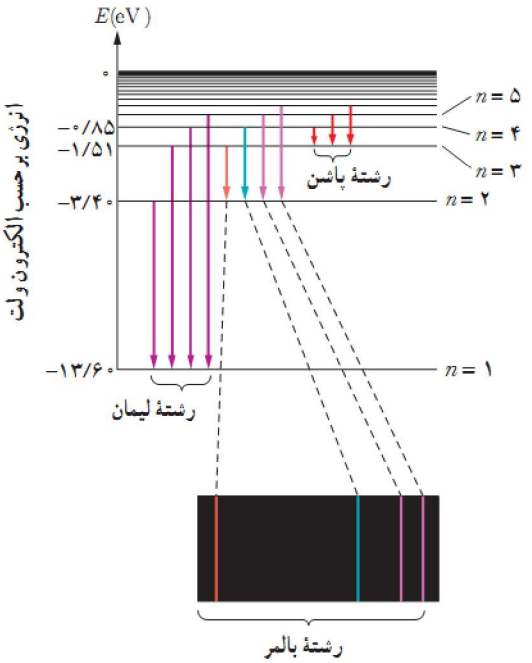
۱	یک لامپ حاوی گاز کم‌فشار سدیم، فوتون‌هایی با طول‌موج ۵۸۹nm گسیل می‌کند. الف) بسامد و انرژی فوتون‌های گسیلی را حساب کنید. انرژی‌را برحسب ژول و همچنین الکترون ولت بیان کنید. ب) فرض کنید توان تابشی مفید لامپ ۵/۰W است. در هر دقیقه چند فوتون از این لامپ گسیل می شود؟
ج	الف) $E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{۱۲۴۲\,nm.eV}{۵۸۹\,nm} = ۲/۱۰۹\,eV$ $\quad \lambda = \frac{c}{f} \rightarrow f = \frac{۳\times۱۰^{۸}\,m/s}{۵۸۹\times۱۰^{-۹}\,m} = ۵/۰۹\times۱۰^{۱۴}\,Hz$ $۱eV = ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\,j \rightarrow E = ۲/۱۰۹\times۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\,j = ۳/۳۷۴\times۱۰^{-۱۹}\,j$ ب) $\left.\begin{matrix} E = pt \\ E = nhf \end{matrix}\right\} \rightarrow pt = nhf \rightarrow \quad n = \frac{pt.\lambda}{hc} = \frac{۵w\times۶۰s\times۵۸۹\times۱۰^{-۹}m}{۶/۶۳\times۱۰^{-۳۴}\,j.s\times۳\times۱۰^{۸}\,m/s} = ۸/۸۹\times۱۰^{۲۰}$
۲	توان باریکهٔ نور خروجی یک لیزر گازی هلیم نئون ۵/۰mW است. اگر توان ورودی این لیزر ۵۰/۰W باشد، الف) بازده لیزر را حساب کنید. ب) اگر طول‌موج باریکهٔ نور خروجی ۶۳۳nm باشد، شمار فوتون‌هایی را پیدا کنید که در هر ثانیه از این لیزر گسیل می‌شود.
ج	الف) $\textbf{بازده} = \frac{\textbf{توان خروجی}}{\textbf{توان ورودی}} \times ۱۰۰ = \frac{۵\times۱۰^{-۳}\,w}{۵۰\,w}\times۱۰۰ = \%۰/۰۱$ ب) $n = \frac{pt.\lambda}{hc} = \frac{۵\times۱۰^{-۳}\,w\times۱s\times۶۳۳\times۱۰^{-۹}\,m}{۶/۶۳\times۱۰^{-۳۴}\,j.s\times۳\times۱۰^{۸}\,m/s} = ۱/۵۹\times۱۰^{۱۶}$
۳	یک لامپ رشته‌ای با توان ۱۰۰W از فاصلهٔ یک کیلومتری دیده می‌شود. فرض کنید نور لامپ به‌طور یکنواخت در فضای اطراف آن منتشر می‌شود و بازدهٔ لامپ ۵ درصد است (یعنی ۵W تابش مرئی گسیل می‌کند) و فقط ۱ درصد این تابش دارای طول‌موجی در حدود ۵۵۰nm است. در هر ثانیه چه تعداد فوتون با این طول‌موج وارد مردمک‌های چشم ناظری می‌شود که در این فاصله قرار دارد؟ (قطر مردمک را ۲/۰mm در نظر بگیرید.)
ج	$\left.\begin{matrix} I = \frac{P}{۴\pi r^{۲}} \\ E = IAt \end{matrix}\right\} \rightarrow E = \frac{P}{۴\pi r^{۲}}\left(۲\pi R^{۲}\right)t = \frac{P}{۸r^{۲}}\left(D^{۲}\right)t$ $\quad$ سطح دو مردمک $A = ۲(\pi R^{۲}) = \frac{\pi D^{۲}}{۲}$ قطر مردمک $E = \frac{۰/۰۱\times۵W\times(۲\times۱۰^{-۳}\,m)^{۲}\times۱s}{۸\times\left(۱۰^{۳}\,m\right)^{۲}} = ۲/۵\times۱۰^{-۱۴}\,J$ $\quad$ انرژی که به ۲ مردمک می رسد. $E = nhf = \frac{nhc}{\lambda} \rightarrow n = \frac{\lambda}{hc}E$ $n = \frac{۵۵۰\times۱۰^{-۹}\,m}{۶/۶۳\times۱۰^{-۳۴}\,(J.s)\times۳\times۱۰^{۸}\,(m/s)}\times۲/۵\times۱۰^{-۱۴}\,J \rightarrow n = ۶/۹\times۱۰^{۴}$
۴	شدت تابشی خورشید در خارج جو زمین حدود $۱۳۶۰\,W/m^{۲}$ است؛ یعنی در هر ثانیه به سطحی برابر $۱m^{۲}$، مقدار انرژی ۱۳۶۰J 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 به‌ازای هر متر مربع حدود $۳۰۰\,W/m^{۲}$ باشد، در هر ثانیه چند فوتون به هر متر مربع از سطح زمین می‌رسد؟ طول‌موج متوسط فوتون‌ها را ۵۷۰nm فرض کنید.
ج	$nhf = pt \rightarrow n = \frac{pt\lambda}{hc} = \frac{۳۰۰\,W/m^{۲}\times۱s\times۵۷۰\times۱۰^{-۹}\,m}{۶/۶۳\times۱۰^{-۳۴}\,j.s\times۳\times۱۰^{۸}\,m/s} = ۸/۶\times۱۰^{۲۰}$

