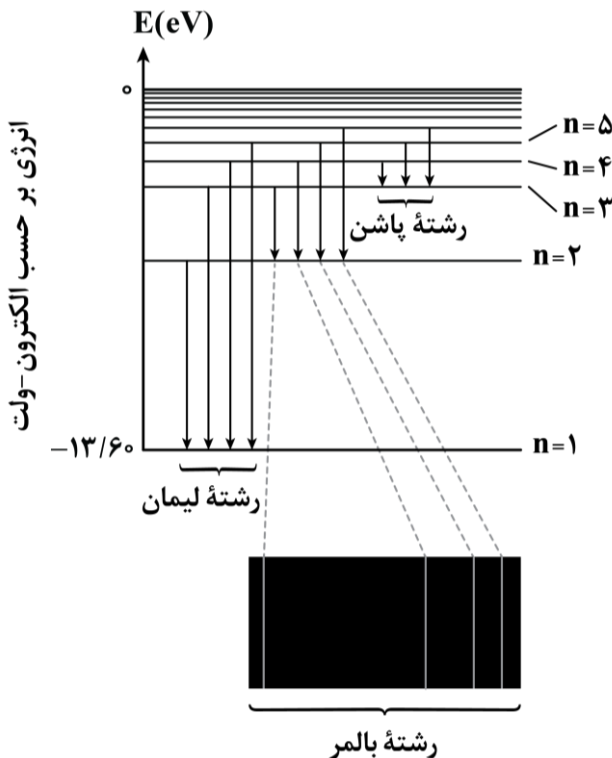
۱۳- شکل زیر، سه رشته طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی را روی نمودار تراز انرژی نشان می‌دهد که براساس مدل اتمی بور رسم شده است. چه تعداد از عبارت‌های زیر صحیح است؟ ($hc = 1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}$)

الف - اختلاف انرژی ترازهای $n=4$ و $n=2$ برابر $2/55 \text{ eV}$ است.

ب - با گذار یک الکترون از دومین حالت برانگیخته به حالت پایه، فوتونی با طول موج 121 nm تابش می‌شود.

ج - با افزایش n (عدد کوانتومی یا همان شماره مدار)، انرژی ترازها افزایش می‌یابد؛ بنابراین الکترون‌ها با جذب فوتون به مدارهای بالاتر و با تابش فوتون به مدارهای پایین‌تر می‌روند.

د - انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه و رساندن آن به حالت برانگیخته $n=\infty$ ($E_\infty = 0$)، انرژی یونش الکترون نام دارد و پیش‌بینی مدل بور با مقدار تجربی توافق خوبی دارد.



- ۱ (۱)
- ۲ (۲)
- ۳ (۳)
- ۴ (۴)

(متوسط - محاسباتی - استاندارد) (صفحه ۱۲۸ - ۱۲۰۵)

پاسخ: گزینه ۳

ابتدا انرژی ترازهای مختلف اتم هیدروژن را به دست می‌آوریم:

$$E_n = \frac{-13.6 \text{ eV}}{n^2} \Rightarrow \begin{cases} E_1 = -13.6 \text{ eV} & (\text{حالت پایه}) \\ E_2 = -3.4 \text{ eV} & (\text{اولین حالت برانگیخته}) \\ E_3 = -1.51 \text{ eV} & (\text{دومین حالت برانگیخته}) \\ E_4 = -0.85 \text{ eV} & (\text{سومین حالت برانگیخته}) \end{cases}$$

بررسی موارد:

الف

اختلاف انرژی ترازهای $n=4$ و $n=2$ برابر $2/55 \text{ eV}$ است. (✓)

ب

اختلاف انرژی دومین حالت برانگیخته ($n=3$) و حالت پایه ($n=1$) برابر 12.09 eV است؛ بنابراین طول موج فوتون برابر است با:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow 12.09 = \frac{1240}{\lambda} \Rightarrow \lambda \approx 103 \text{ nm} \quad (\times)$$

ج

با افزایش n ، انرژی ترازها افزایش می‌یابد؛ بنابراین الکترون‌ها با جذب فوتون و به دست آوردن انرژی به ترازهای بالاتر می‌روند و با تابش فوتون و از دست دادن انرژی، به مدارهای پایین‌تر بازمی‌گردند. (✓)

طبق تعریف انرژی یونش، انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه و رساندن آن به حالت برانگیخته $n = \infty$ ($E_\infty = 0$)، انرژی یونش الکترون نام دارد و پیش‌بینی مدل بور با مقدار تجربی توافق خوبی دارد. (✓)

راهنمای مسیرت

بچه‌ها خیلی مفیده که شما انرژی مربوط به ۵ تراز اول اتم هیدروژن رو حفظ باشید تا در بررسی تغییر انرژی الکترون، سرعت عمل بالایی داشته باشید.

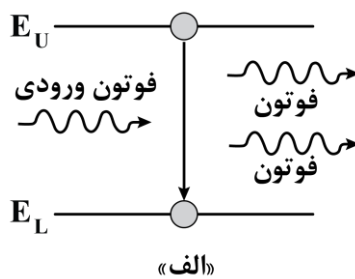
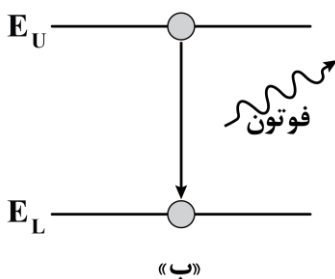
سوتی‌های پرتکرار

یکی از سوتی‌های مشهور بچه‌ها در تعیین شماره تراز انرژی از روی تراز مربوط به حالت برانگیخته است. حواستون باشه که در n امین حالت برانگیخته، الکترون در تراز $n+1$ است.



ilo

۱۴- فرایندهای «الف» و «ب» به ترتیب از راست به چپ چه نوع فرایندی هستند؟



- ۱) گسیل القایی، گسیل خودبه‌خود
- ۲) گسیل خودبه‌خود، گسیل القایی
- ۳) جذب فوتون، گسیل خودبه‌خود
- ۴) جذب فوتون، گسیل القایی

(آسان - خط‌خط - سریع - صفحه ۱۳۲ - ۱۲۰۵)

پاسخ: گزینه ۱

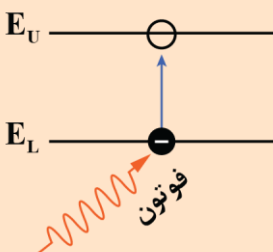
شکل «الف» گسیل القایی را نشان می‌دهد که در آن با تابش یک فوتون با بسامد مناسب به اتم برانگیخته، الکترون به حالت پایه بازمی‌گردد و یک فوتون دیگر تابش می‌شود تا در مجموع دو فوتون از مجموعه خارج شوند. شکل «ب» گسیل خودبه‌خودی را نشان می‌دهد که در آن اتم برانگیخته خودبه‌خود به حالت پایه می‌رود و یک فوتون در جهت کاتوره‌ای تابش می‌شود.

راهنمای مسیرت

حیف این سؤال نیست که نزن. من جای شما بودم یک مرور سریع روی لیزر انجام می‌دادم تا چنین سؤالات مفتی رو از دست ندم.

کپسول دوبینگ | لیزر

الف) فرایند جذب فوتون: وقتی یک الکترون از تراز انرژی پایین‌تر به تراز انرژی بالاتر جهش می‌کند، یک فوتون جذب می‌شود. انرژی فوتون جذب‌شده دقیقاً برابر با اختلاف انرژی دو تراز است.

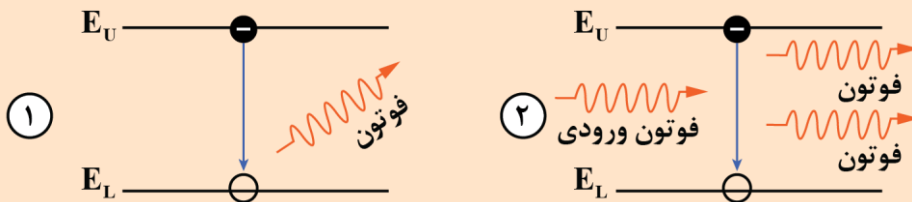


ب) فرایند گسیل فوتون: وقتی یک الکترون از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین‌تر جهش می‌کند یک فوتون گسیل می‌شود.