۵	الف) منظور از اثر فوتوالکتریک چیست؟ ب) توضیح دهید نظریهٔ کوانتومی تابش که توسط اینشتین مطرح شد و در آن نور به‌صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی در نظر گرفته شد چگونه به تبیین اثر فوتوالکتریک کمک کرد؟ پ) معادلهٔ مربوط به اثر فوتوالکتریک به‌صورت $K_{max} = hf - W_{\circ}$ بیان می‌شود. سه بخش این معادله را به طور جداگانه توضیح دهید.
ج	**الف)** وقتی نوری با بسامد مناسب مانند نور فرابنفش به سطحی فلزی بتابد الکترون‌هایی از آن گسیل می‌شوند. به این پدیده‌ی فیزیکی، اثر فوتوالکتریک می‌گویند. **ب)** بنا بر نظر اینشتین، وقتی نوری تکفام بر سطح فلزی می‌تابد، هر فوتون صرفاً با یکی از الکترون‌های فلز برهم‌کنش می‌کند. برای نوری که فوتون‌های آن دارای حداقل انرژی لازم برای وقوع پدیده فوتوالکتریک هستند، افزایش شدت نور (با ثابت ماندن بسامد) فقط سبب افزایش تعداد فوتون‌ها و در نتیجه افزایش تعداد فوتوالکترون‌ها می‌شود، در حالی که انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بدون تغییر می‌ماند. **پ)** $K_{max} = hf - W_{\circ}$ K_{max} بیشترین انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های گسیل شده از صفحه‌های فلزی است. hf انرژی فوتون فرودی است که به فلز می تابد. $W_{\circ}$ تابع کار فلز، کمترین مقدار انرژی لازم برای کندن الکترون از سطح فلز، که بستگی به جنس فلز دارد.
۶	توضیح دهید برای یک فلز معیّن، تغییر هر یک از کمیت‌های زیر چه تأثیری در نتیجهٔ 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
ج	الف) اگر بسامد نور فرودی بیشتر از آستانه بسامد باشد پدیده‌ی فوتوالکتریک رخ می‌دهد. $(hf \geq W_{\circ} \rightarrow f \geq f_{\circ})$ اگر بسامد نور فرودی کمتر از آستانه بسامد باشد پدیده‌ی فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد. $(hf < W_{\circ} \rightarrow f < f_{\circ})$ ب) افزایش شدت نور فرودی در بسامد کمتر از آستانه تاثیری در پدیده فوتوالکتریک ندارد. پ) در بسامدهای بزرگتر از بسامد آستانه، پدیده‌ی فوتوالکتریک رخ می‌دهد که با کاهش شدت نور فرودی تعداد الکترون‌های کمتری از سطح جدا می‌شوند و جریان کمتری به وجود می‌آید.
۷	حداقل انرژی لازم برای جدا کردن یک الکترون از سطح فلز سدیم برابر ۲/۲۸eV است. الف) طول‌موج آستانه برای گسیل فوتوالکترون از سطح فلز سدیم چقدر است و با مراجعه به شکل ۵ــ۶ معلوم کنید این طول‌موج مربوط به چه رنگی است؟ ب) آیا فوتون‌هایی با طول‌موج ۶۸۰nm قادر به جدا کردن الکترون از سطح این فلز هستند؟

ج	الف) رنگ سبز $\lambda_o = \frac{hc}{w_o} = \frac{۱۲۴۰\,eV.nm}{۲/۲۸\,eV} = ۵۴۳/۸\,nm$ ب) خیر. شرط رخ دادن اثر فوتوالکتریک $\lambda \le \lambda_. \;,\quad f \ge f_. \;,\quad hf \ge W_.$ اگر طول موج فوتون گسیلی از طول موج آستانه بزرگ‌تر باشند. انرژی لازم برای جدا کردن الکترون را ندارد. $\lambda = ۶۸۰\,nm \not\le \lambda_. = ۵۴۳/۸nm \rightarrow$ پدیده فوتوالکتریک رخ نمی دهد
۸	تابش فرابنفشی با طول‌موج ۲۰۰nm بر سطح تیغه‌ای از جنس نیکل با تابع کار ۴/۹۰eV تابیده می‌شود. بیشینهٔ تندی فوتوالکترون‌های جدا شده از سطح نیکل را حساب کنید.
	$K_{max} = hf - w_o = \frac{hc}{\lambda} - w_o = \frac{۱۲۴۰eV.nm}{۲۰۰nm} - ۴/۹eV = ۱/۳eV$ $K_{max} = ۱/۳eV = ۱/۳\times۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\,j = ۲/۰۸\times۱۰^{-۱۹}\,j$ $K_{max} = \frac{۱}{۲}mV_{max}^{۲} \rightarrow ۲/۰۸\times۱۰^{-۱۹}\,j = \frac{۱}{۲}\times۹/۱۱\times۱۰^{-۳۱}kg\times V_{max}^{۲}$ $V_{max}^{۲} \simeq ۰/۴۵۶\times۱۰^{۱۲}\left(\frac{j}{kg}\right) \rightarrow V_{max} = ۶/۷\times۱۰^{۵}\,m/s$
۹	هر گاه بر سطح فلزی نوری با طول‌موج ۴۲۰nm بتابد بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های گسیل‌شده حدود ۰/۵۰eV است. بسامد آستانه برای گسیل فوتوالکترون‌ها از سطح این فلز چقدر است؟
ج	$K_{max} = \frac{hc}{\lambda} - w_o \rightarrow ۰/۵eV = \frac{۱۲۴۰eV.nm}{۴۲۰nm} - w_o \rightarrow w_o = ۲/۴۵eV$ $f_o = \frac{w_o}{h} = \frac{۲/۴۵eV}{۴/۱۴\times۱۰^{-۱۵}\,eV.s} = ۵/۹۱\times۱۰^{-۱۴}\,Hz$
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.
ج	الف) برای یک جسم جامد، نظیر رشته‌ی داغ یک لامپ روشن، این امواج شامل گستره پیوسته‌ای از طول موج‌هاست. تشکیل طیف پیوسته توسط جسم جامد، ناشی از برهم‌کنش قوی بین اتم‌های سازنده آن است. حال آنکه گازهای کم فشار و رقیق، که اتم‌های منفرد آنها از برهم‌کنش‌های قوی موجود در جسم جامد آزادند به جای طیف پیوسته، طیفی گسسته را گسیل می‌کنند که شامل طول موج‌های معیّنی است. این طیف گسسته را، معمولاً طیف گسیلی خطی یا به اختصار طیف خطی می‌نامند و طول موج‌های ایجادشده در آن، برای اتم‌های هر گاز منحصر به فرد هستند. ب) برای تشکیل طیف گسیلی خطی اتم‌های هر گاز نظیر هیدروژن، هلیم، جیوه، سدیم و نئون معمولاً از یک لامپ باریک و بلند شیشه‌ای که حاوی مقداری گاز رقیق و کم فشار است استفاده می‌شود. دو الکترود به نام‌های آند و کاتد در دو طرف این لامپ قرار دارد که به ترتیب به پایانه‌های مثبت و منفی یک منبع تغذیه با ولتاژ بالا وصل‌اند. این ولتاژ بالا، سبب تخلیه‌ی الکتریکی در گاز می‌شود و اتم‌های گاز درون لامپ شروع به گسیل نور می‌کنند. آزمایش نشان می‌دهد که طیف خطی ایجاد شده و همچنین رنگ نور گسیل شده، به نوع گاز درون لامپ بستگی دارد.