انواع گسیل:

۱- **گسیل خودبه‌خود:** در گسیل خودبه‌خود، فوتون در جهتی کاتوره‌های گسیل می‌شود.

۲- **گسیل القایی:** در گسیل القایی، یک فوتون ورودی، الکترون برانگیخته را تحریک یا القا می‌کند تا تراز انرژی خود را تغییر دهد و به تراز پایین‌تر برود. برای گسیل القایی، انرژی فوتون ورودی باید دقیقاً با اختلاف انرژی‌های دو تراز، یکسان باشد.



کپسول دوپینگ | ویژگی‌های گسیل القایی

۱- یک فوتون وارد و دو فوتون خارج می‌شود، در نتیجه این فرایند تعداد فوتون‌ها را افزایش می‌دهد و نور را تقویت می‌کند.

۲- فوتون گسیل‌شده در همان جهت فوتون ورودی حرکت می‌کند.

۳- فوتون گسیل‌شده با فوتون ورودی همگام یا دارای همان فاز است.

فوتون‌هایی که باریکه لیزری را ایجاد می‌کنند هم‌بسامد، هم‌جهت و هم‌فاز هستند.

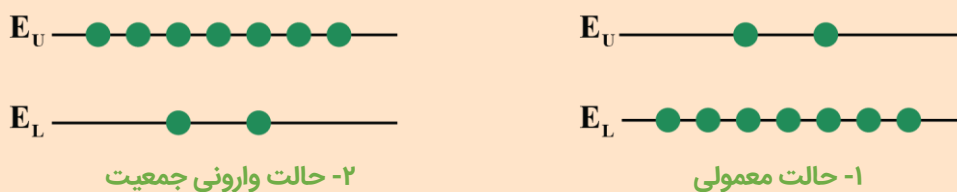
در گسیل القایی، یک چشمه انرژی خارجی مناسب باید وجود داشته باشد تا الکترون‌ها را به ترازهای انرژی بالاتر برانگیخته کند. این انرژی می‌تواند به روش‌های متعددی از جمله درخشش‌های شدید نور معمولی و یا تخلیه‌های ولتاژ بالا فراهم شود.

وارونی جمعیت الکترون‌ها در یک محیط لیزری، مربوط به وضعیتی است که تعداد الکترون‌ها در ترازهایی موسوم به **ترازهای شبه‌پایدار** نسبت به تراز پایین‌تر، بسیار بیش‌تر باشند.

در ترازهای شبه‌پایدار، الکترون‌ها مدت‌زمان بسیار طولانی‌تری نسبت به حالت برانگیخته معمولی باقی می‌مانند. این زمان طولانی‌تر، فرصت بیش‌تری برای افزایش وارونی جمعیت و در نتیجه تقویت نور لیزر فراهم می‌کند.

۱- **حالت معمولی:** به‌طور معمول و در دمای اتاق، بیش‌تر الکترون‌ها در تراز انرژی پایین‌تر قرار دارند.

۲- **حالت وارونی جمعیت:** در وضعیتی که وارونی جمعیت به‌وجود آید، بیش‌تر الکترون‌ها در تراز بالاتری در مقایسه با تراز پایین‌تر قرار دارند.



۱- حالت معمولی

۲- حالت وارونی جمعیت

کپسول دوپینگ | کاربردهای لیزر

چاپگرها، نگاشتن اطلاعات روی CD و DVDها و خواندن آن‌ها، شبکه‌های کابل نوری، اندازه‌گیری دقیق طول، دستگاه‌های جوشکاری و برشکاری (برش فلزات)، آزمایش‌های فیزیک و پژوهش‌های علمی، نجوم، سرگرمی و همچنین در حرفه پزشکی برای جراحی، برداشتن لکه‌های پوستی، چشم‌پزشکی (اصلاح دید چشم) و دندان‌پزشکی.

لیزر، نور مرئی است و اساس کار آن **گسیل القایی** می‌باشد.



۱۵- چه تعداد از عبارت‌های زیر صحیح است؟

الف - هسته‌هایی که تعداد نوترون‌های مساوی ولی تعداد پروتون‌های متفاوت دارند، ایزوتوپ نامیده می‌شوند.

ب - نسبت عدد نوترونی به عدد اتمی در هسته‌های سنگین پایدار تقریباً برابر یک است.

ج - نیروی هسته‌ای کوتاه‌برد است و تنها در فاصله‌ای کوچک‌تر از ابعاد هسته اتم اثر می‌کند.

د - به اختلاف جرم هسته اتم با مجموع جرم نوکلئون‌های تشکیل‌دهنده هسته اتم، کاستی جرم هسته گفته می‌شود.

ه - هسته اتم در واکنش‌های شیمیایی برانگیخته می‌شود.

۴ (۴)

۳ (۳)

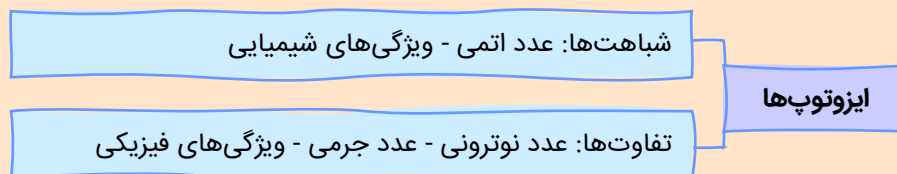
۲ (۲)

۱ (۱)

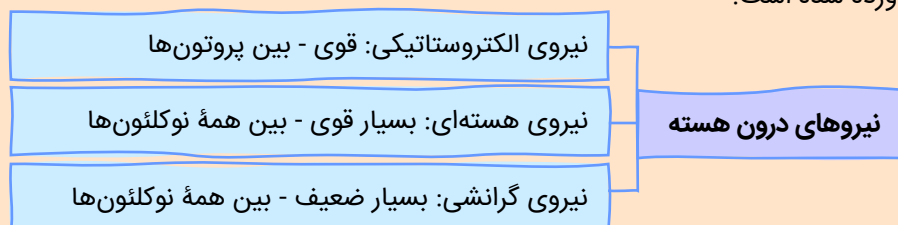
با توجه به درس‌نامه ارائه‌شده، عبارت‌های «ج» و «د» صحیح هستند.

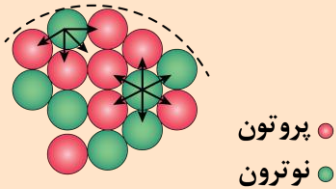
کپسول دویپینگ | حفظیات ساختار هسته

- ۱- کشف پرتوزایی طبیعی در سال ۱۸۹۶ میلادی توسط فیزیکدان فرانسوی، هانری بکرل، آغازی برای پی بردن به وجود هسته اتم بود.
- ۲- هسته اتم از نوترون‌ها و پروتون‌ها تشکیل شده است که به‌طور کلی نوکلئون نامیده می‌شوند. پس حتماً به یاد داشته باشید که کلمه نوکلئون به مجموعه پروتون‌ها و نوترون‌های درون هسته اشاره دارد.
- ۳- نوترون در سال ۱۹۳۲ میلادی توسط فیزیکدان انگلیسی، جیمز چادویک کشف شد.
- ۴- بیش‌تر جرم اتم (تقریباً همه آن) را هسته تشکیل داده است، ولی بیش‌تر حجم اتم فضای خالی است و حجم هسته در مقایسه با حجم اتم بسیار کم است.
- ۵- هسته‌هایی که تعداد پروتون مساوی ولی تعداد نوترون متفاوت دارند، خواص شیمیایی یکسانی دارند، در نتیجه این هسته‌ها در جدول تناوبی عناصر، هم‌مکان هستند و بنابراین ایزوتوپ (هم‌مکان) نامیده می‌شوند.
- ۶- ویژگی‌های هسته را تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های آن (تعداد نوکلئون‌ها) تعیین می‌کند.
- ۷- خواص شیمیایی هر اتم را تعداد پروتون‌های هسته (عدد اتمی (Z)) تعیین می‌کند، به همین دلیل ایزوتوپ‌ها که عدد اتمی یکسانی دارند، خواص شیمیایی یکسانی نیز دارند.
- ۸- ایزوتوپ‌ها تعداد نوترون متفاوتی دارند، پس عدد جرمی آن‌ها متفاوت بوده و به همین دلیل خواص فیزیکی آن‌ها متفاوت است.
- ۹- چون خواص فیزیکی ایزوتوپ‌ها متفاوت است، می‌توان آن‌ها را با روش‌های فیزیکی از هم جدا کرد، ولی با روش‌های شیمیایی نمی‌توان آن‌ها را از هم جدا کرد.
- ۱۰- شباهت‌ها و تفاوت‌های ایزوتوپ‌ها در نمودار زیر آورده شده است.



- ۱۱- جرم‌های اتمی درج‌شده در جدول تناوبی عناصر، میانگین جرم‌های اتمی ایزوتوپ‌های مختلف هر عنصر است که با توجه به درصد فراوانی آن‌ها محاسبه شده‌اند.
- ۱۲- به‌جز هیدروژن، ایزوتوپ‌های مختلف یک هسته را با نام همان هسته مشخص می‌کنند. مثلاً کربن به دو صورت پایدار و با درصد‌های فراوانی بسیار متفاوتی در طبیعت یافت می‌شود که یکی از ۶ پروتون و ۶ نوترون ($^{12}_6\text{C}$) و دیگری از ۶ پروتون و ۷ نوترون ($^{13}_6\text{C}$) تشکیل شده است و این دو هسته، ایزوتوپ‌های کربن هستند.
- ۱۳- به نیروی جاذبه‌ای که بین نوکلئون‌های هسته وجود دارد و آن‌ها را کنار هم نگه می‌دارد، نیروی هسته‌ای گفته می‌شود. مقایسه نیروهای درون هسته در نمودار زیر آورده شده است.





قسمتی از هسته و نوکلئون‌های آن که به صورت طرح‌وار نشان داده شده است. هر نوکلئون، فقط به نزدیک‌ترین نوکلئون‌های مجاورش نیروی هسته‌ای وارد می‌کند.

الف) کوتاه‌برد است و تنها در فاصله‌ای **کوچک‌تر از ابعاد هسته** اثر می‌کند.

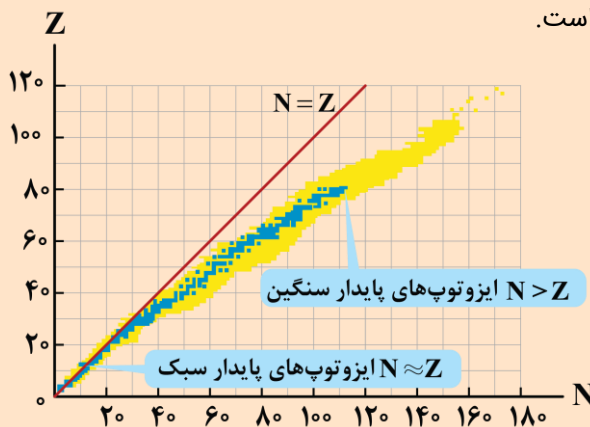
ب) مستقل از بار الکتریکی است، یعنی نیروی ربایشی هسته‌ای یکسانی بین دو پروتون، دو نوترون و یک پروتون و یک نوترون وجود دارد؛ یعنی از منظر نیروی هسته‌ای، تفاوتی بین پروتون و نوترون وجود ندارد و دلیل نام‌گذاری آن‌ها با نام عام نوکلئون نیز همین است.

۱۵- هسته پایدار با بیش‌ترین تعداد پروتون ($Z = 83$) متعلق به **بیسموت** (${}^{209}_{83}\text{Bi}$) است که نسبت N به Z آن برابر است با:

$$\frac{N}{Z} = \frac{209 - 83}{83} \approx 1.5$$

۱۶- به‌جز توریم ($Z = 90$) و **اورانیم** ($Z = 92$) که در طبیعت یافت می‌شوند، سایر هسته‌های سنگین با عدد اتمی بزرگ‌تر از $Z = 83$ ، **ناپایدارند**. این دو عنصر تنها عنصرهایی هستند که واپاشی آن‌ها چنان کند است که از هنگام تشکیل منظومه شمسی در چندین میلیارد سال پیش، فقط مقدار کمی از آن‌ها بر اثر واپاشی، به عنصرهای سبک‌تر تبدیل شده‌اند.

۱۷- نمودار عدد اتمی - عدد نوترونی برای هسته‌های مختلف مطابق شکل زیر است.



نمودار تغییرات Z بر حسب N برای هسته‌های پایدار و پرتوزا. هر نقطه آبی رنگ نشان‌دهنده یک هسته پایدار است. نقاط زرد رنگ هسته‌های پرتوزای شناخته شده را نشان می‌دهد.

با توجه به نمودار مشخص است که:

الف) نسبت تعداد نوترون به تعداد پروتون ($\frac{N}{Z}$) برای هسته‌های پایدار مختلف، **متفاوت** است. در **ایزوتوپ‌های پایدار سبک** $\frac{N}{Z} \approx 1$ و در

ایزوتوپ‌های پایدار سنگین $\frac{N}{Z} > 1$ است؛ یعنی در ایزوتوپ‌های پایدار سنگین، تعداد نوترون‌ها از تعداد پروتون‌ها **بیش‌تر** است.

ب) اگر خطی موازی محور N رسم کنیم، این خط چند نقطه آبی رنگ و زرد رنگ را قطع می‌کند که این نقاط ایزوتوپ‌های عنصر را نشان می‌دهند.

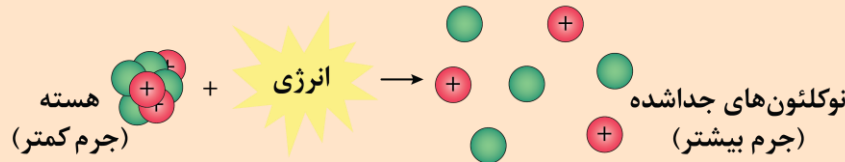
۱۸- انرژی لازم برای جدا کردن نوکلئون‌های یک هسته را **انرژی بستگی هسته‌ای** می‌نامند.

۱۹- اندازه‌گیری‌های دقیق نشان می‌دهد که جرم هسته از مجموع جرم پروتون‌ها و نوترون‌های تشکیل‌دهنده آن اندکی کمتر است. این اختلاف جرم را **کاستی جرم هسته** می‌گویند.

۲۰- اگر کاستی جرم هسته را مطابق رابطه معروف اینشتین ($E = mc^2$)، در مربع تندی نور (c^2) ضرب کنیم، انرژی بستگی هسته‌ای به‌دست می‌آید.

۲۱- توجه کنید که هرچند کاستی جرم هسته، بسیار ناچیز است، چون در c^2 که عدد بسیار بزرگی است ($c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$) ضرب می‌شود، این کاستی جرم اندک، معادل انرژی قابل ملاحظه‌ای است.

۲۲- انرژی بستگی هسته‌ای، انرژی‌ای نیست که در هسته وجود داشته باشد. بلکه این انرژی معادل با اختلاف انرژی جرمی میان هسته و نوکلئون‌های مجزای آن است. اگر در عمل می‌توانستیم یک هسته را به نوکلئون‌های آن جدا کنیم، در این فرایند جداسازی، باید این انرژی به نوکلئون‌های سازنده هسته انتقال می‌یافت. به شکل زیر توجه کنید:



انرژی‌ای معادل انرژی بستگی هسته‌ای باید تأمین شود تا هسته به نوکلئون‌های تشکیل دهنده آن تقسیم شود.

۲۳- انرژی نوکلئون‌های وابسته به هسته مانند انرژی الکترون‌های وابسته به اتم، کوانتیده‌اند و نوکلئون‌های درون هسته نمی‌توانند هر انرژی دلخواهی را اختیار کنند.

۲۴- نوکلئون‌ها نیز مانند الکترون‌ها، می‌توانند با جذب انرژی به ترازهای انرژی بالاتر بروند و هسته برانگیخته شود.