۱۱	شکل صفحهٔ بعد سه رشتهٔ طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی را روی نمودار تراز انرژی نشان می‌دهد که بر اساس مدل اتمی بور رسم شده است. الف) منظور از $n = ۱$ و انرژی $-۱۳/۶۰\,eV$ چیست؟ ب) بر اساس مدل اتمی بور دلیل خطی بودن طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی را توضیح دهید. پ) اختلاف کوتاه‌ترین و بلندترین طول‌موج در هر رشته را، گسترهٔ طول‌موج‌های آن رشته می‌نامند. گسترهٔ طول‌موج‌های رشتهٔ لیمان ($n' = ۱$) را پیدا کنید.	
ج	**الف)** n عدد کوانتومی است که نشان دهنده شماره مدار مجاز الکترون به دور هسته است. و n=۱ پایین‌ترین تراز انرژی است که مربوط به مدار اول است که به آن حالت پایه گفته می‌شود. انرژی هر تراز به معنای مقدار انرژی است که الکترون با آن مقدار انرژی به هسته مقید است و برای جدا کردن الکترون باید به اندازه‌ی انرژی آن تراز به الکترون انرژی بدهیم تا از قید هسته رها شود و علامت منفی هم به همین دلیل است. ۱۳/۶ eV – انرژی الکترون در حالت پایه است که کمترین انرژی مجاز الکترون است. در مقابل بالاترین تراز $n = \infty$ است. که انرژی الکترون در این تراز صفر است، اگر الکترون در حالت سکون باشد. **ب)** مدارها و انرژی‌های الکترون ها در هر اتم کوانتیده اند. وقتی یک الکترون در یکی از مدارهای مجاز است، هیچ نوع تابش الکترومغناطیسی گسیل نمی‌شود. الکترون زمانی که از یک حالت مانا با انرژی بیشتر (E_U) به حالت مانا با انرژی کمتر (E_L) برود فوتون تابش می‌کند که انرژی فوتون تابشی برابر با اختلاف انرژی دو تراز است و چون ترازهای انرژی گسسته و دارای مقادیر معینی هستند لذا طیف خطی است.	

ج

پ)

$$\frac{۱}{\lambda} = R\left(\frac{۱}{n_L^{۲}} - \frac{۱}{n_U^{۲}}\right)$$

$$\xrightarrow{n_L=۱, n_U=\infty} \frac{۱}{\lambda_{min}} = ۰/۰۱۱ nm^{-۱}\left(\frac{۱}{۱} - \frac{۱}{\infty^{۲}}\right) \rightarrow \lambda_{min} = ۹۰/۹ \text{ nm}$$

$$\xrightarrow{n_L=۱, n_U=۳} \frac{۱}{\lambda_{min}} = ۰/۰۱۱ nm^{-۱}\left(\frac{۱}{۱} - \frac{۱}{۳^{۲}}\right) \rightarrow \lambda_{max} = ۱۲۱/۲ \text{ nm}$$

$$\lambda_{Min} = \frac{hc}{E_U - E_L} = \frac{۱۲۴۰ \text{ nm.eV}}{۰ + ۱۳/۶ \text{ eV}} = ۹۰/۹۱ \text{ nm}$$

$$\lambda_{Max} = \frac{hc}{E_U - E_L} = \frac{۱۲۴۰ \text{ nm.eV}}{-۳/۴ \text{eV} + ۱۳/۶ \text{ eV}} = ۱۲۱/۲ \text{ nm}$$

گستره طول موج $۹۰/۹۱ \text{nm} \leq$ $\leq ۱۲۱/۲ \text{ nm}$

۱۲

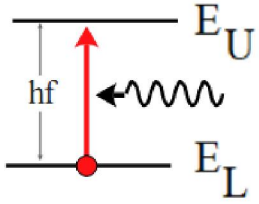
الف) فرایند جذب فوتون توسط اتم را توضیح دهید.

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 پدیدهٔ فیزیکی نمونه‌ای از فلوئورسانی است. آزمایش نشان می‌دهد در پدیدهٔ فلوئورسانی طول‌موج‌های گسیل‌یافته معمولاً برابر همان طول‌موج نور فرودی یا بزرگ‌تر از آن است. این پدیده را چگونه به کمک مدل بور می‌توانید تبیین کنید؟

ج

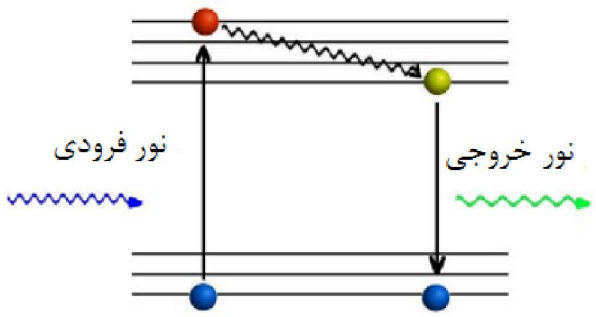
الف)

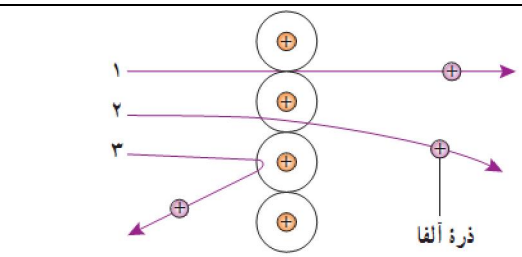
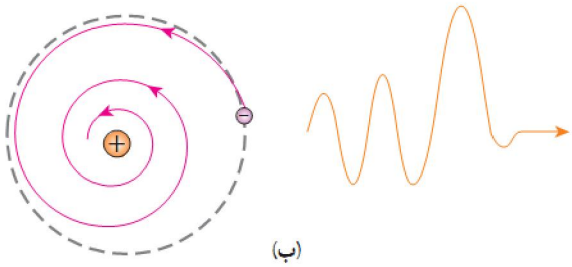


الکترون‌هایی که از ترازهای انرژی پایین‌تر با جذب فوتون به ترازهای انرژی بالاتر می‌روند. در این حالت، اتم، فوتونی را که دقیقاً انرژی لازم برای گذار را دارد جذب می کند.

ب) وقتی نور سفیدی را به گاز هیدروژن رقیق می‌تابانیم الکترون‌های گاز بعضی از فوتون‌های نور فرودی را جذب کرده و به ترازهای بالاتر می روند. اگر نور خروجی از گاز را از منشور عبور دهیم یک دسته خط‌های جذبی تاریک در طیف پیوسته مشاهده می‌کنید.

پ) برای برانگیخته شدن اتم‌های بسیاری از مواد که به آن، نور فرابنفش می‌تابانیم، هنگام بازگشت به حالت پایه، نور مرئی گسیل می‌کنند. در این نوع مواد فوتون فرابنفش اتم را برانگیخته می‌سازد و الکترون به چند تراز انرژی بالاتر می‌رود و در برگشت با پرش‌های کوتاه‌تر و پله پله به تراز پایین‌تر می‌رود و فوتون‌های کم انرژی‌تری گسیل می‌کند که بعضی از آنها در ناحیه مرئی است.