۲۵- هسته برانگیخته با گسیل فوتون به تراز پایه برمی‌گردد که انرژی این فوتون برابر با اختلاف انرژی بین تراز برانگیخته و تراز پایه است. هسته برانگیخته را با نماد ${}_Z^AX^*$ مشخص می‌کنند.

۲۶- اختلاف بین ترازهای انرژی نوکلئون‌ها در هسته از مرتبه keV تا مرتبه MeV است، درحالی‌که اختلاف بین ترازهای انرژی الکترون‌ها در اتم از مرتبه eV است؛ بنابراین هسته‌ها در واکنش‌های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند.

۲۷- فوتون‌های حاصل از گذار الکترون‌ها بین ترازهای انرژی اتم دارای انرژی در حدود eV هستند، به همین دلیل در محدوده فرابنفش، مرئی و فروسرخ قرار می‌گیرند. درحالی‌که فوتون‌های حاصل از گذار نوکلئون‌ها بین ترازهای انرژی هسته دارای انرژی در حدود keV یا MeV هستند، به همین دلیل در محدوده امواج گاما قرار می‌گیرند.

۲۸-

۱- اختلاف بین ترازهای انرژی نوکلئون‌ها در هسته در حدود keV یا MeV است، درحالی‌که برای الکترون‌ها در حدود eV است.

تفاوت‌های ترازهای انرژی الکترون‌ها و نوکلئون‌ها

۲- اتم برانگیخته با گسیل امواج فرابنفش، مرئی و فروسرخ به حالت پایه بازمی‌گردد، ولی هسته برانگیخته با تابش پرتوی گاما به حالت پایه برمی‌گردد.



۱۶- کدام یک از باریکه پرتوهای ناشی از واپاشی هسته‌ای، می‌تواند توسط میدان الکتریکی منحرف شود؟

(۱) گاما (۲) ایکس (۳) آلفا (۴) نوترون

(آسان - خطبه‌خط - سریع ۵ - صفحه ۱۴۲ - ۱۲۰۶)

پاسخ: گزینه ۳

پرتوهای گاما و ایکس از نوع امواج الکترومغناطیسی هستند و نوترون هم فاقد بار الکتریکی است؛ بنابراین تنها ذره باردار که میدان الکتریکی می‌تواند بر آن اثر کند، ذره آلفا با بار مثبت است.



در شکل زیر، یک ماده پرتوزا در محفظه‌ای قرار گرفته است و سه پرتوی آلفا (α)، بتای منفی (β^-) و گاما (γ) را تابش می‌کند. به نکات زیر توجه کنید:

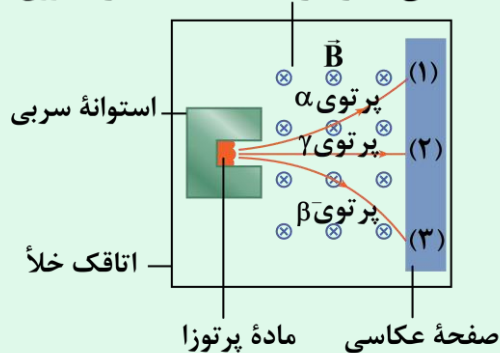
۱- پرتوی γ از جنس امواج الکترومغناطیسی است و بار الکتریکی ندارد؛ بنابراین در میدان مغناطیسی منحرف نمی‌شود و در مسیر مستقیم حرکت می‌کند.

۲- پرتوی α از جنس هسته اتم هلیوم است و دارای بار مثبت می‌باشد؛ بنابراین طبق قاعده دست راست، در میدان مغناطیسی نشان داده شده به طرف بالا منحرف می‌شود.

۳- پرتوی β^- از جنس الکترون است و دارای بار منفی می‌باشد؛ بنابراین در میدان مغناطیسی نشان داده شده به سمت پایین منحرف می‌شود.

۴- جرم ذرات α بسیار بیشتر از جرم ذرات β^- است، به همین دلیل میزان انحراف α کم‌تر از انحراف β^- می‌باشد.

میدان مغناطیسی (عمود بر صفحه کاغذ به طرف درون)



۱۷- عنصر X براساس معادله $X \rightarrow {}^4_7\text{N} + 2\beta^-$ واپاشیده می‌شود. این عنصر دارای چند نوترون است؟

۹ (۴)

۷ (۳)

۵ (۲)

۳ (۱)

(آسان - محاسباتی - سریع - صفحه ۱۴۴ - ۱۲۰۶)

پاسخ: گزینه ۴

معادله تابش بتا منفی به صورت ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + \beta^-$ است. در نتیجه برای تابش دو عدد بتا منفی داریم:

$${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+2}^AY + 2\beta^-$$

با مقایسه رابطه بالا با معادله داده شده در سؤال یعنی $X \rightarrow {}^4_7\text{N} + 2\beta^-$ می‌توانیم عنصر X را به صورت ${}^{14}_9\text{X}$ بنویسیم. در نتیجه تعداد نوترون‌های این عنصر ۹ عدد است.

سوتی‌های پرتکرار

اگر خواست به خواسته سؤال نباشه و به اشتباه، تعداد پروتون‌ها رو ملاک قرار بدی در دام گزینه (۲) می‌افتی.

کپسول دویپینگ | واپاشی

واپاشی α

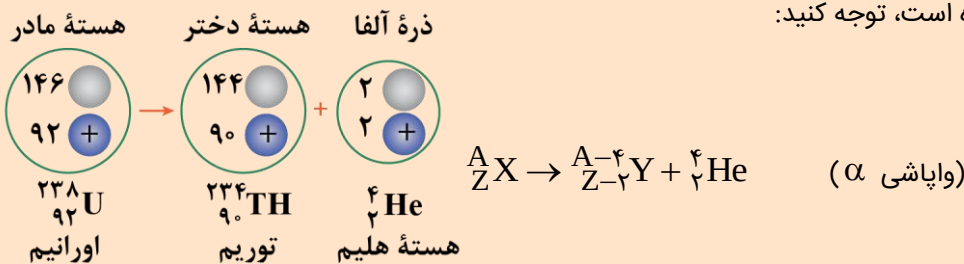
۱- این واپاشی، در هسته‌های سنگین روی می‌دهد.

۲- پرتوهای α ذرات باردار مثبت از جنس هسته اتم هلیم (${}^4_2\text{He}$) هستند و از دو پروتون و دو نوترون تشکیل شده‌اند.

۳- برد پرتوهای α کوتاه است. این ذرات پس از طی مسافتی کوتاه در حدود ۱cm تا ۲cm در هوا یا هنگام عبور از لایه‌ای نازک از مواد، جذب می‌شوند. پرتوهای α کمترین نفوذ را دارند و با ورقه نازک سربی با ضخامت ناچیز (۰/۰۱mm) متوقف می‌شوند.

۴- اگر ذره‌های α از راه تنفس یا دستگاه گوارش وارد بدن شوند، باعث آسیب‌های شدید به بدن خواهند شد.

به معادله این واپاشی و مثالی که مطرح شده است، توجه کنید:



واپاشی β^-

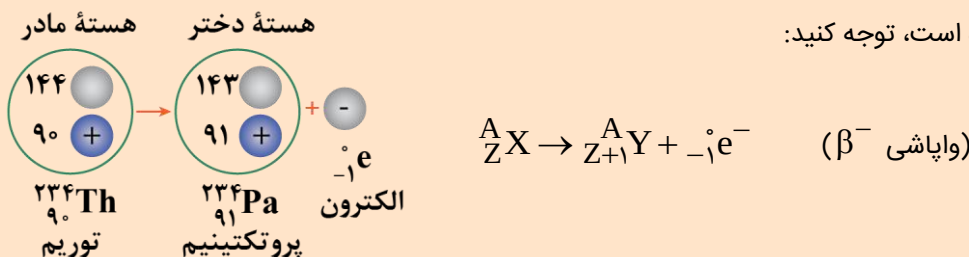
۱- این واپاشی، متداول‌ترین نوع واپاشی در هسته‌ها است.

۲- پرتوهای β^- در واقع همان الکترون‌ها هستند.

۳- پرتوهای β^- مسافت خیلی بیش‌تری را نسبت به پرتوهای α در سرب نفوذ می‌کنند. تقریباً پرتوهای β^- می‌توانند مسافتی در حدود ۰/۱mm در سرب نفوذ کنند.

۴- الکترون گسیل‌شده در این واپاشی یکی از الکترون‌های مداری اتم نیست؛ این الکترون وقتی به وجود می‌آید که نوترونی درون هسته، به یک پروتون و یک الکترون تبدیل شود.

به معادله این واپاشی و مثالی که مطرح شده است، توجه کنید:



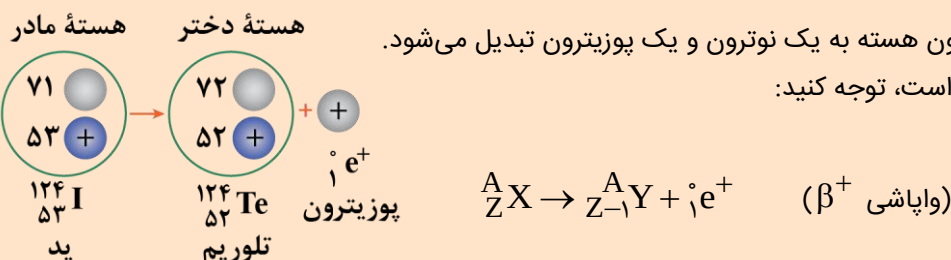
واپاشی β^+

۱- در این واپاشی، ذره گسیل‌شده توسط هسته، جرم یکسانی با الکترون دارد ولی به جای بار $-e$ دارای بار الکتریکی $+e$ است. به این الکترون مثبت، پوزیترون می‌گویند و با نماد β^+ یا e^+ نمایش داده می‌شود.

۲- مسافتی که پرتوهای β^+ در سرب نفوذ می‌کنند، مانند β^- در حدود ۰/۱mm است.

۳- هنگام واپاشی β^+ یکی از پروتون‌های درون هسته به یک نوترون و یک پوزیترون تبدیل می‌شود.

به معادله این واپاشی و مثالی که مطرح شده است، توجه کنید:

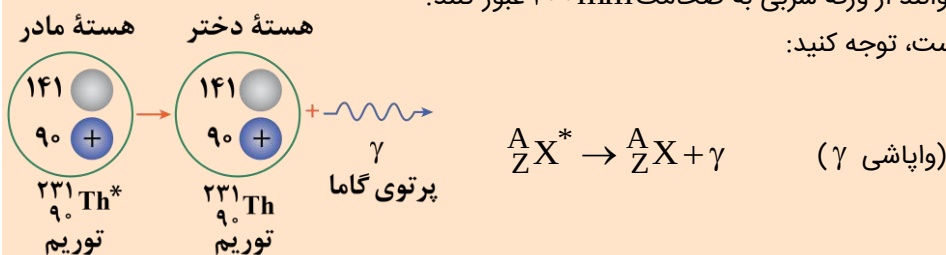


واپاشی γ

۱- اغلب هسته‌ها پس از واپاشی آلفا یا بتا، در حالت برانگیخته قرار می‌گیرند و با گسیل پرتوی گاما به حالت پایه می‌رسند.

۲- پرتوهای گاما از جنس امواج الکترومغناطیسی هستند و دارای بار الکتریکی و جرم نمی‌باشند و از فوتون‌های پراثری تشکیل شده‌اند.

۳- پرتوهای گاما بیش‌ترین نفوذ را دارند و می‌توانند از ورقه سربی به ضخامت ۱۰۰ mm عبور کنند. به معادله این واپاشی و مثالی که مطرح شده است، توجه کنید:



نام واپاشی	ذره یا پرتوی تابش شده	هسته مادر	هسته دختر	تغییر مکان در جدول تناوبی عناصرها	معادله واکنش	انحراف در میدان مغناطیسی	نفوذپذیری در سرب	اتفاقات واکنش
آلفا	^4_2He	$^A_Z X$	$^{A-4}_{Z-2} Y$	دو خانه به عقب	$^A_Z X \rightarrow ^{A-4}_{Z-2} Y + \alpha$	$\alpha^+ \begin{matrix} x & x \\ x & x \end{matrix}$	۰/۰۱ mm	هسته دو پروتون و دو نوترون از دست می‌دهد
بتا منفی	$^0_{-1}e^-$	$^A_Z X$	$^A_{Z+1} Y$	یک خانه به جلو	$^A_Z X \rightarrow ^A_{Z+1} Y + \beta^-$	$\beta^- \begin{matrix} x & x \\ x & x \end{matrix}$	۰/۱ mm	یک نوترون به یک پروتون و یک الکترون تبدیل می‌شود و عدد اتمی هسته یک واحد افزایش می‌یابد.
بتا مثبت	$^0_{+1}e^+$	$^A_Z X$	$^A_{Z-1} Y$	یک خانه به عقب	$^A_Z X \rightarrow ^A_{Z-1} Y + \beta^+$	$\beta^+ \begin{matrix} x & x \\ x & x \end{matrix}$	۰/۱ mm	یک پروتون به یک نوترون و یک پوزیترون تبدیل می‌شود و عدد اتمی هسته یک واحد کاهش می‌یابد.



۱۸- عنصر پرتوزای $^{242}_{94}\text{Pu}$ از طریق گسیل ذرات α ، β^- ، α ، و β^- واپاشی انجام می‌دهد. پس از وقوع تمام این واپاشی‌ها، اختلاف عدد جرمی هسته نهایی و هسته اولیه، چند برابر اختلاف عدد نوترونی هسته نهایی و هسته اولیه می‌شود؟

(۱) $\frac{5}{3}$ (۲) $\frac{3}{2}$ (۳) $\frac{5}{2}$ (۴) $\frac{4}{3}$

(متوسط - محاسباتی - زمان‌بَر ۱ - صفحه ۱۴۴ - ۱۲۰۶)

پاسخ: گزینه ۲

واپاشی عنصر پرتوزای $^{242}_{94}\text{Pu}$ با گسیل سه ذره α و دو ذره β^- انجام شده است؛ بنابراین با نوشتن معادله واپاشی داریم:

$$^{242}_{94}\text{Pu} \rightarrow ^{A'}_Z X + 3^4_2\alpha + 2^0_{-1}\beta^-$$

موازنه عدد جرمی: $242 = A' + 12 + 0 \Rightarrow A' = 230$

$$Z' = 90 \Rightarrow Z' + 6 - 2 = 94 \text{ : موازنه عدد اتمی}$$

$$N' = A' - Z' = 230 - 90 = 140 \text{ : تعداد نوترون‌های هسته دختر}$$

$$N = A - Z = 242 - 94 = 148 \text{ : تعداد نوترون‌های هسته مادر}$$

$$\Rightarrow \frac{\text{اختلاف عدد جرمی هسته نهایی و هسته اولیه}}{\text{اختلاف عدد نوترونی هسته نهایی و هسته اولیه}} = \frac{242 - 230}{148 - 140} = \frac{12}{8} = \frac{3}{2}$$

راهنمای مسیرت

این سؤال دیگه پروپیمون‌ترین و جامع‌ترین سؤالی هست که از پرتوزایی طبیعی طرح شده و با بررسی این سؤال، خیالت از یک تست کنکور راحت می‌شه.



۱۹- در یک واپاشی هسته‌ای، تعداد ذرات بتای تابش شده (مثبت یا منفی)، دو برابر تعداد ذرات آلفای تابشی است. در مورد هسته دختر، کدام گزینه همواره صحیح است؟

- (۱) با هسته مادر ایزوتوپ است.
- (۲) همواره تعداد نوکلئون‌های کم‌تری نسبت به هسته مادر دارد.
- (۳) بار الکتریکی آن با هسته مادر یکی است.
- (۴) همان هسته مادر است که برانگیخته شده است.