۱۳	مبنای مدل رادرفورد، نتایج آزمایش‌هایی بود که از پراکندگی ذره‌های آلفا توسط یک ورقهٔ نازک طلا به‌دست 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 ذرهٔ ۳ منحرف می‌شوند. این امر چه نکته‌ای را دربارهٔ ساختار اتم طلا نشان می‌دهد؟ پ) چرا رادرفورد در آزمایش خود از صفحهٔ 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)  (ب)
ج	**الف)** ذرات آلفا دارای بار مثبت‌اند، که تعداد زیادی از این ذرات از فضای خالی اتم عبور می‌کنند و یا در انحراف بسیار کمی در اثر نیروی دافعه از کنار هسته‌ی اتم می‌گذرند. که نشان می‌دهد بیشتر حجم ماده (اتم‌ها) از فضای خالی تشکیل شده است. **ب)** تعداد بسیار کمی از ذرات آلفا به مرکز اتم برخورد می‌نمایند و به سمت عقب باز می‌گردند. که نشان می‌دهد که توسط یک مرکز بسیار چگال و دارای بار مثبت منحرف شده باشند که حجم آن در مقایسه با حجم اتم بسیار کم است. **پ)** رادفور به دنبال ورقه‌ی نازک و فلز سنگین بود. ۱- ورق طلا را می توان براحتی، به ورقه‌ی بسیار نازکی تبدیل کرد. شکل دادن و نازک کردن طلا از همه فلزات، آسان‌تر می‌باشد. در نتیجه رادرفور، ورقه ی طلا را برای آزمایش خود برگزید. ۲- رادرفورد بدنبال یک فلز سنگین بود که تعداد الکترون‌های زیادی داشته باشد. می‌خواست میزان پراکندگی ذرات آلفا را در اتم سنگین با تعداد الکترون‌های زیاد بررسی نماید. دلیل انتخاب پرتو آلفا هم باردار بودن و سنگین بودن ذره آلفا بود. سنگین بودن پرتو باعث می‌شد تا به آسانی از مسیر خود منحرف نشود. ت) اگر فرض کنیم الکترون به دور هسته در گردش باشد، حرکت مداری الکترون به دور هسته، شتابدار است. و سبب تابش امواج الکترومغناطیسی می‌شود که بسامد آن، با بسامد حرکت مداری الکترون برابر است. با تابش موج الکترومغناطیسی توسط الکترون، از انرژی آن کاسته می‌شود. این کاهش انرژی باعث می‌شود که شعاع مدار الکترون به دور هسته به تدریج کوچک‌تر و بسامد حرکت آن به تدریج بیشتر شود. به این ترتیب باید طیف امواج الکترومغناطیسی گسیل شده از اتم، پیوسته باشد و الکترون پس از گسیل پی‌در پی امواج الکترومغناطیسی روی هسته فرو افتد. و تنها طیف گسیلی پیوسته خواهیم داشت. و این در شرایطی است که طیف خطی گسیل شده توسط اتم‌ها نیز جور در نمی‌آمد. در مدل بور که برای اتم هیدروژن ارائه شد. الکترون در حین حرکت روی یک مدار مانا بر خلاف نظریهٔ الکترومغناطیسی کلاسیک تابشی نمی‌کند و همچنین از یک حد معین با شعاع مشخص به هسته نزدیک‌تر نمی‌شود.

۱۴

با استفاده از رابطهٔ بور برای انرژی الکترون در اتم هیدروژن،

الف) اختلاف انرژی $\Delta E(n_U \to n_L) = E_U - E_L$ را حساب کنید.

ب) نشان دهید که : $\Delta E(۴\to۲) = \Delta E(۴\to۳) + \Delta E(۳\to۲)$

$\Delta E(۴\to۱) = \Delta E(۴\to۲) + \Delta E(۲\to۱)$

ج

الف)

$$\left.\begin{aligned} E_U &= -\frac{۱۳/۶\ eV}{n_U^۲} \\ E_L &= -\frac{۱۳/۶\ eV}{n_L^۲} \end{aligned}\right\} \therefore E_U - E_L = -\frac{۱۳/۶\ eV}{n_U^۲} - (-\frac{۱۳/۶\ eV}{n_L^۲})$$

$$\Delta E_{(n_U\to n_L)} = ۱۳/۶\ eV(\frac{۱}{n_L^۲} - \frac{۱}{n_U^۲})$$

ب)

$$\Delta E_{(۴\to۲)} = E_۴ - E_۲$$

$$\Delta E_{(۴\to۳)} + \Delta E_{(۳\to۲)} = E_۴ - E_۳ + E_۳ - E_۲ = E_۴ - E_۲$$

$$\Delta E_{(۴\to۱)} = E_۴ - E_۱$$

$$\Delta E_{(۴\to۳)} + \Delta E_{(۲\to۱)} = E_۴ - E_۲ + E_۲ - E_۱ = E_۴ - E_۱$$

۱۵

الکترون اتم هیدروژنی در تراز $n = ۵$ قرار دارد.