(متوسط - استدلالی - زمان‌بر ۵ - صفحه ۱۴۴ - ۱۲۰۶)

پاسخ: گزینه ۲

چون در صورت سؤال صحبتی راجع به نوع واپاشی بتا نشده است، سه حالت داریم:

حالت اول

ابتدا فرض کنیم هر دو ذره بتا از نوع بتای منفی است. در این حالت در طی واپاشی آلفا با جدا شدن هر ذره آلفا، دو پروتون از هسته مادر کم می‌شود. در نتیجه بار هسته دو واحد کم‌تر می‌شود. در ادامه با تابش ۲ ذره بتای منفی، با تبدیل ۲ نوترون در هسته به دو پروتون و دو ذره بتا، مجدداً ۲ پروتون به هسته اضافه شده و عنصر جدید تولید می‌شود؛ بنابراین تعداد پروتون‌های هسته مادر با هسته عنصر پایانی در این پرتوزایی یکسان است.

حالت دوم

حال فرض کنیم هر دو ذره بتا از نوع بتای مثبت است. در این حالت در طی واپاشی آلفا با جدا شدن هر ذره آلفا، دو پروتون از هسته مادر کم می‌شود. در نتیجه بار هسته دو واحد کم‌تر می‌شود. در ادامه با تابش ۲ ذره بتای مثبت، با تبدیل ۲ پروتون در هسته به دو نوترون و دو ذره بتا مثبت، مجدداً ۲ پروتون از هسته کم می‌شود و عنصر جدید تولید می‌شود؛ بنابراین تعداد پروتون‌های هسته مادر بیش‌تر از عنصر پایانی در این پرتوزایی است.

حالت سوم

در پایان فرض می‌کنیم یک ذره بتای مثبت و یک ذره بتای منفی تولید شود. در این حالت هم در طی واپاشی آلفا با جدا شدن هر ذره آلفا، دو پروتون از هسته مادر کم می‌شود. در نتیجه بار هسته دو واحد کم‌تر می‌شود. در ادامه با تابش یک ذره بتای مثبت، یک پروتون از هسته کم می‌شود و با تابش یک ذره بتای منفی یک پروتون به هسته اضافه می‌شود و اثر تغییر بار هسته را خنثی می‌کند؛ بنابراین تعداد بارهای مثبت هسته مادر بیش‌تر از عنصر پایانی در این پرتوزایی است.

تنها موردی که در هر دو نوع واپاشی بتا یکسان است، عدم تغییر عدد جرمی است؛ بنابراین چون با واپاشی آلفا عدد جرمی کاهش می‌یابد، در نتیجه همواره هسته دختر تعداد نوکلئون کم‌تری نسبت به هسته مادر دارد.

بچه‌ها حالت‌های دیگه‌ای رو هم می‌شه بحث کرد که به‌عنوان تمرین خودتون باشه. ولی باز هم به گزینه (۲) می‌رسید.



۲۰- نیمه‌عمر بیسموت ۲۱۲ حدود ۶۰ دقیقه است. پس از گذشت پنج ساعت، چند درصد از ماده اولیه، در نمونه‌ای از این بیسموت، باقی می‌ماند؟

۹۶/۸۷۵ (۴)

۹۳/۷۵ (۳)

۶/۲۵ (۲)

۳/۱۲۵ (۱)

(آسان - محاسباتی - سریع) - صفحه ۱۴۷ - ۱۲۰۶

پاسخ: گزینه ۱

مدت ۵ ساعت معادل گذشت ۵ نیمه‌عمر است؛ بنابراین داریم:

$$N = \frac{N_0}{2^n} = \frac{N_0}{2^5} = \frac{N_0}{32} = \frac{3/125}{100} N_0 \Rightarrow \frac{N}{N_0} = 3/125\%$$

بنابراین ۳/۱۲۵ درصد از ماده اولیه در نمونه باقی می‌ماند.

سوئی‌های پرتکرار

اگر به اشتباه، درصد ماده واپاشیده شده را حساب کنید، در دام گزینه (۴) می‌افتین.

کیسول دوبینگ | نیمه‌عمر

نیمه‌عمر، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه به نصف برسند و آن را با $T_{\frac{1}{2}}$ نشان می‌دهند.

اگر تعداد هسته‌های اولیه در یک نمونه N_0 باشد، بعد از گذشت زمان n نیمه‌عمر ($n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$) تعداد هسته‌های باقی‌مانده برابر با

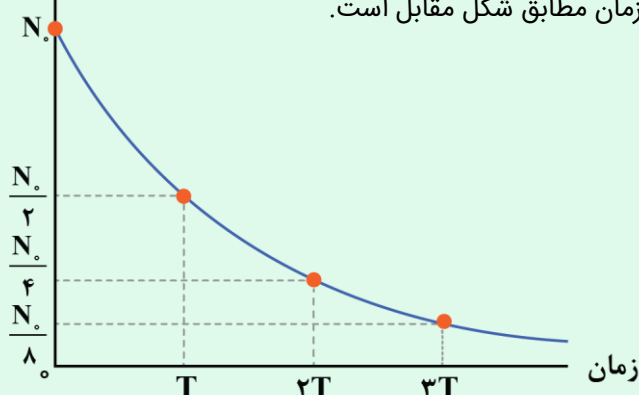
زمان	۰	$T_{\frac{1}{2}}$	$2T_{\frac{1}{2}}$	$3T_{\frac{1}{2}}$	$4T_{\frac{1}{2}}$	...
N	N_0	$\frac{N_0}{2}$	$\frac{N_0}{4}$	$\frac{N_0}{8}$	$\frac{N_0}{16}$	...

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \text{ است.}$$

نکته

تعداد هسته‌های باقی‌مانده

۱- نمودار تعداد هسته‌های فعال باقی‌مانده یک ماده پرتوزا برحسب زمان مطابق شکل مقابل است.



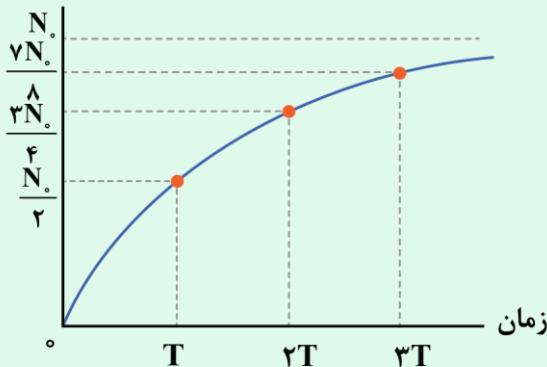
اختلاف تعداد هسته‌های مادر اولیه در نمونه پرتوزا و هسته‌های پرتوزای باقی‌مانده برابر تعداد هسته‌های واپاشی شده است.

$$N_{\text{واپاشیده}} = N_0 - N_{\text{باقی‌مانده پرتوزای}}$$

$$\Rightarrow N_{\text{واپاشیده}} = N_0 - \frac{N_0}{\frac{t}{T_1}} = N_0 \left(1 - \frac{1}{\frac{t}{T_1}}\right)$$

۲- نمودار تعداد هسته‌های واپاشی‌شده بر حسب زمان مطابق شکل زیر است. دقت کنید که در هر لحظه مجموع تعداد هسته‌های واپاشی‌شده و هسته‌های باقی‌مانده برابر تعداد هسته‌های اولیه است.