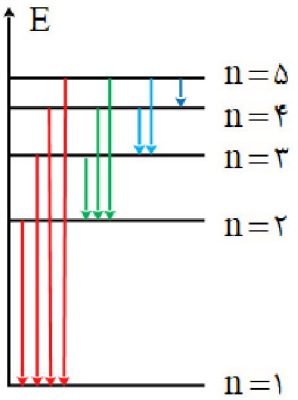
الف) با در نظر گرفتن تمام گذارهای ممکن، اگر این اتم به حالت پایه برود، امکان گسیل چند نوع فوتون با انرژی متفاوت وجود دارد؟

ب) فرض کنید فقط گذارهای $\Delta n = ۱$ مجاز باشند، در این صورت امکان گسیل چند نوع فوتون با انرژی متفاوت وجود دارد؟

ج

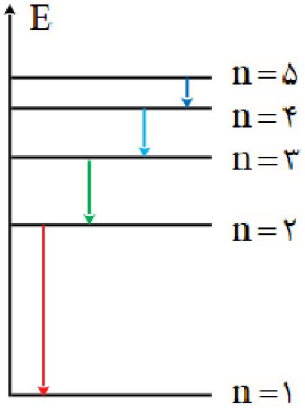
الف) ۱۰ فوتون

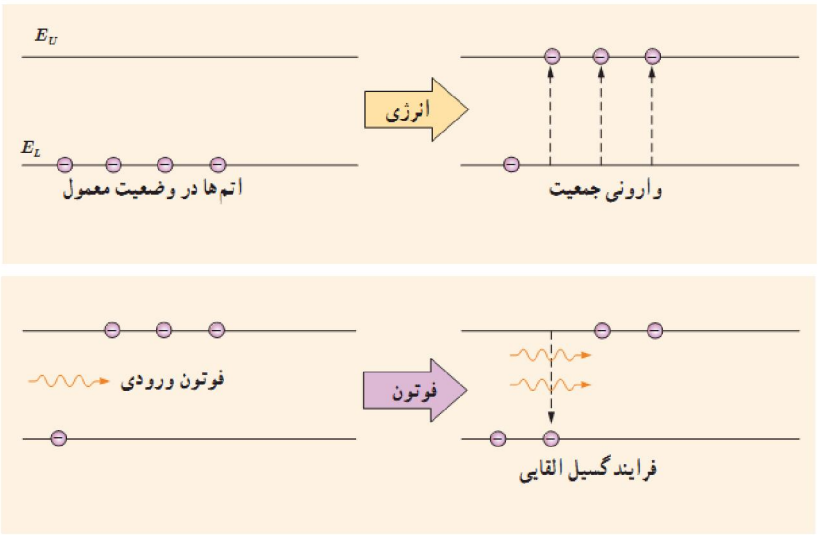
$$\text{تعداد فوتون‌ها} = \frac{n(n-۱)}{۲} = \frac{۵\times۴}{۲} = ۱۰$$

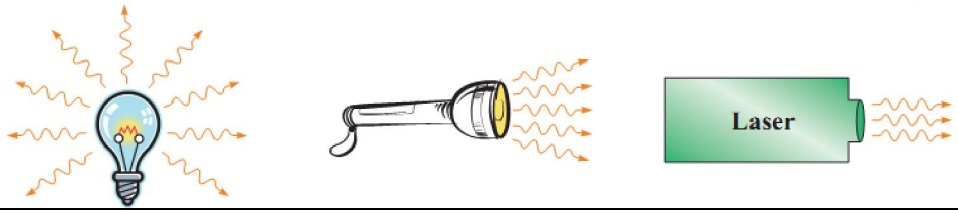


ب) ۴ فوتون

$$\text{تعداد فوتون‌ها با انرژی‌های متفاوت} = n - ۱ = ۵ - ۱ = ۴$$



۱۶	شکل زیر فرایند ایجاد باریکهٔ لیزر را به‌طور طرح‌وار در ۴ مرحله نشان می‌دهد. الف) منظور از عبارت «اتم‌ها در وضعیت معمول» چیست؟ ب) نقش انرژی داده‌شده 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 پایین‌تر ایجاد می‌شوند چه ویژگی‌های مشترکی دارند؟
		
ج	الف) وقتی اتم‌ها (الکترون‌ها) در حالت پایه باشد برانگیخته نشده‌اند به این حالت می‌گوییم اتم در وضعیت معمول است. ب) با تابش فوتون‌هایی که انرژی آنها برابر اختلاف انرژی دو تراز E_L و E_U $(E_U - E_L = hf)$ است. الکترون از تراز E_L به تراز E_U برانگیخته می‌شوند و این عمل آنقدر تکرار می‌شود تا حالت پایه با این فرایند تخلیه و جمعیت تراز بالاتر خیلی زیاد شود و وارونی جمعیت پیش می‌آید پ) وارونی جمعیت در یک محیط لیزر مربوط به وضعیتی است که تعداد الکترون‌ها در ترازهایی موسوم به ترازهای شبه پایدار نسبت به تراز پایین‌تر بسیار بیشتر باشند. در این ترازها، الکترون‌ها مدت زمان بسیار طولانی‌تری نسبت به حالت برانگیخته‌ی معمولی باقی می‌مانند. این زمان طولانی‌تر، فرصت بیشتری برای افزایش وارونی جمعیت و در نتیجه تقویت نور لیزر فراهم می‌کند. ت) اگر فوتونی با انرژی ورودی $(E_U - E_L = hf)$ به اتم برانگیخته وارد شود، گسیل القایی رخ می‌دهد. ث) گسیل القایی سه ویژگی عمده دارد. اول اینکه یک فوتون وارد و دو فوتون خارج می‌شود. به این ترتیب این فرایند تعداد فوتون‌ها را افزایش می‌دهد و نور را تقویت می‌کند. دوم اینکه فوتون گسیل شده، در همان جهت فوتون ورودی حرکت می‌کند. سوم اینکه فوتون گسیل شده با فوتون ورودی همگام یا دارای همان فاز است. به این ترتیب فوتون هایی که باریکه‌ی لیزری را ایجاد می کنند هم بسامد، هم جهت و هم فاز هستند.	

۱۷	در شکل زیر نحوهٔ گسیل فوتون‌ها از سه چشمهٔ نور شامل لامپ رشته‌ای، چراغ قوه با لامپ رشته‌ای و لیزر با یکدیگر مقایسه شده است. الف) با توجه به آنچه در این فصل فراگرفتید تفاوت فوتون‌های گسیل‌شده از هر چشمه را با یکدیگر بیان کنید. ب) چرا توصیهٔ جدی می‌شود که هیچ‌گاه به طور مستقیم به باریکهٔ نور ایجادشده توسط لیزر نگاه نکنید؟ 
ج	الف) فوتون‌های خروجی از یک لامپ رشته‌ای در تمام جهت‌ها گسیل و پراکنده می‌شوند. و برای ایجاد فوتون‌های لامپ رشته‌ای و چراغ قوه به فرایند گسیل القایی نیازی نیست بلکه گسیل خود به خود رخ می‌دهد و فوتون های گسیل شده، موازی، هم‌فاز و هم بسامد نیستند. در چراغ قوه فوتون‌های با قراردادن یک عدسی در جلوی لامپ چراغ قوه از پراکنده شده فوتون‌ها، جلوگیری می‌کنند. فوتون‌های خروجی نسبت به لامپ در جهت‌های محدودتر گسیل می‌شوند. فوتون-های گسیل شده، موازی، غیر هم‌فاز و با بسامدهای مختلف گسیل می‌کنند. در لیزر فوتون‌ها در فرآیند گسیل القایی ایجاد شده و باریکه‌ای از لیزر را داریم که این باریکه از فوتون-هایی که همگی هم جهت، هم فاز و هم انرژی‌اند ایجاد می‌شود. ب) نور لیزر دارای تعداد زیادی فوتون‌های هم‌فاز، هم بسامد و هم‌جهت می‌باشند لذا دارای انرژی بسیار زیاد و قدرت نفوذپذیری بالایی دارند. اگر وارد چشم شوند می‌توانند باعث صدمه زدن به چشم شوند.