تعداد هسته‌های واپاشی‌شده



• • i • •

۲۱- در زمان $t=0$ مقداری از یک ماده رادیواکتیو در اختیار داریم. در زمان $t=t_0$ مقدار $256g$ از آن باقی می‌ماند و در زمان $t=4t_0$ مقدار $4g$ از آن باقی می‌ماند. جرم اولیه ماده چند گرم بوده است؟

۴۰۹۶ (۴)

۲۰۴۸ (۳)

۱۰۲۴ (۲)

۵۱۲ (۱)

(متوسط - محاسباتی - استاندارد) (صفحه ۱۴۷ - ۱۲۰۶)

پاسخ: گزینه ۲

گام اول

به کمک اطلاعات مربوط به دو زمان $t=t_0$ و $t=4t_0$ داریم:

$$m = \frac{m_0}{\frac{t}{T}} \Rightarrow \begin{cases} 256 = \frac{m_0}{\frac{t_0}{2T}} & (1) \\ 4 = \frac{m_0}{\frac{4t_0}{2T}} & (2) \end{cases}$$

با تقسیم رابطه (۱) بر رابطه (۲)، داریم:

$$\frac{256}{4} = \frac{\frac{m_0}{\frac{t_0}{2T}}}{\frac{m_0}{\frac{4t_0}{2T}}} \Rightarrow 2^6 = \frac{\frac{4t_0}{2T}}{\frac{t_0}{2T}} \Rightarrow 2^6 = \frac{4t_0}{t_0} \Rightarrow \frac{3t_0}{T} = 6 \Rightarrow t_0 = 2T$$

با جایگذاری $t_0 = 2T$ در رابطه (۱)، جرم اولیه را محاسبه می‌کنیم.

$$256 = \frac{m_0}{\frac{t_0}{2T}} \xrightarrow{t_0=2T} 256 = \frac{m_0}{2^2} \Rightarrow m_0 = 1024g$$

راهنمای ز رنگ‌بازی

از t_0 تا $4t_0$ ، زمان سپری‌شده می‌شه $3t_0$ و داریم:

$$\frac{4}{256} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3t_0}{T}} \Rightarrow \frac{t_0}{T} = 2 \xrightarrow{\text{در زمان } t_0} 256 = m_0 \left(\frac{1}{2}\right)^2$$

$$\Rightarrow m_0 = 4 \times 256 = 1024g$$

راهنمای مسیرت

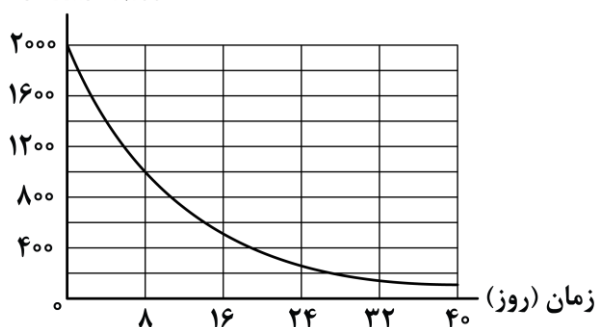
در برخی از سؤالات مربوط به نیمه‌عمر، مثل همین سؤال، باید روند درست حل سؤال رو بلد باشی تا به راحتی بتونی از پیش بریای. اگر نتونستی به این سؤال جواب بدی، بدون که سؤال سخت نبوده، بلکه روند حلت مشکل داشته که اتفاقاً اگر پاسخ رو به دقت بخونی، قول می‌دم مشکل‌ت رفع بشه.



۲۲- نمودار واپاشی ایزوتوپ $^{131}_{53}\text{I}$ به شکل زیر است. پس از گذشت چند روز از لحظه $t=0$ ، ۱۸۷۵ هسته از هسته‌های اولیه

واپاشیده می‌شود؟

تعداد هسته‌ها



۳۰ (۱)

۳۲ (۲)

۳۶ (۳)

۴۰ (۴)

(متوسط - استدلالی - استاندارد) (صفحه ۱۴۷ - ۱۲۰۶)

پاسخ: گزینه ۲

با توجه به نمودار، در مدت ۸ روز، تعداد هسته‌های فعال از ۲۰۰۰ به ۱۰۰۰ رسیده است؛ بنابراین نیمه‌عمر این ماده برابر $T = 8 \text{ day}$ است. برای آن که ۱۸۷۵ هسته دچار واپاشی شوند، داریم:

$$N_{\text{باقی مانده}} = N_0 - N_{\text{واپاشی شده}} = 2000 - 1875 = 125$$

$$N_{\text{باقی مانده}} = \frac{N_0}{2^n} \Rightarrow 125 = \frac{2000}{2^n} \Rightarrow 2^n = 16 \Rightarrow n = 4$$

$$n = \frac{t}{T} \Rightarrow 4 = \frac{t}{8} \Rightarrow t = 32 \text{ day}$$



۲۳- در واکنش شکافت هسته‌ای اورانیم، انرژی آزاد می‌شود؛ زیرا:

- (۱) جرم محصولات از جرم هسته مرکب بیش‌تر است.
- (۲) جرم محصولات از جرم هسته مرکب کم‌تر است.
- (۳) نوترون جذب‌شده توسط اورانیم ۲۳۵، انرژی جنبشی زیادی دارد.
- (۴) نوترون جذب‌شده توسط اورانیم ۲۳۵، انرژی جنبشی کمی دارد.

پاسخ: گزینه ۲

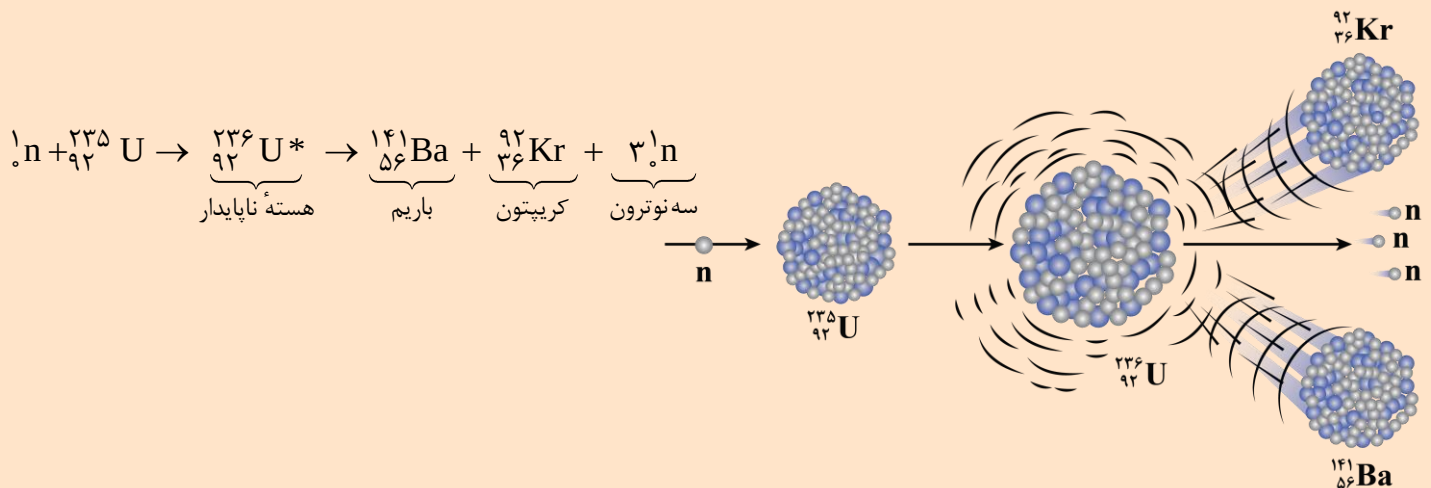
(آسان - خط‌به‌خط - سریع - صفحه ۱۴۸ - ۱۲۰۶)

در واکنش‌های شکافت هسته‌ای اورانیم، جرم محصولات شکافت، کم‌تر از جرم هسته مرکب است. این اختلاف جرم بنابر رابطه $E = mc^2$ ، سبب آزاد شدن انرژی زیادی می‌شود.

کپسول دوبینگ | شکافت هسته‌ای

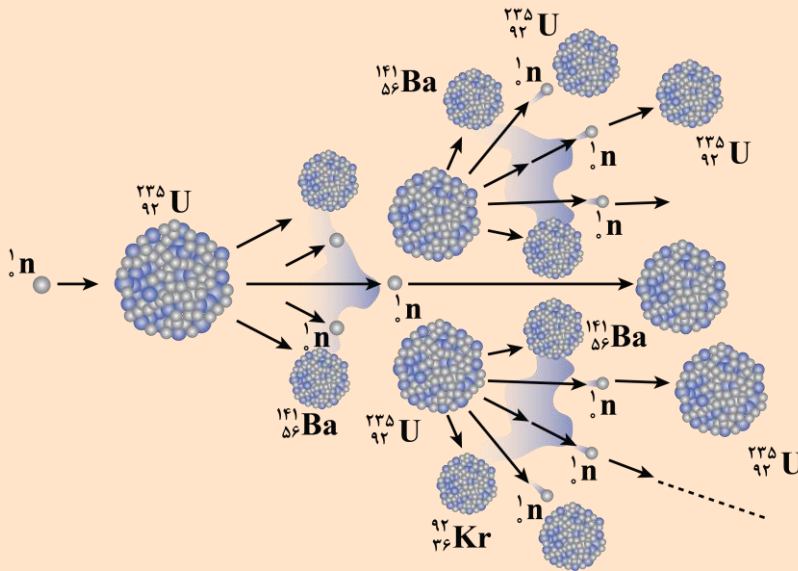
فرایند تقسیم شدن یک هسته سنگین به دو هسته با جرم کم‌تر، شکافت هسته‌ای نامیده می‌شود.

رایج‌ترین هسته که مورد شکافت قرار می‌گیرد $^{235}_{92}\text{U}$ است. هنگامی که یک نوترون کند توسط هسته $^{235}_{92}\text{U}$ جذب می‌شود، هسته مرکب $^{236}_{92}\text{U}^*$ ایجاد می‌شود. این هسته ناپایدار است و شروع به ارتعاش و تغییر شکل می‌کند. این ارتعاش تا وقتی ادامه پیدا می‌کند که نیروی جاذبه هسته‌ای دیگر نتواند با نیروی دافعه الکتروستاتیکی بین پروتون‌های هسته مقابله کند. در این حالت، هسته اورانیم به هسته‌های سبک‌تر واپاشیده شده و بین ۲ تا ۵ نوترون تند ایجاد می‌شود. دقت کنید که اگر اورانیم به هسته‌های سبک‌تر باریوم و کریپتون تجزیه شود، همواره سه نوترون مطابق واکنش زیر گسیل می‌شود:



کپسول دوبینگ | واکنش زنجیری

همان‌طور که مشاهده کردید اگر اورانیم به باریم و کریپتون تجزیه شود، سه نوترون ایجاد می‌شود. این نوترون‌ها بعد از کند شدن می‌توانند توسط سه هسته اورانیم $^{235}_{92}\text{U}$ دیگر جذب شده و دوباره شکافت‌ها ادامه پیدا کنند. به این واکنش که در آن هر شکافت منجر به ایجاد سه شکافت دیگر می‌شود، واکنش زنجیری می‌گویند. در شکل زیر، واکنش زنجیری اورانیم مشخص شده است.



نکته

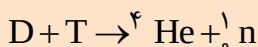
به‌طور کلی در اورانیم طبیعی واکنش زنجیری رخ نمی‌دهد، زیرا اورانیم دارای دو ایزوتوپ ^{235}U و ^{238}U است. اورانیم ^{238}U تمایلی به جذب نوترون و شکافته شدن ندارد و از طرف دیگر درصد فراوانی ^{235}U تقریباً ۰/۷ درصد و درصد فراوانی ^{238}U ، تقریباً ۹۹/۳ درصد است؛ بنابراین واکنش زنجیری به‌طور طبیعی در معادن اورانیم رخ نمی‌دهد.

کپسول دوبینگ | غنی‌سازی اورانیم

به فرایند افزایش درصد یا غلظت ایزوتوپ ^{235}U اورانیم در یک نمونه، غنی‌سازی گفته می‌شود.

کپسول دوبینگ | گداخت (همجوشی) هسته‌ای

در فرایند گداخت هسته‌ای دو هسته سبک با یکدیگر ترکیب می‌شوند و هسته سنگین‌تری به‌وجود می‌آید. به‌عنوان مثال در واکنش زیر با همجوشی هسته‌ای دو ایزوتوپ هیدروژن یعنی دوتریم و تریتیم، هسته هلیوم و یک نوترون پرنرژی تولید می‌شود.



نکته

۱- در واکنش گداخت، مجموع جرم محصولات فرایند، کمتر از مجموع جرم هسته‌های اولیه است. این اختلاف جرم با توجه به رابطه اینشتین باعث آزاد شدن مقدار بسیار زیادی انرژی می‌شود.

۲- برای ایجاد گداخت باید هسته‌های سبک‌تر به قدر کافی به یکدیگر نزدیک شوند تا نیروی کوتاه‌برد هسته‌ای بتواند آن‌ها را کنار هم نگه دارد و برای این منظور باید دما بسیار بالا (در حدود ده‌ها میلیون درجه سانتی‌گراد) باشد تا هسته‌ها با انرژی جنبشی زیادی به یکدیگر برخورد کنند. دمایی از این مرتبه در ستارگان و خورشید وجود دارد؛ بنابراین در مرکز خورشید و ستارگان که دما و فشار بسیار بالا است، گداخت می‌تواند روی دهد.



۲۴- در کدام یک از واکنش‌های هسته‌ای، دو هسته سبک باهم ترکیب می‌شوند تا هسته‌ای سنگین‌تر به‌وجود آورند و این واکنش منشأ تولید انرژی در کجاست؟

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| (۱) شکافت هسته‌ای، ستارگان | (۲) گداخت هسته‌ای، ستارگان |
| (۳) شکافت هسته‌ای، راکتور PWR | (۴) گداخت هسته‌ای، راکتور PWR |

در فرایند شکافت، یک هسته سنگین به دو هسته با جرم کم‌تر تقسیم می‌شود، اما در فرایند **گداخت**، دو هسته سبک باهم ترکیب می‌شوند و هسته سنگین‌تری به وجود می‌آید.
گداخت هسته‌ای منشأ تولید انرژی در **ستارگان** است.



۲۵- حدود ۰/۷ درصد اورانیوم موجود در سنگ معدن طبیعی اورانیوم از ایزوتوپ ۲۳۵ تشکیل شده است. در هر واکنش شکافت حدود 200 MeV انرژی آزاد می‌شود. فرض کنید تمامی ایزوتوپ اورانیوم ۲۳۵ موجود در یک کیلوگرم از این اورانیوم بتواند بر اثر شکافت، انرژی خود را آزاد کند. این انرژی معادل انرژی حاصل از سوختن تقریباً چند تن زغال سنگ است؟
($e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ، جرم هر نوکلئون برابر $1/67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ و از سوختن هر یک کیلوگرم زغال سنگ، 30 MJ انرژی آزاد می‌شود.)

۱۷ (۴)

۷ (۳)

۱۹ (۲)

۹ (۱)

هر هسته اورانیوم از ۲۳۵ تا نوکلئون تشکیل شده است؛ در نتیجه جرم هر هسته اورانیوم ۲۳۵ برابر است با:

$$m = 1/67 \times 10^{-27} \times 235 \approx 3/9 \times 10^{-25} \text{ kg}$$

جرم هسته‌های اورانیوم ۲۳۵ موجود در یک کیلوگرم سنگ معدن برابر است با:

$$m' = 0/7 \times 10^{-2} \times 1 = 7 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

تعداد هسته‌های اورانیوم ۲۳۵ موجود در یک کیلوگرم سنگ معدن برابر است با:

$$n = \frac{m'}{m} = \frac{7 \times 10^{-3}}{3/9 \times 10^{-25}} \approx 1/8 \times 10^{22}$$

انرژی آزاد شده بر اثر شکافت این مقدار هسته (E') برابر است با:

$$E' = nE \Rightarrow E' = 1/8 \times 10^{22} \times 200 \times 10^6 \text{ eV} = 3/6 \times 10^{30} \text{ eV}$$

$$E' = 3/6 \times 10^{30} \text{ eV} \times \frac{1/6 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} \approx 5/7 \times 10^{11} \text{ J}$$

با سوختن هر کیلوگرم زغال سنگ، حدود $E'' = 30 \text{ MJ}$ انرژی گرمایی آزاد می‌شود، در نتیجه داریم:

$$E' = mE'' \Rightarrow 5/7 \times 10^{11} = m \times 30 \times 10^6 \Rightarrow m = 1/9 \times 10^4 \text{ kg}$$

حدود ۱۹ تن زغال سنگ باید بسوزد تا انرژی‌ای معادل انرژی حاصل از شکافت اورانیوم‌های ۲۳۵ داخل سنگ معدن طبیعی آزاد شود. این نتیجه، اهمیت غنی‌سازی اورانیوم را نشان می‌دهد که برای نیروگاه‌های هسته‌ای درصد اورانیوم ۲۳۵ را در میله‌های سوخت به حدود ۳ تا ۵ درصد می‌رسانند.

